

Variación de la biomasa aérea arbórea y proyección de la unidad de paisajismo en el
campus de la UIS, sede Málaga

Jhoan Sebastian Ramirez Aceros, Jhon Ferney Vargas Manrique

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Forestal

Director

Ronald Alfonso Montañez Valencia

MSc. Conservación y uso sostenible de sistemas forestales

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia (IPRED)

Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Gracias a Dios por siempre guiar mis pasos, nunca dejarme solo y darme salud para cumplir todos mis objetivos, permitiéndome enfrentar con sabiduría todos los obstáculos que se presentan, a la vida, por darme la oportunidad de estudiar lo que me apasiona, a mi madre Martha Patricia Aceros, mi padre Wilson Ramirez, mi abuela Gladys Ramirez, mi bisabuela Edilia Ramirez, que se encuentra en el cielo y a quien le prometí que lo lograría. A mis demás familiares, a mi novia Karen Figueroa, a mis amigos, Sandra Uyabán, Marlon Jaimes y Sebastian Castellanos, gracias por creer siempre en mí y estar presentes día a día. Ustedes son un pilar fundamental para mi crecimiento personal y profesional. Este logro es un reflejo de lo importante e indispensables que son las personas que nos rodean para seguir adelante.

Jhoan Sebastian Ramirez Aceros

Gracias a Dios por la vida y por las oportunidades que me brinda día a día, por darme la oportunidad de estudiar esta carrera maravillosa y por todas las personas que conocí en el transcurso de este proceso. A mi hermano Diego Fernando por impulsarme a estudiar ingeniería forestal, por ser mi refugio y mi apoyo en los momentos más difíciles; su compañía y consejos me han impulsado a seguir adelante, aun cuando las circunstancias se tornaban adversas. A mis padres Rito Antonio, Carmen Alicia, a mi segunda mamá Marlene, a mi abuela Leonor y mi madrina Miryam por su amor incondicional, por ser ejemplo de constancia, fortaleza y sabiduría, gracias por cada palabra de aliento y por enseñarme que con dedicación se pueden alcanzar todas las metas.

Este logro es un reflejo del amor, apoyo y constancia que me han brindado cada uno de ustedes. Sin ustedes, este sueño no sería posible. ¡Gracias de corazón!

Jhon Ferney Vargas Manrique

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por nunca dejarnos solos en los momentos que más lo necesitamos, a la vida por permitirnos estar en las mejores condiciones de salud para afrontar los retos, a la Universidad Industrial de Santander, por ser partícipe de nuestro proceso académico y poder vincularnos en esta preciada comunidad, a los profesores que siempre estuvieron dispuestos a colaborar en pro al aprendizaje, a nuestro director Ing Ronald Alfonso Montañez Valencia, por creer en nuestro potencial y siempre aportar sus conocimientos profesionales. A la parte administrativa que siempre estuvo presente, y a todas las personas, que de una u otra forma siempre aportaron un granito de arena para que esto fuera realidad.

Jhoan Sebastian Ramirez Aceros- Jhon Ferney Vargas Manrique

Tabla de Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Introducción | 14 |
| 1. Objetivos | 16 |
| 1.1. Objetivo General | 16 |
| 1.2. Objetivos Específicos..... | 16 |
| 2. Marco referencial | 17 |
| 2.1. Marco Teórico..... | 17 |
| 2.1.1. Biomasa arbórea..... | 17 |
| 2.1.2. Dinámica de la biomasa | 17 |
| 2.1.3. Unidad de paisajismo proyectado | 17 |
| 2.1.4. Gestión silvicultural del espacio verde | 18 |
| 2.1.5. Impacto ambiental y estético | 18 |
| 2.2. Marco conceptual..... | 19 |
| 2.2.1. Cálculo de Biomasa Aérea con Ecuaciones Alométricas | 19 |
| 2.2.2. Carbono Acumulado y Modelos de Estimación | 19 |
| 2.2.3. Propuestas de Paisajismo con Árboles en Entornos Universitarios..... | 19 |
| 2.2.4. Ecuaciones Alométricas para Biomasa Aérea en Colombia..... | 19 |
| 2.2.5. Carbono Acumulado en los Bosques Colombianos..... | 20 |
| 2.2.6. Propuestas de Paisajismo Universitario en Colombia | 20 |
| 2.2.7. Cálculo de Biomasa Aérea con Ecuaciones Alométricas en Santander | 20 |
| 2.2.8. Carbono Acumulado en los Bosques de Santander | 20 |
| 2.2.9. Propuestas de Paisajismo con Árboles para Universidades en Santander | 21 |

| | |
|--|----|
| 2.2.10. Silvicultura urbana en Colombia | 21 |
| 2.3. Marco Legal | 21 |
| 2.4. Marco Histórico | 25 |
| 3. Metodología | 28 |
| 3.1. Área de estudio | 28 |
| 3.3 Recolección de datos..... | 30 |
| 3.3.1 Inventario Forestal | 30 |
| 3.3.2. Muestreo | 31 |
| 3.3.3. Digitalización de datos..... | 31 |
| 3.3.4. Estimación de Biomasa aérea por método no destructivo | 32 |
| 4. Dinámica de la biomasa aérea y carbono acumulado | 33 |
| 4.1. Interpretación de Resultados..... | 34 |
| 4.2. Unidad de paisajismo arbóreo proyectado para el campus UIS Málaga. | 35 |
| 5. Resultados | 36 |
| 5.1. Inventario florístico..... | 36 |
| Interpretación | 45 |
| 6. Discusión..... | 52 |
| 7. Conclusiones | 54 |
| 8. Recomendaciones | 55 |
| Referencias Bibliográficas | 57 |

Lista de Tablas

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Número de Individuos por Especie Nativa, Inventario 2021..... | 37 |
| Tabla 2. Número de Individuos por Especie Nativa, Inventario 2024..... | 38 |
| Tabla 3. Cálculo del Índice de Shannon-Wiener Especies arbóreas nativas del campus UIS sede Málaga, correspondiente al año 2024 | 45 |
| Tabla 4. Propuesta de especies Nativas Propuesta de especies Nativas | 51 |

Lista de Figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Área de estudio Universidad Industrial de Santander | 28 |
| Figura 2. Área de estudio Uis Málaga | 29 |
| Figura 3. Distribución espacial | 30 |
| Figura 4. Distribución espacial de individuos en el área de estudio | 36 |
| Figura 5. Biomasa aérea de familias nativas año 2021 vs 2024 | 38 |
| Figura 6. Biomasa Aérea de especies nativas año 2021 contra 2024 | 39 |
| Figura 7. Carbono acumulado de familias nativas del inventario año 2021 contra 2024..... | 40 |
| Figura 8. Variación de carbono acumulado de especies nativas del inventario año 2021 contra 2024 | 41 |
| Figura 9. Cantidad de especies e individuos introducidos y nativos en el año 2021 y 2024..... | 42 |
| Figura 10. Estado de conservación de las especies nativas para el año 2024..... | 43 |
| Figura 11.. Mapa de coberturas Campus UIS Málaga | 46 |
| Figura 12. Planos arquitectónicos nueva sede UIS Málaga..... | 47 |
| Figura 13. Distribución de laboratorios en la nueva infraestructura UIS Málaga | 48 |

Lista de Apéndices

| | pág. |
|--|-------------|
| Apéndice A. Manipulación estación topográfica..... | 61 |
| Apéndice B. Georreferenciación de individuos | 61 |
| Apéndice C. Marcaje de individuos..... | 62 |
| Apéndice D. Mediciones dendrométricas | 62 |
| Apéndice E. Colecta de material vegetal | 63 |
| Apéndice F. Prensado de material vegetal..... | 64 |

Glosario

Alometría: Relación matemática que permite estimar características difíciles de medir, como la biomasa, a partir de variables fácilmente medibles como el diámetro y la altura de los árboles. Las ecuaciones alométricas son fundamentales en estudios de biomasa aérea por métodos no destructivos y se ajustan según el tipo de bosque y región estudiada (Chave et al., 2005).

Análisis geoespacial: Técnica que utiliza herramientas y software de sistemas de información geográfica (SIG) para analizar y visualizar datos geográficos. En estudios de biomasa aérea y paisajismo, se utiliza para mapear la distribución de árboles y vegetación, identificar patrones y evaluar la cobertura vegetal en un área determinada (Goodchild, 2007).

Biomasa aérea: Total de materia orgánica presente en la parte superior o aérea de un organismo, principalmente árboles y arbustos. Incluye hojas, ramas y tronco, siendo un indicador crucial en estudios de almacenamiento de carbono. Se mide generalmente en términos de peso seco por unidad de superficie (kg/ha) y es clave para entender el ciclo de carbono en los ecosistemas (Brown, 1997).

Carbono acumulado: Cantidad total de carbono almacenado en la biomasa vegetal a lo largo del tiempo. Los árboles capturan dióxido de carbono (CO₂) a través del proceso de fotosíntesis, almacenándolo en forma de biomasa. Estimar el carbono acumulado es fundamental en estudios sobre cambio climático, cuantificando el papel de los ecosistemas en el secuestro de carbono (IPCC, 2006).

Clasificación de zonas de vida de Holdridge: Sistema ecológico que agrupa regiones basándose en tres factores climáticos principales: precipitación anual, temperatura promedio y altitud. Este

sistema es útil para determinar las especies vegetales que mejor se adaptan a las condiciones locales (Holdridge, 1967).

Clinómetro forestal: Instrumento utilizado para medir la altura de los árboles desde una posición en el suelo. Es esencial para obtener variables clave para las ecuaciones alométricas que se utilizan en la estimación no destructiva de la biomasa aérea (Ponce-Hernandez, 2004).

Diámetro a la altura del pecho (DAP): Medida estándar utilizada en estudios forestales que mide el diámetro del tronco a 1.3 metros sobre el suelo. Es una variable crítica en las ecuaciones alométricas debido a su fuerte correlación con la biomasa total del árbol (Chave et al., 2014).

Ecuación alométrica: Fórmula matemática utilizada para estimar la biomasa aérea a partir del DAP, altura del árbol y densidad maderable. Estas ecuaciones son fundamentales para realizar estimaciones precisas sin métodos destructivos (Brown et al., 1989). Un ejemplo común es:

$$B=e^{(-2.977+\ln(\rho \times D^2 \times H))}$$

donde B es la biomasa, ρ es la densidad maderable, D es el diámetro a la altura del pecho y

H es la altura del árbol.

Estimación no destructiva: Método que calcula la biomasa sin dañar o cortar los árboles, utilizando mediciones como el DAP y la altura para aplicar ecuaciones alométricas (Zianis et al., 2005).

Geo-referenciación: Proceso que asigna coordenadas geográficas exactas a objetos o características mediante sistemas GPS. Permite crear mapas precisos que muestran la ubicación de cada individuo vegetal.

Herbario: Colección científica organizada y etiquetada de plantas secas para su estudio e identificación. Es crucial para verificar identidades taxonómicas y registrar biodiversidad.

Método indirecto: Técnica utilizada para estimar variables forestales sin causar daño a los árboles, aplicando ecuaciones alométricas basadas en mediciones como DAP y altura (Brown et al., 1989).

Paisajismo: Arte y ciencia que planifica y gestiona espacios exteriores para ser visualmente atractivos y ecológicamente funcionales. Incluye integración de especies nativas y creación de áreas verdes.

Rejilla de muestreo: Disposición sistemática que permite recolectar datos organizadamente en un área estudiada.

Software ArcGIS: Plataforma geoespacial que permite crear mapas y realizar análisis geográficos aplicados a estudios ambientales.

Topografía: Estudio que describe características físicas del terreno, esencial para planificar proyectos que se adapten al entorno natural.

Resumen

Título: Variación de la biomasa aérea arbórea y proyección de la unidad de paisajismo en el campus de la UIS, sede Málaga*

Autor: Jhoan Sebastian Ramirez Aceros, Jhon Ferney Vargas Manrique**

Palabras Clave: Calentamiento global, paisaje, biomasa aérea, carbono acumulado, levantamiento topográfico, zona de vida, ecuación alométrica, método indirecto, dendrometría, dinámica.

