

EVALUACIÓN Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL ARBOLADO URBANO EN LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA UNIDAD XOCHIMILCO

Gestión
ambiental



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UAM
Casa abierta al tiempo
Unidad Xochimilco

Evaluación y Servicios Ecosistémicos
del Arbolado Urbano en la Universidad
Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco,
Coyoacán, Ciudad de México.

Assessment and Ecosystem Services of urban Trees at the
Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco Unit,
Coyoacán, Mexico City.

Julio (2025)



Evaluación y Servicios Ecosistémicos
del Arbolado Urbano en la Universidad
Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco,
Coyoacán, Ciudad de México.

Assessment and Ecosystem Services of urban Trees at the
Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco Unit,
Coyoacán, Mexico City.

Julio (2025)

Cervantes Huerta Daniel Abraham^{1*}
Tejeda Gómez Frederick Jhonnatan^{1*}
Jarillo Manzano Jocelyn^{1**}
Rios Mendoza Magali^{1**}
Cruz Gorostiola Andrea^{2**}
Gregorio Anaya Mariana^{2**}
Cueto Galán Vanesa Adamari^{2***}
González Sánchez Reneé Michelle^{2***}
López Portilla José Abraham^{2***}

1*Secretaría de Unidad de la Universidad Autónoma Metropolitana.
Coordinador general del proyecto.

1*Secretaría de Unidad de la Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Xochimilco

1**Oficina de Gestión Ambiental de la Secretaría de Unidad, UAM-X.

2** Colaboradores

2***Compiladores.

Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. José Antonio De los Reyes Heredia

Rector general

Dra. Norma Rondero López

Secretaria general

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Dr. Francisco Javier Soria López

Rector de Unidad

Dra. María Angélica Buendía Espinosa

Secretaria de Unidad

Ing. Daniel Abraham Cervantes Huerta

Jefe de la Oficina de Gestión Ambiental

Coordinación de Extensión Universitaria y Difusión Cultural

Dra. Martha Isabel Flores Ávalos

Coordinadora

DCG Amada Margarita Pérez Ponce

Jefa de la Sección de Producción Editorial

DCG Hugo Adrián Ábrego García

Diseño y formación

Michelllette Guevara Pastor

Corrección

D. R. Universidad Autónoma Metropolitana

1ª edición: Ciudad de México, 2025

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Xochimilco

Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud

Alcaldía Coyoacán

Ciudad de México, C. P. 04960

Sección de Producción Editorial

Impreso y hecho en México

Índice

Resumen	9
Abstract	11
Introducción	13
1. Materiales y Métodos	15
1.1 Área de estudio	15
2. Metodología	17
3. Resultados	22
3.1 Características del arbolado urbano UAM-X	22
3.2 Clases de DAP	25
3.3 Cobertura del arbolado urbano y área foliar	26
3.4 Eliminación de la contaminación del aire por el arbolado urbano	28
3.5 Compuestos Orgánicos Volátiles	32
3.6 Almacenamiento y secuestro de carbono	34
3.7 Producción de oxígeno	37
3.8 Escurrimiento evitado	42
3.9 Valores de sustitución y funcionales	44
3.10 Impacto del muérdago sobre el arbolado de la UAM-X	45
3.11 Evaluación del valor relativo de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano mediante equivalencias de emisiones	46
4. Recomendaciones generales para el manejo del arbolado urbano de la UAM-X	49
4.1 Poda fitosanitaria	50
4.2 Poda de mantenimiento	51

4.3 Poda de seguridad	51
4.4 Poda de producción	53
4.5 Poda estructural	53
4.6 Poda de aclareo de copa	55
4.7 Poda de limpieza de copa	56
4.8 Correcto corte de ramas	57
4.9 Recomendaciones para el manejo de raíces en el arbolado	60
4.10 Medidas de rehabilitación, conservación y adaptación de las especies vegetales presentes en las áreas verdes de la Unidad hacia una universidad sustentable frente al cambio climático	61
4.11 Funciones y estructuras adaptadas al tipo de suelo de la UAM-X	63
4.12 Estudio del suelo del arbolado urbano de la UAM-X	64
4.13 Manejo y Conservación del Arbolado Urbano durante obras en la UAM-X	65
4.14 Recomendaciones para el establecimiento de un plan territorial	67
5. Discusión	70
6. Conclusiones	72
7. Referencias	73
Glosario	78
Anexos	80
Anexo A-Especies	80
Anexo B- Mapas	91
B.1 Predio “Las Animas” Tulyehualco, Xochimilco, CDMX	91
B.2 Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuernavaca (CIBAC), Xochimilco, CDMX	93
B.3 Clínica Estomatológica Nezahualcóyotl	95