Descripción:

El calentamiento global ha generado desequilibrios significativos en los ecosistemas, destacando la necesidad de comprender la cobertura vegetal y su papel en la dinámica del carbono. Este estudio se propuso realizar un inventario florístico en el campus UIS Málaga y estimar la biomasa aérea y el carbono acumulado entre 2021 y 2024, utilizando un método indirecto. Se implementó un levantamiento topográfico que delimitó un área de estudio de 10x10 metros, donde se realizaron mediciones dendrométricas de individuos nativos, considerando variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total. Para calcular la biomasa aérea, se utilizó la ecuación alométrica ajustada a la zona de vida: $B=e^{-2.977+\ln(\rho \times D^2 \times H)}$

Los resultados mostraron un incremento significativo en la biomasa aérea, alcanzando 12,859 kg, y un carbono acumulado de 6,429 kg para el año 2024, siendo *Lafoensia acuminata* la especie más representativa. En la propuesta de paisajismo, se analizaron los planos arquitectónicos de la nueva infraestructura del campus, identificando puntos estratégicos como laboratorios y espacios verdes. Se consideraron parámetros como el sistema radicular, sombra y tiempo de floración para seleccionar especies nativas adecuadas. Se propusieron especies como *Jacaranda caucana* y *Alnus acuminata*. En conclusión, los hallazgos indican que la dinámica de biomasa y carbono es viable y que las propuestas de paisajismo pueden implementarse satisfactoriamente, contribuyendo a la sostenibilidad del campus universitario y a la resiliencia frente al cambio climático. Este estudio resalta la importancia de integrar prácticas ecológicas en el diseño de espacios urbanos.

*Trabajo de Grado

**Instituto de Proyección Regional de Educación a Distancia – IPRED. Programa Ingeniería Forestal. Director: MSc. Ronald Alfonso Montañez Valencia

Abstract

Title: Variation of the aerial tree biomass and projection of the landscaping unit in the campus of the UIS, Malaga campus*

Author(s): Jhoan Sebastian Ramirez Aceros y Jhon Ferney Vargas Manrique**

Key Words: Global warming, landscape, aboveground biomass, accumulated carbon, topographic survey, life zone, allometric equation, indirect method, dendrometry, dynamics.

Description:

Global warming has caused significant imbalances in ecosystems, highlighting the need to understand vegetation cover and its role in carbon dynamics. This study aimed to conduct a floristic inventory on the UIS Málaga campus and estimate the aboveground biomass and accumulated carbon between 2021 and 2024 using an indirect method. A topographic survey was implemented, defining a study area of 10x10 meters, where dendrometric measurements of native individuals were taken, considering variables such as diameter at breast height (DBH) and total height. To calculate aboveground biomass, an allometric equation adjusted to the life zone was used: $B = e^{-2.977 + \ln(\rho \times D^2 \times H)}$.

The results showed a significant increase in aboveground biomass, reaching 12,859 kg, and an accumulated carbon of 6,429 kg by 2024, with *Lafoensia acuminata* being the most representative species. In the landscaping proposal, the architectural plans of the new campus infrastructure were analyzed, identifying strategic points such as laboratories and green spaces. Parameters such as root system, shade, and flowering time were considered to select suitable native species. Species such as *Jacaranda caucana* and *Alnus acuminata* were proposed. In conclusion, the findings indicate that biomass and carbon dynamics are viable and that the landscaping proposals can be successfully implemented, contributing to the university campus's sustainability and resilience to climate change. This study emphasizes the importance of integrating ecological practices into urban space design.

*Undergraduate Work

**Institute of Regional Projection of Distance Education - IPRED. Forestry Engineering Program.
Director: MSc. Ronald Alfonso Montañez Valencia

Introducción

El calentamiento global en las últimas décadas a presentando un aumento significativo de GEI (gases de efecto invernadero), modificando el funcionamiento y salud del planeta tierra. (Orrego et al., 2003), Según la organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, 2018), implementar cobertura vegetal es espacios urbanos, juega un papel importante en la mitigación de los ecosistemas, proporcionando un aire libre más limpio, favoreciendo la captura de Co₂ y transformándolo en o₂. Estos organismos vasculares tienen la capacidad de almacenar carbono, funcionando como sumideros, relacionado estrechamente con la biomasa viva. es por eso que es de gran importancia conocer y calcular la variación de biomasa arbórea con ecuaciones alométricas, planteadas en estudios según (Chave et al., 2014). utilizando variables tomadas, sin necesidad de modificar la masa arbórea, ajustadas por zona de vida.

No obstante, en el campus de la Universidad Industrial de Santander (UIS) sede Málaga, donde se encuentra la zona de estudio ubicada en Bosque húmedo montano bajo (BH-mb) según la clasificación de Holdridge, se enfrenta a desafíos relacionados con la gestión de su espacio verde y la inminente remoción de los árboles nativos, comprometidos por la nueva infraestructura que se viene ejecutando, lo cual representa una pérdida potencial de recursos naturales y paisajísticos valiosos para la comunidad universitaria y el entorno local. Por tanto, la unidad de paisajismo proyectada, genera preocupaciones sobre la sostenibilidad ambiental y la calidad estética del entorno universitario.

Este estudio adquiere relevancia por la necesidad imperante de gestionar de manera efectiva el impacto ambiental y paisajístico durante la transición hacia la nueva sede universitaria en Málaga, y la importancia del espacio verde en el campus universitario como hábitat para la fauna y la flora, pero también como área de recreación y contribución a la calidad ambiental. La falta de una unidad de paisajismo proyectado, dificulta la planificación y el manejo eficiente del espacio verde, lo que puede afectar negativamente la calidad del entorno y la experiencia educativa de la comunidad universitaria. (Guanotasig, 2021).

La investigación en este tema es escasa a nivel local y regional, lo que resalta la necesidad de abordar esta problemática específica para la UIS sede Málaga. El estudio busca contribuir al desarrollo de estrategias efectivas de gestión del paisaje y conservación de la biodiversidad en entornos universitarios, así como proporcionar recomendaciones prácticas para mejorar la calidad estética y funcional del campus (Gatica, 2012).

En el contexto internacional y nacional, según Moreno (2008), se han realizado avances significativos en el diseño y manejo de paisajes urbanos y universitarios. Sin embargo, aún hay una brecha en la aplicación de estos enfoques en entornos específicos como en el campus de la UIS sede Málaga. Este estudio propone llenar esta brecha al ofrecer una evaluación actual de la biomasa arbórea y plantear un diseño de paisajismo proyectado y adaptado a las características y necesidades que enfrenta actualmente el campus de la universidad, beneficiando así, a toda la comunidad educativa, local y el medio ambiente, al crear un entorno más saludable y agradable, donde se fomentará la presencia de diversas especies animales y la implementación de un espacio verde accesible para el público, contribuyendo a la conservación del ecosistema y la calidad del aire de la zona.

1. ¿Cómo afectará la remoción de cobertura vegetal la dinámica de la biomasa aérea arbórea, en el campus de la UIS, sede Málaga?;

2. Cuáles estrategias permiten implementar la unidad de paisajismo para la nueva sede en proceso de construcción?

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Analizar la variación de la biomasa aérea arbórea y proponer la unidad de paisajismo para el campus de la Universidad Industrial de Santander (UIS), sede Málaga.

1.2. Objetivos Específicos

- Estimar la biomasa aérea en especies arbóreas nativas presentes en el campus de la UIS, sede Málaga.
- Comparar la dinámica de la biomasa aérea arbórea nativa para el campus UIS, sede Málaga
- Proponer una unidad de paisajismo arbóreo proyectado para el nuevo campus UIS Málaga.

2. Marco referencial

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Biomasa arbórea.

La biomasa arbórea se define como la cantidad de materia orgánica acumulada en los árboles que ocupan un área específica dentro del campus. Esta medida es fundamental para evaluar el contenido de carbono almacenado en el arbolado, lo que, a su vez, ofrece una indicación del estado de salud y el crecimiento de los árboles en el entorno. La medición de la biomasa arbórea proporciona información valiosa sobre la capacidad del arbolado para almacenar carbono y su contribución al equilibrio ambiental del campus (Monterrubio, 2021).

2.1.2. Dinámica de la biomasa

La dinámica de la biomasa se centra en los cambios que experimenta la cantidad de materia orgánica en los árboles a lo largo del tiempo, los cuales están influenciados por diversos factores como el crecimiento, la mortalidad y la remoción de árboles dentro del área de estudio. Estos cambios en la biomasa pueden ofrecer información clave sobre la evolución de la estructura y la composición del arbolado en el área de estudio, permitiendo una comprensión más profunda de su estado y su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos (Yamallel et al., 2014).

2.1.3. Unidad de paisajismo proyectado

Se define como un conjunto de estrategias y diseños destinados a gestionar y configurar el paisaje. Esto implica decisiones sobre la selección de especies arbóreas, su distribución espacial y aspectos estéticos para mejorar la calidad del espacio verde. El objetivo principal de

esta unidad es mejorar tanto la calidad estética como la funcionalidad y la sostenibilidad ambiental del entorno, teniendo en cuenta las necesidades y preferencias de la comunidad universitaria, así como la conservación del medio ambiente (Salinas et al., 2020).

2.1.4. Gestión silvicultural del espacio verde

La gestión del espacio verde abarca todas las actividades y estrategias dirigidas hacia el adecuado manejo del arbolado y demás elementos paisajísticos presentes, con el propósito fundamental de fomentar su sostenibilidad y conservación a largo plazo. Este proceso implica una planificación general que considera aspectos como la selección y ubicación de especies vegetales, el control de plagas y enfermedades, la implementación de prácticas de mantenimiento adecuadas. Además, la gestión del espacio verde requiere de un análisis constante de los resultados alcanzados, con el fin de realizar ajustes y mejoras continuas en el manejo del paisaje (Aznar, 2015).

2.1.5. Impacto ambiental y estético

Engloba las repercusiones que la variación en la biomasa arbórea y la introducción de una unidad de paisajismo pueden tener tanto en el ecosistema circundante como en la apreciación visual del entorno ambiental. Una gestión adecuada del espacio verde no solo puede promover la biodiversidad al proporcionar hábitats naturales para diversas especies, sino que también puede mejorar la calidad del aire y contribuir al bienestar emocional de quienes hacen uso de zonas verdes. Por ende, una gestión inadecuada o la pérdida de vegetación pueden resultar en impactos negativos, como la disminución de la biodiversidad, la degradación del paisaje y la pérdida de servicios ecosistémicos (Romero, 2017).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Cálculo de Biomasa Aérea con Ecuaciones Alométricas

Para calcular la biomasa aérea de manera no destructiva, es esencial emplear ecuaciones alométricas. En este sentido, el trabajo de Chave et al. (2014) resulta relevante, ya que ofrece ecuaciones alométricas actualizadas aplicables a bosques tropicales a nivel global. En este estudio se utilizó un extenso conjunto de datos provenientes de diversas regiones para generar estimaciones más precisas tanto de la biomasa como del carbono que esta biomasa retiene.

2.2.2. Carbono Acumulado y Modelos de Estimación

El estudio de Pan et al., (2011) proporciona información clave para comprender el funcionamiento de los bosques globales como esponjas de carbono. A través de la aplicación de modelos alométricos de biomasa, los autores estaban en medida de estimar la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de los bosques, lo que les permitió proporcionar una evaluación detallada del papel que desempeñan estos ecosistemas en la dinámica del carbono.

2.2.3. Propuestas de Paisajismo con Árboles en Entornos Universitarios

McPherson et al. (1997) ofrecen un análisis sobre cómo los árboles en entornos urbanos, incluidos los campus universitarios, pueden mejorar el confort térmico, la calidad del aire y el bienestar general. Su estudio incluye ejemplos de diseño paisajístico que pueden ser aplicados en universidades.