B.4 Clínica Estomatológica San Lorenzo	96
B.5 Clínica Estomatológica Tláhuac	98
B.6 Jardín Día de Campo	99
B.7 Jardín Zapata	101
B.8 Jardín Edén	102
B.9 Área de Aulas Provisionales	103
B.10 Área de Actividades Deportivas	105
Anexo C. Paleta de colores	106

Resumen

El presente estudio cuantifica y evalúa el estado del arbolado urbano en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X), incluyendo el Predio “Las Ánimas”, CIBAC y Clínicas estomatológicas. El objetivo principal fue caracterizar la estructura, diversidad y servicios ecosistémicos proporcionados por el arbolado institucional. Se censaron 1 787 árboles y se utilizó el modelo i-Tree Eco del Servicio Forestal de EE. UU. para estimar su contribución ambiental.

Los resultados mostraron que la cobertura arbórea representa el 6.86 % del área total de la UAM-X. Las especies más abundantes fueron *Casuarina equisetifolia*, *Fraxinus uhdei* y *Jacaranda mimosifolia*. Además, el 24.8 % de los árboles tienen un diámetro menor a 15.2 cm, lo que indica una población mayormente joven o de porte pequeño.

En términos ambientales, los árboles contribuyen anualmente a la eliminación de 539.1 kg de contaminantes atmosféricos. Asimismo, almacenan un total de 651 toneladas de carbono y secuestran anualmente 38.97 toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Finalmente, producen aproximadamente 103.9 toneladas de oxígeno cada año.

El estudio destaca la relevancia del arbolado urbano como proveedor de servicios ecosistémicos, incluyendo el control de escurrimientos pluviales y la mejora de la calidad del aire. El valor de sustitución total de estos servicios fue estimado en 71.4 millones MXN, dicho valor de sustitución refleja el costo que tendría replicar artificialmente estos beneficios ecológicos. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de implementar estrategias de manejo y conservación del arbolado urbano, reconociendo su valor ecológico, económico y social. La investigación evidencia que una adecuada gestión forestal urbana puede maximizar los beneficios ambientales y contribuir significativamente al bienestar de la comunidad universitaria y al entorno urbano en general.

Palabras clave: Captura de carbono, inventario forestal, DAP, producción de oxígeno, muerte regresiva, I-Tree, Arbolado urbano, Servicios ecosistémicos, Biodiversidad, Especies nativas, Especies exóticas, Riesgo, Manejo sustentable, Infraestructura verde.

Abstract

The present study quantifies and assesses the state of the urban forest at the Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco Unit (UAM-X), including the “Las Ánimas” property, CIBAC, and the Dental Clinics. The main objective was to characterize the structure, diversity, and ecosystem services provided by the institutional tree population. A total of 1,787 trees were surveyed, and the U.S. Forest Service’s i-Tree Eco model was used to estimate their environmental contribution.

The results showed that tree canopy covers 6.86 % of the total area of UAM-X. The most abundant species were *Casuarina equisetifolia*, *Fraxinus uhdei*, and *Jacaranda mimosifolia*. Additionally, 24.8 % of the trees have a diameter of less than 15.2 cm, indicating a population that is predominantly young or small in size.

From an environmental standpoint, the trees contribute to the annual removal of 539.1 kg of air pollutants. They also store a total of 651 metric tons of carbon and sequester 38.97 metric tons of carbon dioxide (CO₂) per year. Furthermore, they produce approximately 103.9 metric tons of oxygen annually.

The study highlights the importance of urban trees as providers of ecosystem services, including stormwater runoff reduction and air quality improvement. The total replacement value of these services was estimated at 71.4 million pesos, reflecting the cost of artificially replicating these ecological benefits. These findings underscore the need to implement strategies for the management and conservation of urban trees, recognizing their ecological, economic, and social value. The research demonstrates that proper urban forest management can enhance environmental benefits and significantly contribute to the well-being of both the university community and the broader urban environment.