2.2.4. Ecuaciones Alométricas para Biomasa Aérea en Colombia

En Colombia, Houghton (2007) proporcionó una evaluación de las emisiones de carbono debido a la deforestación y cambios en la utilización del suelo, usando ecuaciones alométricas adaptadas a los ecosistemas colombianos. Su trabajo ayuda a estimar la biomasa y el carbono en diferentes tipos de bosques del país.

2.2.5. Carbono Acumulado en los Bosques Colombianos

Jaramillo et al. (2003) realizaron un estudio en la región del Amazonas colombiano, utilizando ecuaciones alométricas ajustadas para estimar el contenido de carbono, en bosques tropicales. Su investigación proporciona datos valiosos para la gestión y conservación de los recursos forestales en Colombia.

2.2.6. Propuestas de Paisajismo Universitario en Colombia

Cabrera et al. (2012) revisaron la planificación de espacios verdes en universidades de Colombia, ofreciendo propuestas para la integración de árboles en el diseño de campus universitarios para mejorar la sostenibilidad y la calidad de vida en el entorno educativo.

2.2.7. Cálculo de Biomasa Aérea con Ecuaciones Alométricas en Santander

En Santander, el estudio de García et al. (2015) en el Parque Nacional Natural de Santurbán utiliza métodos indirectos y ecuaciones alométricas estimando la biomasa aérea, en bosques montanos. Este estudio es fundamental para la gestión forestal en la región.

2.2.8. Carbono Acumulado en los Bosques de Santander

El estudio de Ocampo et al. (2018) proporciona una evaluación del stock de carbono en los bosques montanos de Santander. Este trabajo es crucial para las políticas de manejo y conservación en la región, ofreciendo datos sobre el carbono acumulado en los ecosistemas locales.

2.2.9. Propuestas de Paisajismo con Árboles para Universidades en Santander

Pérez et al. (2020) desarrollaron propuestas específicas para la inclusión de árboles en el campus universitario de Bucaramanga. Estas recomendaciones buscan mejorar la sostenibilidad y el entorno académico a través del diseño paisajístico integrado con árboles.

2.2.10. Silvicultura urbana en Colombia

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2021) la Ley 1252 de 2008 establece lineamientos o parámetros para fomentar programas de restauración y arborización en espacios urbanos, aumentando la salud de los ecosistemas aportando beneficios relevantes, manteniendo entornos armoniosos.

2.3. Marco Legal

La normativa colombiana no define claramente el paisaje como concepto, la proyección del paisaje es abordada a través de las leyes basadas en el ordenamiento territorial, la protección ambiental y patrimonio cultural. Según la Constitución Política de Colombia, en su artículo 79 establece que, todos los ciudadanos tienen derecho a disfrutar de un ambiente sano. Además, la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan impactar el medio ambiente. Asimismo, el Estado tiene la obligación de proteger la diversidad, la integridad del entorno y conservar las áreas de relevancia ecológica, promoviendo la educación ambiental como parte de sus responsabilidades (Constitución Política de Colombia, 1991, art. 79).

El Decreto 2811 de 1974, que establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, en su artículo 2, define al ambiente como un patrimonio común, esencial para la supervivencia y el desarrollo de las sociedades (Decreto 2811, 1974, art. 2). El Código Nacional de Recursos Naturales tiene como finalidad la preservación,

restauración y el uso racional de los recursos naturales renovables, promoviendo equidad, desarrollo armónico y participación social para el bienestar tanto presente como futuro del país. En este sentido, el artículo 302 establece que la comunidad tiene derecho a disfrutar de paisajes urbanos y rurales que favorezcan su bienestar físico y espiritual. Por su parte, el artículo 303, en sus numerales c y f, señala que la administración debe tomar medidas como la imposición de límites de altura o estilos arquitectónicos para conservar la estética y la armonía histórica de las áreas, así como aplicar otras medidas legales para la preservación del paisaje. Finalmente, el artículo 304 menciona que las personas o entidades encargadas de proyectos urbanísticos, tanto públicas como privadas, deben procurar que sus construcciones mantengan la armonía con el entorno paisajístico (Decreto 2811, 1974).

La Ley 9 de 1989, que establece normas sobre planes de desarrollo municipal, compraventa y expropiación de bienes, en su artículo 5, modificado por la Ley 388 de 1997, proporciona una definición del espacio público. Este concepto se refiere al conjunto de inmuebles y elementos, tanto arquitectónicos como naturales, que pueden ser públicos o privados, pero que están destinados a satisfacer necesidades urbanas colectivas, superando los intereses individuales. Entre estos elementos se incluyen áreas para circulación peatonal y vehicular, zonas recreativas, de seguridad, parques, zonas verdes, fuentes de agua, y espacios destinados a la preservación del paisaje y sus componentes naturales. Además, el Decreto 1504 de 1998 complementa este artículo al desglosar los elementos del espacio público en dos categorías principales: constitutivos, que pueden ser naturales o contruidos, y complementarios (Ley 9, 1989). En el presente trabajo, se destacan los elementos contruidos del entorno urbano, como áreas que forman parte de los perfiles viales peatonales y vehiculares, incluyendo zonas de control ambiental, mobiliario urbano, señalización, túneles peatonales, puentes, y bulevares. También se consideran espacios que

conectan el espacio público y propician la interacción social, como parques urbanos, plazas, escenarios deportivos, y culturales. Se incluyen igualmente áreas para la conservación de elementos de interés público y de valor urbanístico, histórico y cultural, como monumentos y fuentes ornamentales, así como elementos arquitectónicos y naturales de propiedad privada que, por su localización, se integran en los planes de ordenamiento territorial, tales como antejardines privados.

La legislación colombiana sobre el espacio público amplía la definición de paisaje al incluir no solo los bienes públicos, sino también elementos arquitectónicos y naturales de propiedades privadas que cumplan funciones urbanas de interés colectivo. Este enfoque reconoce el paisaje como un recurso natural, un bien jurídico protegido y un derecho ciudadano. Además, resalta que los paisajes, tanto rurales como urbanos, que están compuestos por elementos naturales y arquitectónicos, deben ser protegidos por su importancia en satisfacer las necesidades colectivas de la sociedad.

La Ley 99 de 1993, que constituye un pilar fundamental de la política ambiental en Colombia, reconoce en su artículo 1, numeral 8, al paisaje como un patrimonio común que requiere protección, convirtiéndolo en un principio central de la política ambiental del país. Esta legislación redefine el paisaje, no solo como un componente de los recursos naturales y del espacio público urbano, sino también como un bien patrimonial. Además, el Título VIII de la misma ley establece que quienes realicen actividades o proyectos que ocasionen un deterioro significativo del paisaje y de los recursos naturales tienen la obligación de implementar medidas de prevención, mitigación, corrección, compensación y manejo de los impactos ambientales causados (Ley 99, 1993).

El Convenio Europeo del Paisaje, firmado en Florencia el 20 de octubre de 2000, proporciona un marco legal para la protección, gestión y ordenación de los paisajes, subrayando

su importancia para la calidad de vida y la identidad cultural en Europa. Este convenio impulsa la participación ciudadana en la elaboración de políticas relacionadas con el paisaje y promueve la incorporación del tema en las políticas urbanas y rurales. Aunque está orientado a los países europeos, representa un modelo relevante que podría influir en Colombia, al ofrecer directrices para desarrollar estrategias de conservación del paisaje y fomentar la participación comunitaria en la formulación de políticas ambientales y de ordenamiento territorial (Convenio Europeo del Paisaje, 2000).

El Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa en los Beneficios, adoptado en 2010, establece normas para el acceso a los recursos genéticos y la distribución equitativa de los beneficios que resultan de su uso. Aunque su enfoque principal son los recursos biológicos, este protocolo tiene implicaciones para los paisajes urbanos, ya que influye en la gestión y conservación de la biodiversidad en estas áreas. En relación con los paisajes urbanos, el Protocolo fomenta la incorporación de la biodiversidad en el desarrollo de las ciudades y garantiza que las comunidades locales, incluidos los residentes urbanos, se beneficien de los recursos genéticos presentes en su entorno (Protocolo de Nagoya, 2010). Para Colombia, este Protocolo implica una oportunidad para fortalecer la conservación de la biodiversidad en áreas urbanas y mejorar la gestión participativa de los recursos naturales, asegurando que los beneficios derivados de la utilización de estos recursos sean equitativamente distribuidos entre las comunidades urbanas y rurales.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015) incluye el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 11, que resalta la importancia del paisaje urbano para el desarrollo sostenible de ciudades y comunidades. Este objetivo promueve la conservación del patrimonio cultural y natural, destacando la necesidad de preservar paisajes urbanos históricos y

arquitectónicos para fortalecer la identidad de la ciudad y fomentar el turismo sostenible. Además, el ODS 11, impulsa la planificación y diseño urbano que integre espacios públicos bien diseñados, como parques y plazas, para mejorar la calidad de vida y garantizar la accesibilidad. También se enfoca en la creación de espacios verdes seguros y accesibles que contribuyen al bienestar físico y mental de los habitantes y promueve la resiliencia climática mediante soluciones naturales, como la incorporación de vegetación y cuerpos de agua en los entornos urbanos.

Asimismo, el ODS 15, apoya la sostenibilidad del paisaje urbano al fomentar la inclusión de espacios verdes y corredores ecológicos, la conservación de la biodiversidad, y la restauración de paisajes degradados, así como una expansión urbana que respete los entornos naturales circundantes. Por otro lado, el ODS 13, centrado en la acción climática, enfatiza la importancia de diseñar paisajes urbanos resilientes a los eventos climáticos extremos e integrar infraestructuras sostenibles, como techos verdes y parques, para regular la temperatura y reducir el consumo de energía. En conjunto, los ODS 11, 13 y 15 sitúan el paisaje urbano como un elemento clave para la sostenibilidad, la resiliencia y la mejora de la calidad de vida en las ciudades, al incorporar enfoques que abordan la conservación, adaptación climática y la gestión de los ecosistemas urbanos (Naciones Unidas, 2015)

2.4. Marco Histórico

La biomasa aérea arbórea y su papel en el paisajismo han sido ampliamente estudiados tanto a nivel mundial como nacional, destacando la importancia de las ecuaciones alométricas para su cálculo no destructivo. Chave et al. (2014) señalan que estas ecuaciones permiten obtener

estimaciones precisas de la biomasa y el carbono almacenado, siendo cruciales para comprender la dinámica de los bosques tropicales.

El carbono acumulado en los ecosistemas forestales es un factor esencial en la mitigación del cambio climático. Pan et al. (2011) identifican a los bosques como importantes sumideros de carbono, y mediante modelos alométricos, evalúan su contribución en la dinámica del carbono a nivel global.

En el paisajismo urbano, los campus universitarios desempeñan un papel fundamental en la creación de entornos sostenibles y saludables. McPherson et al. (1997) resaltan que la integración de árboles en estos espacios mejora el confort térmico, la calidad del aire y el bienestar de la comunidad, y sugieren estrategias de diseño que pueden aplicarse eficazmente en universidades.

La implementación de arboretos en campus universitarios es una estrategia efectiva para promover la conservación de la biodiversidad y la educación ambiental, brindando oportunidades para la investigación y el aprendizaje sobre la función de los árboles en los ecosistemas urbanos, además de mejorar el microclima y la diversidad biológica del entorno.

Los árboles aislados en áreas urbanas y campus también juegan un papel clave en el paisajismo, ya que proporcionan refugio para la fauna, mejoran la estética y cumplen funciones ecológicas importantes como la captura de carbono. La adecuada gestión de estos árboles contribuye a la conectividad ecológica y al desarrollo de entornos urbanos más saludables.

En Colombia, Houghton (2007) evaluó las emisiones de carbono derivadas de la deforestación y el cambio en el uso del suelo mediante ecuaciones alométricas adaptadas a los ecosistemas locales, proporcionando información esencial para la gestión y conservación de los bosques colombianos.

En la región amazónica, Jaramillo et al. (2003) utilizaron ecuaciones alométricas para estimar el contenido de carbono en los bosques tropicales, aportando datos relevantes para la conservación y manejo de estos ecosistemas.