Key words: carbon capture, forest inventory, DBH, oxygen production, regressive death, species, I-Tree. Urban trees, Ecosystem services, Biodiversity, Native species, Exotic species, Risk, Sustainable management, Green infrastructure.

Introducción

El crecimiento de la población urbana ha ejercido una presión significativa sobre los recursos naturales en las ciudades, impactando negativamente la calidad ambiental y la sostenibilidad urbana. En este contexto, la vegetación urbana desempeña un papel fundamental, ya que contribuye a mitigar los efectos del cambio climático mediante la captura de carbono, la regulación de la temperatura, la mejora de la calidad del aire y la reducción del escurrimiento superficial de agua.

Tradicionalmente, los árboles y las áreas verdes se han asociado con zonas rurales y del campo; sin embargo, en los entornos urbanos, el arbolado desempeña un papel fundamental al proporcionar bienes y servicios ecosistémicos, además de contribuir significativamente a la mitigación de los efectos negativos de la crisis ambiental y climática actual.

La vegetación urbana cumple funciones clave para el bienestar de la población, tales como la regulación térmica, la mejora de la calidad del aire, la retención de agua de lluvia y la creación de espacios para la interacción social (Zhangab et al., 2010; Rivera, 2012). Por ello, su manejo, conservación y reforestación representan retos importantes para las metrópolis que buscan mejorar su entorno ambiental (Bradley, 1989; Moll y Ebenreck, 1989). En este sentido, las áreas verdes se han consolidado como instrumentos esenciales para promover la sostenibilidad urbana y fomentar una convivencia social más saludable.

Dado el valor del arbolado urbano, los múltiples beneficios que brinda a la sociedad y la importante cantidad de árboles presentes en la UAM-X, el presente trabajo tiene como objetivo cuantificar y evaluar el estado del arbolado urbano en dicha Unidad, incluyendo sus predios y clínicas estomatológicas. Para ello, se realizó una colecta de datos que permitió determinar el número de árboles, las especies presentes, su condición actual y los beneficios que aportan tanto a la comunidad universitaria como a la población en general.

Este análisis permite dimensionar la contribución del arbolado urbano al bienestar ambiental de la Unidad y servirá como base para proponer estrategias de conservación y manejo sostenible que potencien los beneficios ecológicos y sociales del ecosistema urbano.

1. Materiales y Métodos

1.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco (UAM-X), cuya superficie es de 212 548 m². La Unidad está ubicada al sur de la Ciudad de México, en la calzada del Hueso 1100, Colonia Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, C.P. 04960, México. En las coordenadas: 19° 18' 19" N 99° 06' 11". Se recopilaron datos referentes al arbolado de la Unidad, dos predios universitarios y cuatro clínicas estomatológicas: El Predio Las Ánimas ubicado en Tulyehualco, Av. Francisco I. Madero S/N Xochimilco, C.P. 16700, Ciudad de México. En las coordenadas 19° 15' 21" N 99° 01' 03" O y tiene un área total de 41 696.54 m²; El Centro de Investigaciones Biológicas y Acuícolas de Cuemanco (CIBAC), ubicado en Antiguo Canal Cuemanco 3, Pista Olímpica Virgilio Uribe, Xochimilco 16034, Ciudad de México. En las coordenadas: 19° 16' 55" N 99° 06' 11" O, y con una superficie de 13 582.02 m².

Y en las cuatro clínicas estomatológicas en las que se encuentran el Laboratorio de Diseño y Comprobación de Sistemas Estomatológicos Nezahualcóyotl, ubicado en Av. Cuatro s/n Col. Pirules Cd. Nezahualcóyotl, Edo. de México. C.P. 57520; el Laboratorio de Diseño y Comprobación de Sistemas Estomatológicos de San Lorenzo Atemoaya ubicado en Atemoaya Hidalgo No. 19, Col. San Lorenzo Atemoaya, Alcaldía Xochimilco, CDMX, C.P. 16400; el Laboratorio de Diseño y Comprobación de Sistemas Estomatológicos Tepepan, ubicado en "Dr. Rafael Lozano Orozco" Fco. Villa s/n esq. E. Zapata Col. Sn. Juan Tepepan, Alcaldía Xochimilco, CDMX. C.P. 16020 y, finalmente, el Laboratorio de Diseño y Comprobación de Sistemas Estomatológicos Tláhuac, ubicado en Plaza Cívica s/n entre Severiano Ceniceros y Av.