Cabrera et al. (2012) estudiaron la planificación de espacios verdes en universidades colombianas, proponiendo la integración de árboles en el diseño de campus como una medida para mejorar la sostenibilidad y la calidad de vida en los entornos educativos.

En Santander, la silvicultura urbana ha sido promovida por la Ley 1252 de 2008, la cual establece directrices para la restauración y arborización en espacios urbanos (MADS, 2021). Este contexto es especialmente pertinente para el campus de la Universidad Industrial de Santander (UIS) sede Málaga, donde se busca no solo conservar la biodiversidad, sino también crear un entorno estético y funcional para la comunidad universitaria.

Finalmente, estudios como el de García et al. (2015) en el Parque Nacional Natural de Santurbán, han empleado métodos indirectos y ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea en los bosques montanos, aportando información valiosa para la gestión forestal y planificación del paisaje en la región.

3. Metodología

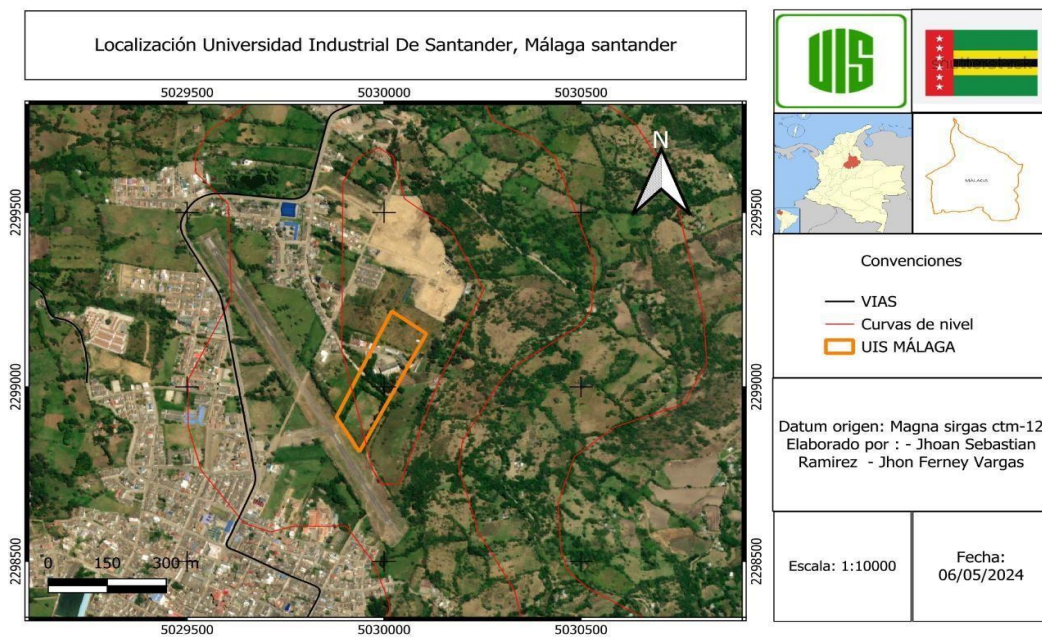
3.1. Área de estudio

El área de estudio se ubicó en el campus de la Universidad Industrial de Santander, sede municipio de Málaga Santander (Figura 1).

La zona de vida donde se encuentra el campus corresponde a bosque húmedo montano bajo (bh-MB) según (Holdridge, 1967) la temperatura media anual oscila entre 10 °C a 22 °C, precipitación anual de 1500 mm y rango altitudinal entre 2130 y 2200 m.s.n.m.

Figura 1.

Área de estudio Universidad Industrial de Santander



3.2. Delimitación del área de estudio

Se delimitó el área de estudio, empleando una estación topográfica y se generó una grilla de 10 x 10 m, para ser georreferenciados los individuos presentes.

Figura 2.

Área de Estudio UIS Málaga

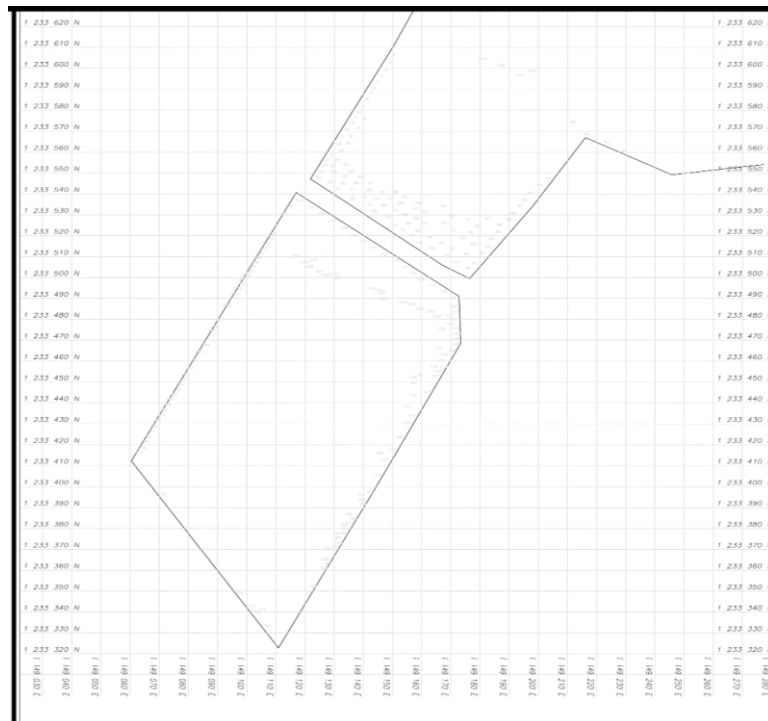


Figura 3.*Distribucion espacial*

3.3 Recolección de datos

3.3.1 Inventario Forestal

Se realizó un inventario florístico de los individuos presentes en el área de estudio, con un enfoque en especies nativas, clasificados en categorías de tamaño establecidas: latizales con diámetros entre 2.5 y 9.9 cm, y fustales con diámetros superiores o iguales 10 cm, se llevaron a cabo mediciones de variables como la altura total y comercial, el diámetro a la altura del pecho (Dap) a 1.30 m, y los diámetros mayor y menor de la copa, utilizando equipos especializados. Para

medir el Dap se usó una cinta métrica, y para las alturas se recurrió a un clinómetro forestal y la aplicación “Medir Alturas”. Las variables se registraron en formatos de campo y se tomaron fotografías de cada procedimiento. Además, se tomaron las coordenadas de cada individuo para crear un mapa de distribución espacial (figura 3) y se anotó el número de inventario realizado en el año 2021 por (Ayala, 2021) para facilitar un contraste más preciso.

3.3.2. Muestreo

En esta fase, se procedió a la recolección de muestras de cada espécimen nativo identificado previamente en el inventario utilizando una desgarretadera o trimen, con la finalidad de corroborar las especies en detalle, asegurando su identificación y colección en el herbario, se seleccionaron únicamente aquellos individuos que estaban saludables y vigorosos, garantizando una observación clara de todas las características morfológicas necesarias para su identificación. Las muestras se colocaron en secciones sobre papel periódico, marcándolas con el nombre común y científico con lápiz en tres ubicaciones distintas. Una vez completada la recolección, las muestras se ataron adecuadamente y se colocaron en una bolsa hermética, a la que se añadió una cantidad suficiente de alcohol. Finalmente, se utilizó una prensa de madera para compactar las muestras de manera más eficiente.

3.3.3. Digitalización de datos

Una vez recopilados todos los datos durante la fase de campo, se procedió a organizarlos en una base de datos estructurada utilizando Excel. Esta base incluyó las siguientes variables: nombre común, nombre científico, familia, género, altura total y comercial, CAP, DAP, estado de la madera, números de inventario antiguo y nuevo, clase diamétrica, área basal, y áreas de copa

mayor y menor, así como biomasa aérea y carbono acumulado. Además, se realizó una investigación complementaria sobre la densidad de la madera, su origen y estado de conservación, consultando diversas bases de datos y recursos en línea (UICN) para asegurar una base sólida y detallada. Posteriormente, se generaron tablas dinámicas para relacionar las diferentes variables, se crearon gráficos y se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la información.

3.3.4. Estimación de Biomasa aérea por método no destructivo

Se utilizaron ecuaciones alométricas para la zona de vida, estas ecuaciones se basaron en métodos no destructivos y fueron validadas para especies similares (Zúñiga, 2017).

Según Chave et al. (2005) “La ecuación alométrica para estimar la biomasa se toman variables como la altura, el diámetro y la densidad de la madera, se utilizó la ecuación que mejor se ajusta a la zona de vida en el área de estudio.”

$$\langle AGB \rangle = e^{(-2.977 + \ln(\rho \times D^2 \times H))}$$

Donde:

$\langle AGB \rangle$ = Estimación de la biomasa aérea (kg)

ρ = Densidad de la madera (g/cm³)

D = Diámetro a la altura del pecho (cm)

H = Altura Total (m)

Se aplicó esta fórmula establecida para la zona de vida correspondiente, específicamente para especies nativas.

4. Dinámica de biomasa aérea y carbono acumulado.

-Comparación de biomasa aérea por familias taxonómicas en especies nativas, año 2021 contra 2024

Se compararon los resultados de biomasa obtenidos por familias en el inventario actual 2024, con los datos del inventario de 2021, para identificar cualquier cambio significativo en la biomasa arbórea a lo largo del tiempo. Este análisis permitió evaluar el impacto de factores como el crecimiento de los árboles, la mortalidad o la remoción de especies en la biomasa total.

-Comparación de biomasa de especies nativas, inventario del año 2021 frente a 2024

Se compararon los resultados de biomasa obtenidos en el inventario actual 2024, con los datos del inventario de 2021, para identificar cualquier cambio significativo en la biomasa arbórea a lo largo del tiempo. Este análisis permitió evaluar el impacto de factores como el crecimiento de los árboles, la mortalidad o la remoción de especies en la biomasa total.

- Comparación de carbono acumulado de familias nativas año 2021 contra 2024

Se compararon los resultados de carbono acumulado en el inventario actual con los datos del inventario de 2021, de familias nativas para identificar cambios significativos a lo largo del tiempo. Este análisis permitió evaluar el impacto de factores como el crecimiento de los árboles, la mortalidad o la remoción de especies.

- Comparación de carbono acumulado en especie nativas año 2021 contra 2024

Se compararon los resultados de biomasa obtenidos en el inventario actual con los datos del inventario de 2021 para identificar cualquier cambio significativo en la biomasa arbórea a lo largo del tiempo. Este análisis permitió evaluar el impacto de factores como el crecimiento de los árboles, la mortalidad o la remoción de especies en la biomasa total.

- Cantidad de especies e individuos introducidos y nativos en el año 2021 y 2024

Se realizó una comparación de los inventarios de especies e individuos nativos e introducidos en el área de estudio del campus UIS sede Málaga, entre los años 2021 y 2024 para analizar la variación, permitiendo identificar cuáles son predominantes en cada año y cómo ha cambiado la dinámica del ecosistema.

- Estado de conservación de las especies nativas para el año 2024

Se llevó a cabo un análisis de los resultados relacionados con las especies nativas en estado de conservación, de acuerdo con los criterios establecidos por la UICN. El propósito fue identificar cuáles de estas especies se encuentran en un nivel más elevado o prioritario de conservación.

-Índice de Shannon-Wiener (H')

Se aplicó el cálculo del Índice de Shannon-Wiener (H') para el inventario de especies nativas del campus UIS sede Málaga correspondiente al año 2024, según (Shannon y Weaver, 1949) este índice de diversidad integra la riqueza de especies y la distribución de individuos entre ellas, siendo sensible a variaciones en la abundancia que reflejan cambios en la diversidad a lo largo del tiempo. Además, facilita la comparación de la diversidad entre distintas áreas o períodos, ofreciendo un marco sólido para el análisis ecológico y la evaluación de ecosistemas.

4.1. Interpretación de Resultados

Se interpretó los resultados obtenidos para identificar patrones de distribución de biomasa aérea, carbono acumulado y posibles variaciones entre especies arbóreas presentes en el área de estudio.

4.2. Unidad de paisajismo arbóreo proyectado para el campus UIS sede Málaga.

Se obtuvo una comprensión profunda del contexto actual del paisaje del campus UIS sede Málaga, identificando sus características, fortalezas y áreas de oportunidad para el diseño paisajístico.

4.3. Análisis del Paisaje Actual

Se realizó un análisis detallado del paisaje actual del campus, se consideró aspectos como la distribución espacial de las especies arbóreas, la diversidad vegetal y la funcionalidad del paisaje (Chicaiza, 2022).

4.4. Propuesta de Diseño

Con base en los resultados del análisis del paisaje actual y suministro de planos arquitectónicos por parte de la universidad industrial de Santander, se elaboró una propuesta de unidad de paisajismo arbóreo proyectado. Esta propuesta incluyó la selección de especies vegetales, distribución espacial de elementos paisajísticos y consideraciones estéticas y funcionales.

5. Resultados

Figura 4.

Distribución espacial de individuos en el área de estudio



Se puede apreciar la distribución espacial de los individuos nativos e introducidos en el campus UIS sede Málaga.

5.1. Inventario florístico

Se registro un total de 67 individuos distribuidos en 11 especies nativas en el levantamiento florístico realizado en el año 2021 por (Ayala, 2021) y se registró un total de 111 individuos distribuidos en 15 especies nativas para el inventario florístico realizado en el año de 2024, donde se aprecia un aumento valioso en cantidad de especies e individuos.

Tabla 1.

Número de individuos por especies nativas, inventario 2021. (Ayala, 2021)

| Nombre científico | Nombre común | Familia | N° individuos |
|---|-----------------------|----------------|----------------------|
| <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz y Pav.) DC. | Guayacán de Manizales | Lythraceae | 17 |
| <i>Jacaranda caucana</i> | Gualanday | Bignoniaceae | 16 |
| <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz. | Cedro de montaña | Meliaceae | 9 |
| <i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze | Cucharo | Primulaceae | 8 |
| <i>Euphorbia laurifolia</i> Juss. ex Lam. | Lechero | Euphorbiaceae | 6 |
| <i>Retrophyllum rospligiosii</i> (Pilg) CNPage | Pino colombiano | Podocarpaceae | 3 |
| <i>Salix humboldtiana</i> Willd | Sauce llorón | Salicaceae | 2 |
| <i>Escallonia pendula</i> (Ruiz & Pav.) Pers. | Loqueto | Escallonaceae | 2 |
| <i>Juglans neotropica</i> Diels | Cedro negro | Juglandaceae | 2 |
| <i>Inga edulis</i> | Guamo | Fabaceae | 1 |
| <i>Erythrina rubrinervia</i> Kunth | Chocho | Leguminosae | 1 |

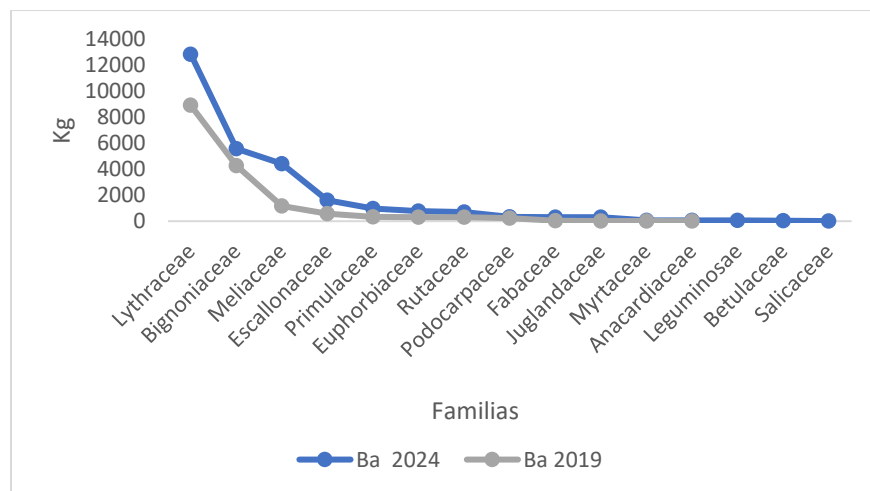
Tabla 2.

Número de Individuos por Especie Nativa, Inventario 2024

| Nombre científico | Nombre común | Familia | N° de individuos |
|--|-----------------------|---------------|------------------|
| <i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) kuntze | Cucharó | Primulaceae | 27 |
| <i>Jacaranda caucana</i> | Gualanday | Bignoniaceae | 18 |
| <i>Euphorbia laurifolia</i> | Lechero | Euphorbiaceae | 18 |
| <i>Lafoensia acuminata</i> (Ruiz y Pav.) DC. | Guayacan de manizales | Lythraceae | 16 |
| <i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz. | Cedro de montaña | Meliaceae | 12 |
| <i>Myrcia popayanencis</i> | Sururo | Myrtaceae | 4 |
| <i>Salix humboldtiana</i> Willd | Sauce llorón | Salicaceae | 3 |
| <i>Alnus acuminata</i> | Aliso | Betulaceae | 3 |
| <i>Retrophyllum rospligiosii</i> (Pilg) CNPage | Pino colombiano | Podocarpaceae | 2 |
| <i>Escallonia pendula</i> (Ruiz & Pav.) Pers. | Loqueto | Escallonaceae | 2 |
| <i>Juglans neotropica</i> Diels | Cedro negro | Juglandaceae | 2 |
| <i>Erythrina rubrinervia</i> Kunth | Chocho | Leguminosae | 1 |
| <i>Tabebuia rosea</i> | Guayacan rosado | Bignoniaceae | 1 |
| <i>Inga edulis</i> | Guamo | Fabaceae | 1 |
| <i>Toxicodendron striatum</i> | Pedro hernandez | Anacardiaceae | 1 |

Figura 5.

Biomasa aérea de familias taxonómicas nativas año 2021 contra 2024

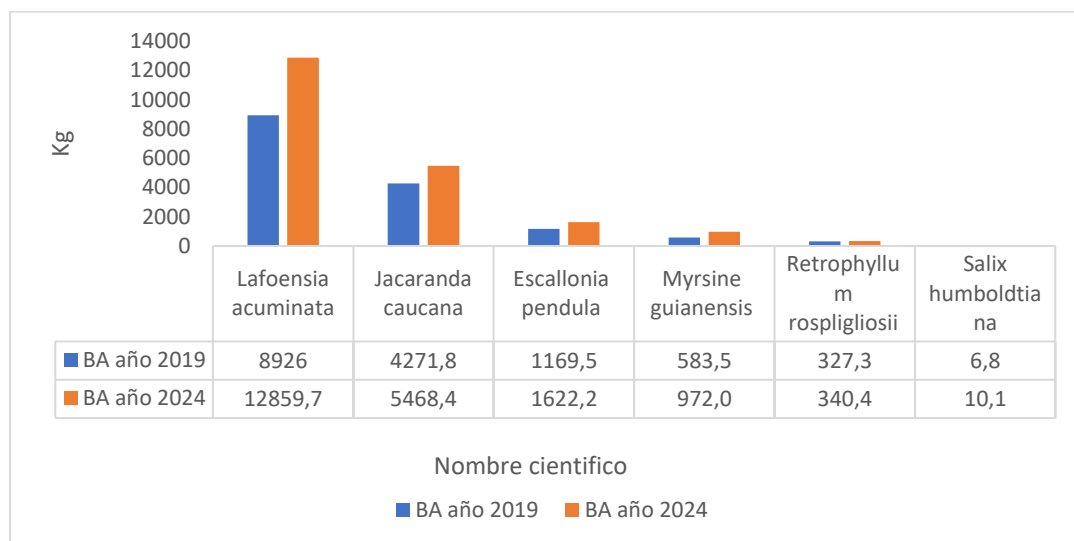


En la gráfica se observa un incremento notable de la biomasa aérea total para el año 2024, atribuido principalmente por el crecimiento de las poblaciones y la dinámica diamétrica de individuos en las categorías de tamaño de brinzal y latizal, influenciado principalmente por factores ambientales favorables, como la disponibilidad de nutrientes y la baja incidencia de plagas y enfermedades, lo que sigue una mejora en las condiciones de crecimiento y salud de las especies nativas y un efecto positivo en la mitigación del cambio climático, al aumentar la capacidad del campus para secuestrar dióxido de carbono.

Las familias Lytharaceae y Bignoniaceae presentaron un crecimiento exponencial, mientras que el resto de familias presentaron un incremento más modesto, esto refleja las diferencias en la capacidad de adaptación y resiliencia de cada familia frente a factores ambientales.

Figura 6.

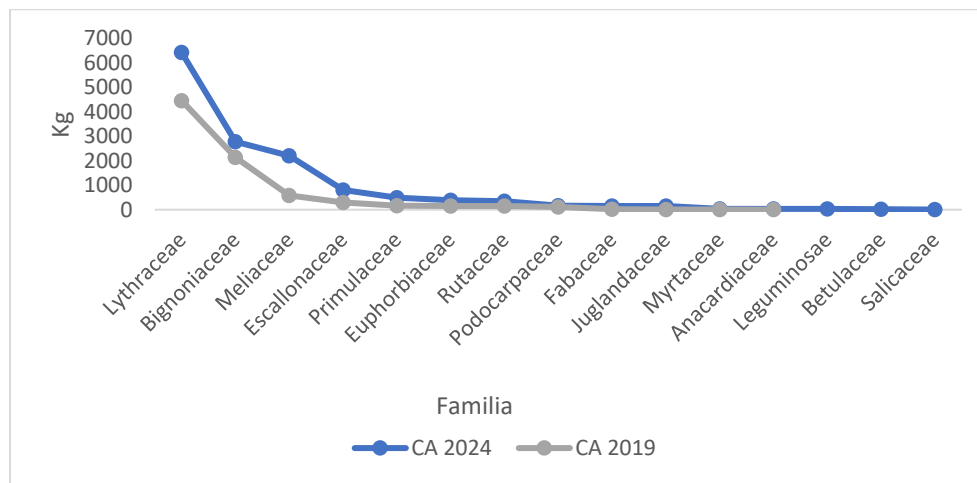
Comparación de biomasa aérea de especies nativas año 2021 contra 2024



Los aumentos significativos en biomasa aérea se registran principalmente en las especies *Lafoensia acuminata* y *Jacaranda caucana*, afectadas especialmente por la variación de individuos en sus poblaciones. En contraste, la especie *Retrophyllum rospigliosii* muestra un incremento mínimo, debido a su limitada capacidad de propagación y vulnerabilidad según el criterio A2acd de la unión internacional para la conservación de la naturaleza. Asimismo, *Salix humboldtiana* ha presentado un incremento en la cantidad de individuos, sin reflejar un crecimiento relevante de la biomasa aérea. Las principales causas que aportaron a esta dinámica fueron aprovechamientos de tipo doméstico y las practicas silviculturales llevadas a cabo durante los años de 2021 a 2024.

Figura 7.