Hidalgo San Pedro Tláhuac, Tláhuac, CDMX, C.P. 13070. La superficie de las cuatro clínicas estomatológicas es de 3,582.02 m². (Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, 2007).

El clima predominante en la Ciudad de México se clasifica como Cw, de acuerdo con la clasificación de Köppen, lo que corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias concentradas en verano. En particular, la alcaldía de Coyoacán presenta este mismo tipo climático, según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024). Esta zona se caracteriza por tener temperaturas mínimas promedio de aproximadamente 8 °C y temperaturas máximas medias cercanas a los 16 °C. La temperatura media anual es de 16 °C, con una precipitación pluvial acumulada de aproximadamente 804 mm anuales. Además, Coyoacán se localiza a una altitud de 2 240 metros sobre el nivel del mar, lo que influye significativamente en sus condiciones climáticas.

Estas condiciones climáticas resultan particularmente favorables para una amplia diversidad de especies arbóreas, tanto nativas como introducidas. La combinación de temperaturas moderadas y precipitaciones estacionales proporciona un entorno idóneo para el crecimiento y desarrollo de árboles como el fresno (*Fraxinus uhdei*), el ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), el encino (*Quercus spp.*), y especies introducidas como el eucalipto (*Eucalyptus spp.*) y la jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*). La presencia de lluvias durante el verano, coincidiendo con los periodos de mayor actividad fisiológica de las plantas, favorece los procesos de fotosíntesis, floración y fructificación, lo cual contribuye a la estabilidad de los ecosistemas urbanos.

Asimismo, la altitud y el régimen térmico ayudan a limitar la presencia de plagas tropicales, lo que reduce el estrés biótico sobre la vegetación. Este contexto ecológico permite que muchas especies maderables, ornamentales y de sombra se establezcan con éxito, desempeñando un papel clave en la regulación del microclima urbano, la captura de contaminantes atmosféricos y la provisión de servicios ecosistémicos esenciales.

2. Metodología

La realización de este proyecto se dividió en dos etapas: en la primera, se delimitaron físicamente las zonas de la unidad con presencia de arbolado, las cuales fueron divididas en frentes, predios y clínicas para facilitar un levantamiento ordenado de la información. Durante esta fase, se identificaron todos los individuos arbóreos visibles que fueran superiores a los 2 m y con un diámetro superior a 3 cm asignándoles un número consecutivo que permitió su registro y localización precisa a lo largo del proceso.

Para cada árbol identificado se recopiló una serie de datos específicos que permitieron evaluar su condición estructural, sanitaria y su ubicación espacial. Uno de los primeros datos registrados fue la especie del árbol, la cual se determinó mediante observación directa de las características morfológicas del ejemplar (hojas, flores, frutos, corteza, forma de copa). Esta información resultó esencial para comprender la composición florística del arbolado urbano en la UAM-X.

Posteriormente, se evaluó la presencia de muerte regresiva, entendida como el deterioro progresivo de la copa desde su parte superior hacia la base, indicador de estrés, enfermedad o envejecimiento del individuo. Esta condición se estimó de manera visual y se consignó en el registro como parte del diagnóstico del estado de salud del árbol.

Uno de los parámetros fundamentales para la caracterización de los árboles fue el diámetro a la altura del pecho (DAP), el cual se midió a 1.30 metros sobre el nivel del suelo utilizando una cinta diamétrica. Esta medición es un referente común para estimar el volumen y desarrollo de los individuos arbóreos.

También se midió el ancho de copa con una cinta métrica de 50 m, registrando dos distancias perpendiculares y calculando su promedio, lo que permitió obtener una aproximación de la cobertura del follaje de cada árbol. A la par, se estimó el porcentaje de copa faltante, considerando la proporción del follaje ausente con respecto al tamaño que

debería tener una copa completa en condiciones óptimas. Esta estimación se realizó de forma visual.

Se registraron datos de altura, dividiendo esta información en tres categorías: la altura desde la base del árbol hasta el inicio del fuste limpio (altura a la base de la copa), la altura hasta el punto más alto del follaje (altura a la copa) y la altura total del árbol, que corresponde a la distancia desde el suelo hasta la cima del ejemplar. Estas alturas fueron obtenidas con una herramienta llamada telémetro, tomando como referencia distancias horizontales y ángulos de inclinación.

La ubicación espacial de cada árbol fue determinada con el GPS integrado en la aplicación móvil de I-Tree, permitiendo georreferenciar cada individuo dentro del mapa de las áreas inventariadas, lo cual es fundamental para el manejo/mantenimiento del arbolado.

Por último, se registró el tipo de manejo requerido para cada árbol, considerando su condición sanitaria, estructural y el riesgo potencial que pudiera representar. Dentro de las actividades de manejo observadas se encuentran: poda de mantenimiento para controlar el crecimiento y forma del árbol; corrección de raíz; retiro de ramas dañadas o secas y, en casos extremos, el retiro del árbol cuando representaba un peligro por su mal estado estructural.

La segunda etapa del proyecto tuvo como objetivo consolidar y validar la información obtenida en el trabajo de campo para garantizar la precisión y confiabilidad de los datos a emplear en el análisis posterior.

Se procedió a una revisión de los datos recopilados durante el levantamiento de campo, lo cual incluyó una inspección detallada de las fotografías y su clasificación. Esta verificación permitió identificar inconsistencias, errores de captura o valores atípicos en variables como el diámetro a la altura del pecho (DAP) o en la altura total.

Un paso esencial para la representación espacial del arbolado es su correcta ubicación, por ello, se corrigieron las coordenadas de cada individuo arbóreo en caso de desviaciones o errores de localización, utilizando el software Arcgis, para así validar las ubicaciones con imágenes satelitales recientes y registros de campo. Este paso aseguró que

cada ejemplar estuviera correctamente posicionado dentro del contexto espacial de la UAM-X.

Se elaboró una paleta de colores única para cada una de las 78 especies arbóreas registradas, con el objetivo de facilitar su identificación visual y mejorar la interpretación en mapas temáticos. Este sistema cromático permite una lectura más clara y ordenada de la distribución y diversidad del arbolado (ver anexo C).

La construcción de la paleta se basó en la observación de características morfológicas representativas (hojas, frutos, corteza), utilizando fuentes botánicas confiables (Acevedo-Rodríguez & Strong, 2008) y herramientas digitales para obtener colores en formato RGB. Cada color fue elegido por su correspondencia visual directa con rasgos distintivos de la especie (Janick, 2002).

Esta estrategia resulta útil para integrar ciencia y diseño, facilitar procesos de planificación paisajística y promover el reconocimiento de la biodiversidad urbana. Además, mejora la comunicación ambiental y apoya procesos de educación ecológica (Moya-Pérez et al., 2020), constituyendo así un lenguaje visual coherente y atractivo, que permitiera identificar especies fácilmente y valorar la riqueza biológica del entorno de la UAM-X.

Una vez verificados y corregidos, los datos fueron estructurados y cargados en el software i-Tree, una herramienta desarrollada por el Servicio Forestal de los Estados Unidos para la evaluación y gestión del arbolado urbano. Esta plataforma permitió calcular diversos indicadores ecológicos y de servicio ambiental, tales como captura de carbono, calidad del aire, escurrimiento evitado y otros beneficios provistos por las especies estudiadas.

Finalmente, se desarrollaron polígonos y mapas georreferenciados que muestran la distribución espacial de las especies forestales presentes en la UAM-X, utilizando la paleta de colores previamente definida.