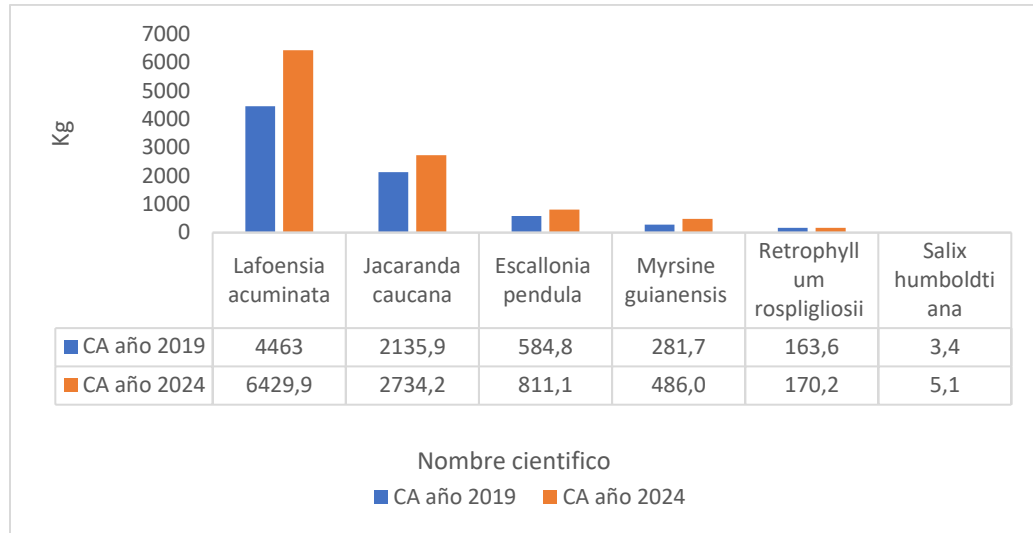
Carbono acumulado de familias nativas del inventario año 2021 contra 2024



En la figura se observa un aumento evidente en el carbono almacenado, lo que indica una respuesta positiva principalmente de las familias Lythraceae y Bignoniaceae, a las prácticas de conservación y manejo implementadas, durante el periodo de 2021 a 2024. Resaltando el potencial del campus de la UIS sede Málaga, contribuyendo a la resiliencia ecológica.

Figura 8.

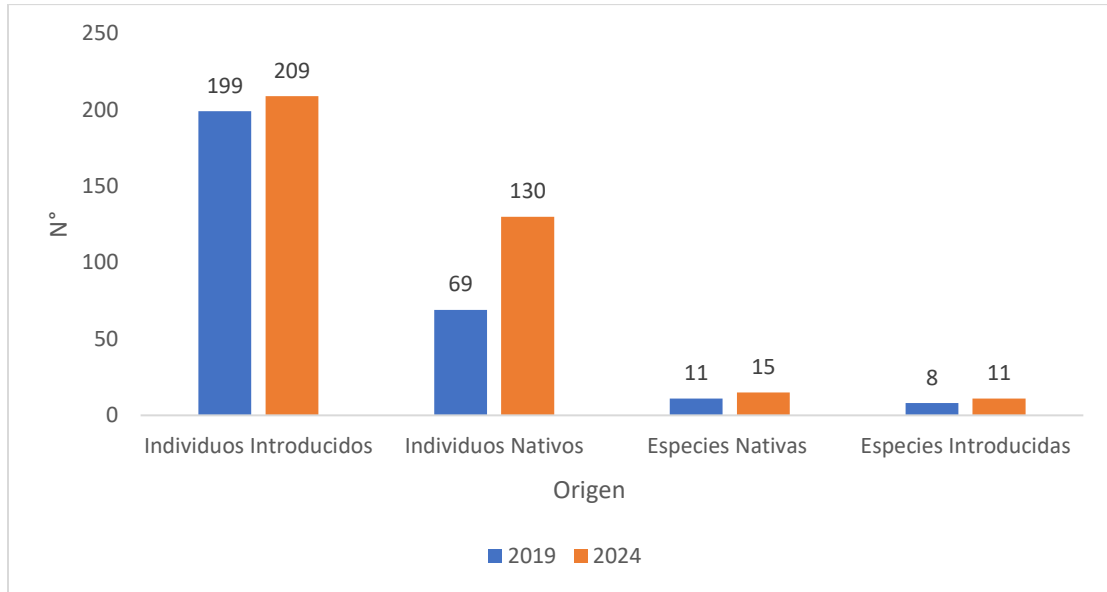
Variación de Carbono Acumulado de Especies Nativas del Inventario año 2021 contra 2024



En la gráfica que ilustra la variación en la captura y acumulación de carbono de especies nativas, se aprecia un aumento generalizado en la mayoría de las especies evaluadas. Los incrementos más destacados en la captura de carbono se observan en *Lafoensia acuminata* y *Jacaranda caucana*, En contraste, *Retrophyllum rospigliosii* y *Salix humboldtiana*, muestran un incremento mínimo en la captura y acumulación de carbono.

Figura 9.

Cantidad de especies e individuos introducidos y nativos en el año 2021 y 2024



Los datos de la gráfica indican un cambio en el ecosistema del campus UIS sede Málaga. Al comparar el inventario de especies nativas de 2021 con el de 2024, se observa un aumento significativo en el número de individuos, que ahora incluye 15 especies nativas. Este crecimiento se debe a la transición de brinzales a latizales, lo que sugiere una mejora en la salud del ecosistema y refleja los esfuerzos de conservación de especies nativas.

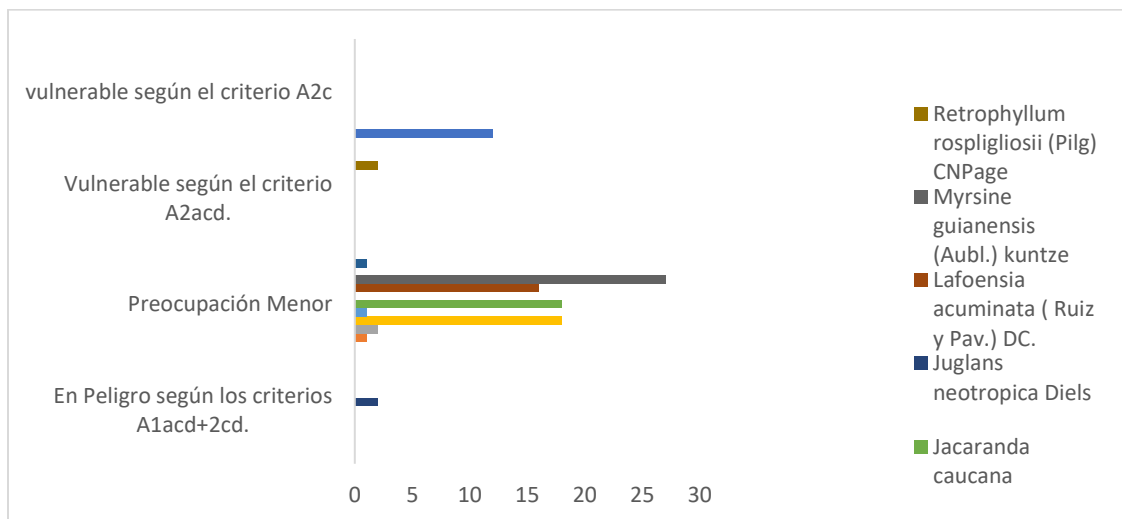
Por otro lado, aunque la población de individuos introducidos también creció entre 2021 y 2024, este crecimiento no fue muy representativo señalando que el número de especies se mantuvo constante, lo que podría indicar estrategias positivas para controlar su proliferación. Aun así, estas

especies continúan siendo dominantes y agresivas, lo que afecta negativamente la diversidad del ecosistema,

El análisis de la estabilidad ecológica del arboretum muestra que, aunque las especies nativas son predominantes, la población de especies introducidas sigue siendo mayor. Esto puede amenazar la supervivencia de las especies nativas. En general, los resultados subrayan la importancia de continuar los esfuerzos de manejo y conservación para mejorar la sostenibilidad y equilibrio ecológico del campus UIS sede Málaga.

Figura 10.

Estado de conservación de las especies nativas para el año 2024



A partir de la figura presentada sobre la clasificación de especies nativas según su estado de conservación en el inventario de 2024, se pueden observar distintas categorías de conservación basadas en los criterios de la UICN. Algunas especies como *Cedrela montana Moritz ex Turcz.* están clasificadas como vulnerables, pero bajo diferentes criterios. Por ejemplo, se encuentra en la

categoría de vulnerabilidad según el criterio A2c, mientras que *Retrophyllum rospigliosii* está clasificada bajo A2acd.

Por otro lado, especies como *Myrsine guianensis* y *Lafoensia acuminata* están bajo la categoría de "Preocupación Menor", lo que indica que su estado de conservación es menos crítico. En cambio, *Juglans neotropica* está clasificada como "En Peligro" bajo los criterios A1acd+2cd, lo que implica que se enfrenta a amenazas más severas.

Finalmente, *Jacaranda caucana* también está en la categoría de "Preocupación Menor", destacándose por su menor vulnerabilidad en comparación con las otras especies evaluadas.

Este análisis sugiere una diversidad en los grados de conservación entre las especies nativas, lo que debe ser tenido en cuenta para establecer prioridades en los esfuerzos de conservación y manejo de los recursos forestales. Las especies que se encuentran en peligro o vulnerabilidad deben ser el foco de acciones de protección para evitar su declive.

Tabla 3.

Cálculo del Índice de Shannon-Wiener Especies arbóreas nativas del campus UIS sede Málaga, correspondiente al año 2024

| Nombre científico | Nº Individuos | Proporción | H |
|----------------------------------|---------------|------------|--------|
| <i>Myrsine guianensis</i> | 27 | 0.243 | -0.344 |
| <i>Jacaranda caucana</i> | 18 | 0.162 | -0.295 |
| <i>Euphorbia laurifolia</i> | 18 | 0.162 | -0.295 |
| <i>Lafoensia acuminata</i> | 16 | 0.144 | -0.279 |
| <i>Cedrela montana</i> | 12 | 0.108 | -0.241 |
| <i>Myrcia popayanensis</i> | 4 | 0.036 | -0.120 |
| <i>Salix humboldtiana</i> | 3 | 0.027 | -0.098 |
| <i>Alnus acuminata</i> | 3 | 0.027 | -0.098 |
| <i>Retrophyllum rospligiosii</i> | 2 | 0.018 | -0.072 |
| <i>Escallonia pendula</i> | 2 | 0.018 | -0.072 |
| <i>Juglans neotropica</i> | 2 | 0.018 | -0.072 |
| <i>Erythrina rubrinervia</i> | 1 | 0.009 | -0.042 |
| <i>Tabebuia rosea</i> | 1 | 0.009 | -0.042 |
| <i>Inga edulis</i> | 1 | 0.009 | -0.042 |
| <i>Toxicodendron striatum</i> | 1 | 0.009 | -0.042 |

- Número total de individuos: 111
- Índice de Shannon (H'): 2.16

Interpretación

Se llevó a cabo el cálculo del Índice de Shannon-Wiener (H') para evaluar la diversidad de especies arbóreas en el campus de la UIS sede Málaga, correspondiente al año 2024. El índice obtenido fue de **2.16**, basado en un total de **111** individuos.

Este valor refleja una diversidad moderada entre las especies presentes, lo cual es indicativo de un ecosistema saludable y equilibrado para el año 2024 en comparación con el estudio realizado por Ayala (2021) donde el índice de Shannon y Simpson arroja una diversidad baja del ecosistema.

El Índice de Shannon-Wiener de 2.16 sugiere una diversidad moderada de especies en el campus, indicando que hay una variedad de especies arbóreas, lo cual es positivo para la sostenibilidad del ecosistema. Un valor más alto de H' indica un ecosistema más diverso, lo que generalmente es beneficioso para la resiliencia ambiental.

Paisajismo

Figura 11.

Mapa de coberturas Campus UIS Málaga

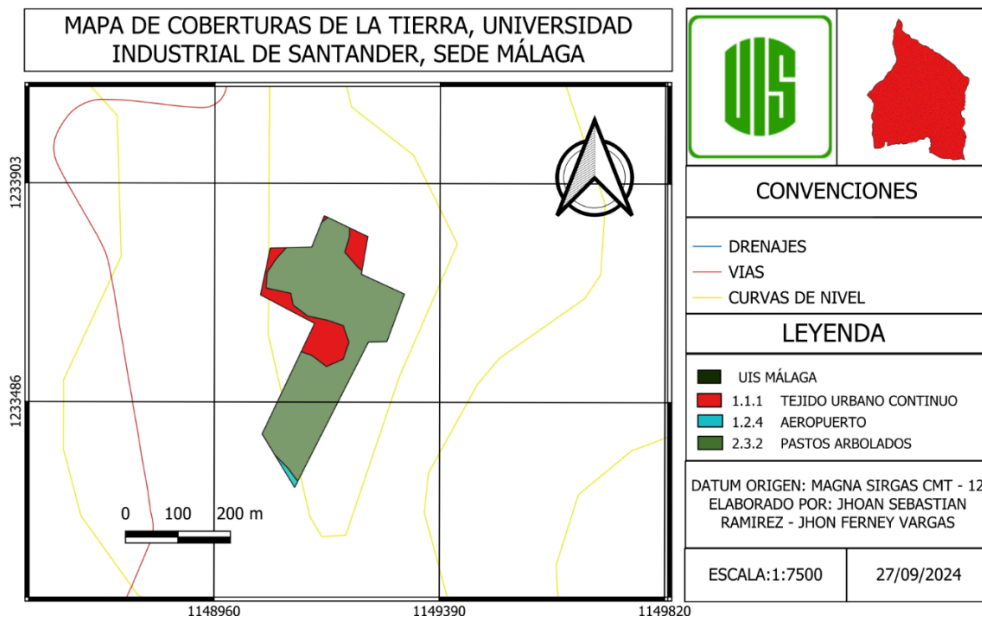


Figura 12.

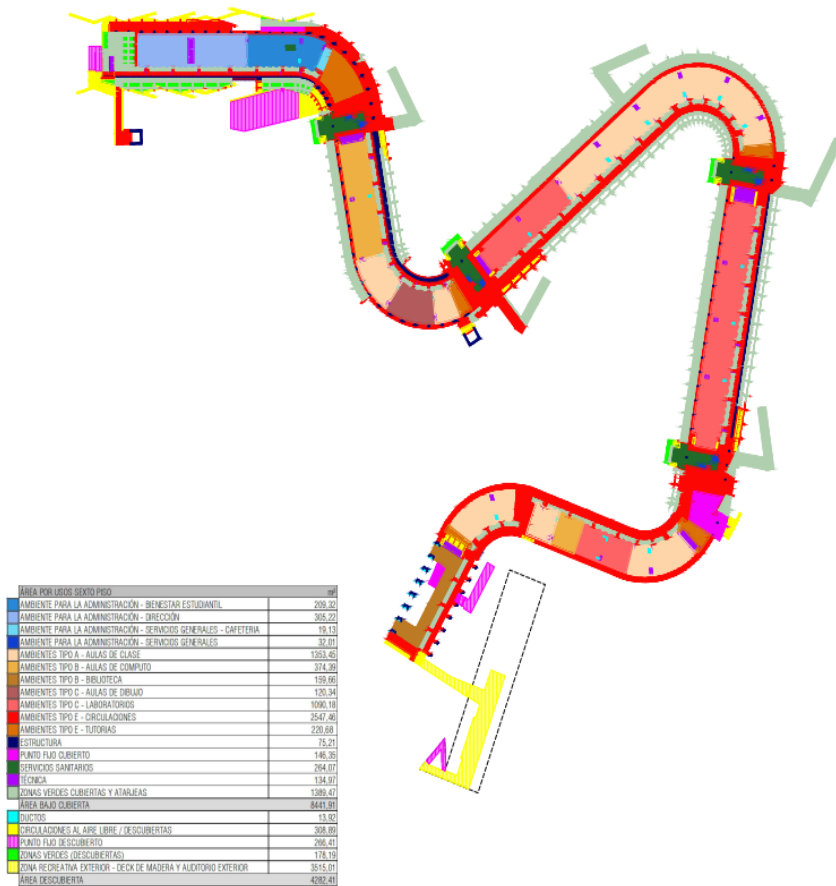
Planos arquitectónicos nueva sede UIS Málaga



| CONVENCIONES | |
|--|--|
| LÍMITE PREDIAL | |
| ZONA DE SERVIDUMBRE | |
| EDIFICACIÓN EXISTENTE A DEMOLER | |
| PROYECCIÓN AMPLIACIÓN FUTURA | |
| ÁREA EN SUELO DE PROTECCIÓN. ZONA DEPORTIVA DE LA SEDE | |

Figura 13.

Distribución de laboratorios en la nueva infraestructura UIS sede Málaga



Propuesta de paisajismo

El establecimiento de una cobertura vegetal adecuada es esencial para mitigar los efectos del cambio climático y promover la biodiversidad. Según la Ley 99 de 1993, que regula el manejo ambiental en Colombia, es fundamental fomentar prácticas que contribuyan a la conservación de los recursos naturales y al desarrollo sostenible (Ministerio del Medio Ambiente, 1993). En este contexto, la selección de especies arbóreas nativas se convierte en un aspecto clave, ya que estas

especies están mejor adaptadas a las condiciones locales y pueden ofrecer beneficios ecológicos significativos, como la mejora de la calidad del aire y el aumento de la biodiversidad.

La propuesta de paisajismo para el campus de la Universidad Industrial de Santander (UIS), sede Málaga, se fundamenta en la necesidad de integrar espacios verdes que contribuyan a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de la comunidad universitaria de igual manera busca aumentar la diversidad de especies arbóreas nativas y fomentar la fauna local, además de promover microorganismos y mutualismos. Esto contribuirá a la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), mejorará la calidad del suelo y funcionará como laboratorios naturales, corredores biológicos y mejorará la conectividad del ecosistema

Esta iniciativa contempla destinar un 30% del área útil disponible para la construcción, a la cobertura vegetal, utilizando especies arbóreas nativas que se detallan en el documento (tabla 4). Este espacio se planificará estratégicamente en función de los planos arquitectónicos existentes, teniendo en cuenta parámetros como distanciamiento de siembra 6x6, adaptabilidad, rango altitudinal, sistema radicular, aporte de sombra, longevidad, altura total, arquitectura de las especies, alcantarillado de la sede, tendido eléctrico, tiempos de floración, refugio y alimento para fauna, con la finalidad de ser atractivos para la dispersión de semillas (Tabla 4), priorizando áreas alrededor de laboratorios y otros espacios comunes donde se pueda maximizar el impacto estético y ambiental.

El predio actual del campus universitario posee un área total de 59447,65 m² dentro de la cual se encuentra la zona ocupada por la construcción de la sede actual con un área de 3976,07 m² y un espacio deportivo como zona en suelo de protección con un área de 11251,16 m², lo que deriva en un área útil de 48196,49 m² para la construcción del nuevo campus universitario según

los planos arquitectónicos suministrados por la coordinación de sede de la UIS sede Málaga. Por lo tanto, se destinarán 14458,94 m² para el establecimiento de las especies arbóreas seleccionadas.

Para la cobertura vegetal propuesta, se seleccionarán especies nativas que se han identificado en los inventarios florísticos realizados en el campus. Entre las especies recomendadas se incluyen: *Jacaranda caucana*, *Alnus acuminata*, *Lafoensia acuminata*. Estas especies han sido elegidas por su capacidad para adaptarse a las condiciones del suelo y clima locales, así como por sus características estéticas y funcionales, como el sistema radicular adecuado para prevenir erosiones y su capacidad para proporcionar sombra

Consideraciones Técnicas. La implementación de esta propuesta requerirá un plan de mantenimiento que asegure el crecimiento saludable de las especies elegidas. Esto incluye: 1) Riego adecuado: Establecer un sistema eficiente que considere las necesidades hídricas específicas. 2) Mantenimiento regular: Incluir podas y control de plagas para asegurar que las plantas se mantengan saludables. 3) Monitoreo continuo: Evaluar el crecimiento y desarrollo de las especies arbóreas para realizar ajustes en el manejo según sea necesario.

Tabla 4.

Propuesta de especies Nativas

| Nombre científico | Clase | Rango altitudinal (m s.n.m) | Sistema radicular |
|---------------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|
| 1- <i>Jacaranda caucana</i> | Árbol | 1200 - 2400 | profundo y bien desarrollado |
| 2- <i>Alnus acuminata</i> | Árbol | 2200 - 3600 | fibroso y extenso |
| 3- <i>Myrsine guianensis</i> | Árbol | 100 -3000 | fibroso y extenso |
| 4- <i>Cedrela montana</i> | Árbol | 1500 - 2800 | profundo y extenso |
| 5- <i>Erythrina poeppigiana</i> | Árbol | 100-2200 | profundo y extensivo |
| 6- <i>Eugenia uniflora</i> | Árbol | 0- 2500 | fibroso |
| 7- <i>Ceroxylon alpinum</i> | Palm a | 2000 - 3200 | fibroso |
| 8- <i>Ceroxylon sasaimae</i> | Palm a | 1200 - 2500 | profundo y robusto |

| Sombra | Refugio-Alimento | Longevidad (años) | Tiempos de floración |
|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|
| 1-sombra densa | si | 20 - 50 | mayo y junio. |
| 2-moderada | si | 50 - 70 | marzo y mayo |
| 3-moderada | si | 20 - 50 | abril y agosto |
| 4-sombra densa | si | 50 - 100 | junio y agosto |
| 5-sombra densa | si | 20 - 50 | junio y septiembre |
| 6-moderada | si | 20 - 30 | mayo y octubre |
| 7-sombra amplia | si | 50 a 100 | junio y agosto |
| 8- sombra densa | si | 60 a 100 | junio y octubre |

| Tipo de suelo | Altura total (m) | Nutrientes |
|-------------------------|------------------|--------------------------|
| 1-franco-arcillosos | 15 y 20 | macro y micro nutrientes |
| 2-franco-arcillosos | 20 y 30 | macro y micro nutrientes |
| 3-arcillosos o arenosos | 8 y 15 | macro y micro nutrientes |
| 4-franco-arcillosos | 25 y 35 | macro y micro nutrientes |
| 5-franco-arcillosos | 15 | macro y micro nutrientes |
| 6-franco-arcillosos | 8 | macro y micro nutrientes |
| 7-franco-arcillosos | 40 | macro y micro nutrientes |
| 8-franco-arcillosos | 25 | macro y micro nutrientes |

6. Discusión

El calentamiento global ha generado un aumento significativo en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), lo que ha modificado los patrones climáticos y, por ende, la salud de los ecosistemas terrestres (Orrego et al., 2003). En este contexto, el estudio de la biomasa aérea arbórea se vuelve crucial, ya que los árboles actúan como importantes sumideros de carbono. Según el IPCC (2021), los ecosistemas forestales son responsables de capturar aproximadamente un tercio del CO₂ emitido anualmente. La capacidad del campus UIS sede Málaga para almacenar carbono, evidenciada por el incremento en la biomasa aérea (12,859 kg) y el carbono acumulado (6,429 kg) para *Lafoensia acuminata* en 2024, resalta su papel significativo en la mitigación del cambio climático.

La dinámica observada en la biomasa aérea y el carbono acumulado también está relacionada con la diversidad específica del ecosistema. Estudios como los realizados por Chave et al. (2005) han demostrado que una mayor diversidad de especies arbóreas contribuye a una mayor estabilidad y resiliencia del ecosistema. El Índice de Shannon-Wiener calculado para las especies nativas en el campus indica un aumento en la diversidad, lo que sugiere que las prácticas de manejo silvicultural implementadas han sido efectivas. Esto es consistente con las recomendaciones de Boulanger et al. (2018), quienes enfatizan que la inclusión de especies nativas no solo mejora la estética del paisaje, sino que también potencia los servicios ecosistémicos.

La propuesta de paisajismo presentada se basa en un análisis detallado de las condiciones ambientales y las características de las especies nativas seleccionadas. Este enfoque es fundamental para garantizar que las intervenciones paisajísticas no solo sean visualmente atractivas, sino también funcionales desde el punto de vista ecológico. La selección estratégica de

especies como *Jacaranda caucana* y *Alnus acuminata* está alineada con las mejores prácticas recomendadas en la literatura sobre paisajismo sostenible (Boulanger et al., 2018). Además, se sugiere que estas especies pueden contribuir a mejorar la calidad del aire y proporcionar sombra, lo cual es especialmente relevante en entornos urbanos donde el calor extremo puede afectar el bienestar humano.

Un aspecto crítico en la gestión sostenible del paisaje es el monitoreo continuo. La implementación de un programa sistemático para evaluar el crecimiento y estado de salud de las especies plantadas permitirá realizar ajustes necesarios en las prácticas de manejo (Lugo & Helmer, 2004). Este enfoque no solo garantiza la sostenibilidad a largo plazo del ecosistema arbóreo del campus, sino que también proporciona datos valiosos para futuras investigaciones sobre el impacto ambiental derivado de estas intervenciones.

Finalmente, es importante considerar las implicaciones sociales del paisajismo propuesto. La creación de espacios verdes bien diseñados no solo mejora el entorno físico del campus, sino que también tiene un impacto positivo en el bienestar psicológico y social de los estudiantes y personal universitario (Kaplan & Kaplan, 1989). Fomentar una mayor conexión entre los miembros de la comunidad universitaria y su entorno natural puede enriquecer la experiencia educativa y promover una cultura ecológica más fuerte dentro del campus.

7. Conclusiones

Los resultados muestran un incremento significativo en la biomasa aérea (Ba) y el carbono acumulado (Ca) entre 2021 y 2024, alcanzando 12,859 kg de Ba y 6,429 kg de Ca para la especie *Lafoensia acuminata*. Este aumento no solo indica una mejora en la salud del ecosistema del campus, sino que también resalta la efectividad de las prácticas de gestión silvicultural implementadas durante este periodo. La capacidad del campus para contribuir al secuestro de carbono se confirma, lo que es crucial en el contexto del cambio climático global.

El análisis del inventario florístico revela un aumento en la diversidad de especies nativas, evidenciado por un Índice de Shannon-Wiener más alto en 2024. Esta mayor diversidad no solo mejora la estabilidad y resiliencia del ecosistema, sino que también potencia los servicios ecosistémicos que estos árboles proporcionan, como la regulación del microclima y el soporte a la biodiversidad local.

La propuesta de paisajismo desarrollada para el campus se fundamenta en un análisis exhaustivo de las condiciones ambientales y las características de las especies nativas seleccionadas. Se han identificado puntos estratégicos en los planos arquitectónicos, como laboratorios y espacios verdes, donde se implementarán especies nativas como *Jacaranda caucana* y *Alnus acuminata*. Esta selección no solo busca embellecer el entorno, sino que también maximiza los beneficios ecológicos, como la mejora de la calidad del aire y la provisión de sombra, contribuyendo a un microclima más favorable.

La propuesta de paisajismo para el campus UIS sede Málaga no solo busca embellecer el entorno universitario, sino también promover un ecosistema más saludable y resiliente. La integración del 30% del área útil para cobertura vegetal representa un compromiso con la

sostenibilidad y el bienestar social, alineándose con las normativas ambientales colombianas. Esta iniciativa contribuirá significativamente a mejorar la calidad del ambiente urbano dentro del campus universitario (FAO, 2018; Orrego et al., 2003)

Finalmente, los hallazgos del estudio subrayan la importancia crítica de implementar estrategias sostenibles en el manejo forestal y paisajismo dentro del campus UIS Málaga. Estas acciones no solo contribuyen a mitigar los efectos del cambio climático, sino que también fortalecen la resiliencia ecológica y mejoran el bienestar social, estableciendo un modelo a seguir para otras instituciones educativas.

8. Recomendaciones

Se propone mantener el cuidado, manejo y propagación de las especies nativas en categorías de amenaza crítico, ya que la población de estas especies viene en declive y son de vital importancia para los ecosistemas. Es fundamental continuar promoviendo la inclusión de especies nativas en el paisajismo del campus. Se sugiere diversificar aún más las especies seleccionadas, considerando no solo su adaptabilidad al entorno local, sino también su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos adicionales, como la mejora de la calidad del aire y el soporte a la fauna local.

Se recomienda establecer un programa de monitoreo a largo plazo que evalúe la dinámica de la biomasa aérea y el carbono acumulado. Este programa debe incluir mediciones periódicas del crecimiento de las especies plantadas, así como el estado de salud del ecosistema arbóreo. La recopilación de datos permitirá ajustar las prácticas de manejo y paisajismo según las condiciones cambiantes del entorno.

Se recomienda implementar programas de capacitación para estudiantes y personal administrativo sobre las prácticas de gestión sostenible del paisaje. Esto incluye formación en técnicas de mantenimiento, conservación y restauración ecológica, así como en la importancia de la biodiversidad en entornos urbanos.

Involucrar a la comunidad universitaria en actividades relacionadas con el paisajismo, como jornadas de plantación y mantenimiento, puede fortalecer el sentido de pertenencia hacia el campus. Se sugiere crear grupos o clubes ambientales que promuevan iniciativas sostenibles y fomenten una cultura ecológica dentro de la sede de la universidad.

La propuesta de paisajismo debe incluir elementos educativos que informen a los usuarios sobre las especies nativas plantadas y su importancia ecológica. Se pueden instalar señalizaciones informativas o desarrollar aplicaciones móviles que ofrezcan información sobre las plantas y sus beneficios para el ecosistema.

Es recomendable llevar a cabo evaluaciones periódicas del impacto ambiental derivado de las intervenciones paisajísticas. Esto incluye analizar cómo las nuevas plantaciones afectan los microclimas locales, la biodiversidad y los flujos hídricos. Estos estudios ayudarán a validar la efectividad del paisajismo propuesto en términos ecológicos.

Dada la importancia del agua en el mantenimiento de los espacios verdes, se recomienda implementar sistemas eficientes para el riego, como recolectores de agua lluvia o sistemas de riego por goteo para el establecimiento de la cobertura vegetal del nuevo campus universitario. Esto no solo optimiza el uso del recurso hídrico, sino que también reduce costos operativos a largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- Aznar Mena, R. J. (2015). Desarrollo de un Plan Maestro para la Implantación de Jardinería Ecológica bajo Criterios de Sostenibilidad y Xerojardinería en Valencia y su área Metropolitana (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Aznar Mena, R. J. (2015). Desarrollo de un plan maestro para la implantación de jardinería ecológica bajo criterios de sostenibilidad y xerojardinería en Valencia y su área metropolitana (Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València).
- Boulanger, V., & Ménard, S. (2018). Integrating native species in urban landscaping: A review of best practices. *Landscape and Urban Planning*, 175, 1-12.
- Cabrera, J. A., Arévalo, J. J., & Cortés, M. A. (2012). Urban forest management and planning in Colombian cities: A review. *Urban Ecosystems*, 15(1), 153-164.
- Cabrera, J. A., Arévalo, J. J., & Cortés, M. A. (2012). Urban forest management and planning in Colombian cities: A review. *Urban Ecosystems*, 15(1), 153-164. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0205-3>
- Capachero Martínez, Carlos & Phillips-Bernal, J. & Peña Hernández, Miguel. (2018).
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... & Higuchi, N. (2014). Updated estimates of the carbon density of tropical forests and their uncertainty. *Biogeosciences*, 11(13), 3433-3455.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., ... & Higuchi, N. (2014). Updated estimates of the carbon density of tropical forests and their uncertainty. *Biogeosciences*, 11(13), 3433-3455.

- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., et al. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99.
- Chicaiza Guanotasig, G. M. (2022). Chicaiza Guanotasig Gladys Marina (2022); Análisis de la calidad de absorción visual en los componentes que forman parte de las unidades del paisaje, del páramo de la comuna La Libertad, parroquia San Juan de Pastocalle, cantón Latacunga, período 2022 (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). *Espiral (Guadalajara)*, 15(43), 179-202.
- Fernández Moreno, Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales?: Una revisión de la literatura mexicana con énfasis en Áreas Naturales Protegidas.
- García, J. M., Martínez, E., & Morales, A. (2015). Estimation of aerial biomass in Santurbán National Natural Park using non-destructive methods. *Journal of Tropical Forest Science*, 27(1), 27-35.
- García, J. M., Martínez, E., & Morales, A. (2015). Estimation of aerial biomass in Santurbán National Natural Park using non-destructive methods. *Journal of Tropical Forest Science*, 27(1), 27-35.
- Gatica Otárola, L. G. (2012). Plan de gestión predial con objetivos de conservación de la biodiversidad y sustentabilidad territorial del fundo " Casas Viejas de Chena".
- Guanotasig Quishpe, G. P. (2021). Indicadores de sostenibilidad institucional en la gestión de suelos, hábitat y biodiversidad en el Centro Experimental, académico Salache, Universidad Técnica de Cotopaxi, período 2020–2021 (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
- Houghton, R. A. (2007). Emissions of carbon dioxide from deforestation and land use change in the tropics. *Global Change Biology*, 13(6), 1466-1476.

- Houghton, R. A. (2007). Emissions of carbon dioxide from deforestation and land use change in the tropics. *Global Change Biology*, 13(6), 1466-1476.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Jaramillo, V. J., Velásquez, E., & Esteban, R. (2003). Carbon sequestration and biomass estimation in tropical forests: A case study in Colombia. *Journal of Tropical Ecology*, 19(6), 743-751.
- Jaramillo, V. J., Velásquez, E., & Esteban, R. (2003). Carbon sequestration and biomass estimation in tropical forests: A case study in Colombia. *Journal of Tropical Ecology*, 19(6), 743-751.
- Jordán-Salinas, J., Pérez-Eguíluz, V., & Rivas-Sanz, J. L. D. L. (2020). Paisaje Urbano Histórico: aprendiendo de una ciudad paisaje, Segovia. *Eure (Santiago)*, 46(137), 87-110.
- Kaplan, R., & Kaplan, S. (1989). *The Experience of Nature: A Psychological Perspective.* Cambridge University Press.
- Lugo, A. E., & Helmer, E. H. (2004). Emerging forests on abandoned land: Puerto Rico's new forests. *Forest Ecology and Management*, 190(2-3), 145-161.
- Lugo, AE, Brown, SL, Dodson, R., Smith, TS, y Shugart, HH (1999). Las zonas de vida de Holdridge de los Estados Unidos contiguos en relación con el mapeo de ecosistemas. *Journal of biogeography*, 26 (5), 1025-1038.
- manual de campo inventario forestal nacional de colombia.
- Martínez, G. R., Mata, J. J., & Martínez, A. V. (2003). Las masas forestales como sumideros de CO₂ ante un cambio climático global. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 9(1), 57-67.
- McPherson, E. G., Simpson, J. R., Peper, P. J., & Maco, S. E. (1997). Urban forest research: A review of the literature. *Urban Forestry & Urban Greening*, 1(2), 65-74.

- Monterrubio Hernández, F. (2021). Valoración económica de la plantación de Gmelina arborea en la localidad de El Mante, Álamo Temapache Veracruz.
- Ocampo, C. A., Mendoza, J. A., & López, J. F. (2018). Carbon stock assessment in montane forests of Santander. *Forest Ecology and Management*, 407, 212-220.
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R. A., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993.
- Pérez, M. A., Montoya, M. J., & Vargas, L. G. (2020). Proposals for urban green space development in Bucaramanga. *Landscape and Urban Planning*, 199, 103883.
- Quiñonez, R. H. Z. (2016). Estrategias de enseñanza-aprendizaje en la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente de la Universidad Nacional del Centro del Perú. *Ambiente*, 1(1-2), 73-82.
- Romero Loayza, J. A. (2017). Diseño de un plan de administración ambiental para la Empresa porcícola Reina del Cisne (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
- Yamallel, J. I. Y., Pérez, J. J., Rodríguez, E. A., Calderón, O. A. A., Tagle, M. A. G., & Garza, E. J. T. (2014). Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 113-121.
- Zúñiga, J. L. (2017). Funciones alométricas, de volumen y de crecimiento para clones de teca (*Tectona grandis* Lf) en Costa Rica.

Apéndices

Apéndice A.

Manipulación estación topográfica



Apéndice B.

Georreferenciación de individuos



Apéndice C.

Marcaje de individuos



Apéndice D.

Mediciones dendrométricas





Apéndice E.

Colecta de material vegetal



Apéndice F.

Prensado de material vegetal