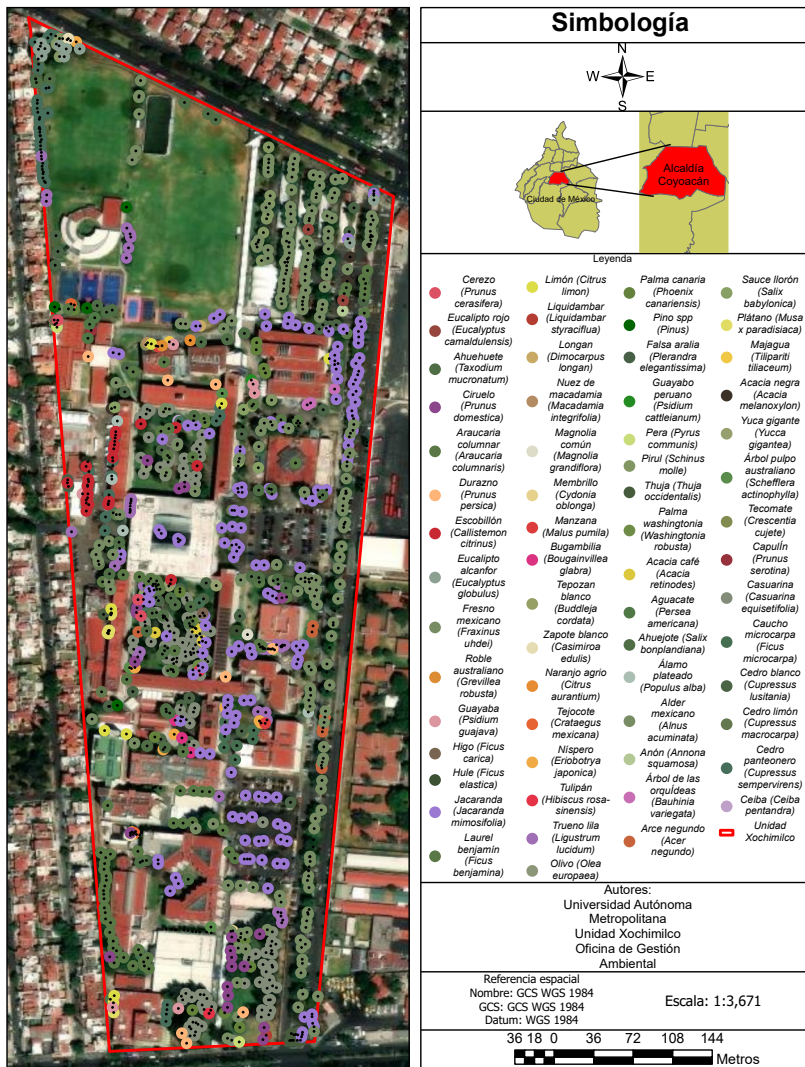


Figura 1. Mapa de especies del arbolado urbano de Unidad Xochimilco.

La Figura 1, muestra la distribución espacial de las especies arbóreas registradas en la UAM-X. El área evaluada abarca 212 587 m², correspondientes exclusivamente a la Unidad, sin incluir predios externos o clínicas. En esta superficie se identificaron 1 049 individuos arbóreos pertenecientes a 61 especies distintas.

Los principales núcleos verdes dentro de la Unidad son el Jardín Edén, con 121 individuos; el Jardín Picnic, con 59, y el Jardín Zapata, con 53 árboles. Estas áreas verdes no sólo ofrecen espacios de recreación y sombra para la comunidad universitaria, sino que también funcionan como islas frías y núcleos ecológicos clave, al albergar una alta diversidad de especies y actuar como refugios de biodiversidad en el entorno urbano.

En los jardines, la especie más representativa es la Casuarina (*Casuarina equisetifolia*), una variedad exótica común en áreas urbanas por su rápido crecimiento y resistencia a condiciones adversas. En la zona de aulas provisionales, predomina el Fresno mexicano (*Fraxinus uhdei*), una especie nativa de México, reconocida por su tolerancia a la contaminación y su capacidad para proporcionar sombra densa. Por otro lado, en los estacionamientos, la especie más frecuente es la Jacaranda (*Jacaranda mimosifolia*), apreciada tanto por su valor ornamental como por su capacidad de adaptación a ambientes urbanos. Los mapas de jardines de la UAM-X, de los predios y de las clínicas estomatológicas se pueden consultar en el Anexo B.

3. Resultados

3.1 Características del arbolado urbano UAM-X

Los bosques urbanos son ecosistemas vegetales localizados dentro de ciudades o alrededor de ellas y están formados por una gran variedad de especies de árboles. A diferencia de los bosques naturales, estos tienen una porción vegetal más homogénea y están compuestos de una mezcla de especies de árboles nativos (aquellos que se encuentran de manera natural en la región) y exóticos (especies que no son originarias de la región). Por ello, los bosques urbanos a menudo tienen una diversidad de árboles que es más alta que la de los paisajes nativos que los rodean.

El aumento en la diversidad de árboles puede minimizar el impacto general o la destrucción por un insecto o enfermedad específica de una especie, la introducción de especies exóticas también conlleva riesgos, especialmente cuando algunas de estas se comportan como invasoras. Una planta invasora es aquella que, al ser introducida en un nuevo ambiente, se establece con rapidez y comienza a desplazar a las especies nativas. Estas plantas suelen tener características que les dan una ventaja competitiva: crecen rápido, producen muchas semillas, se adaptan fácilmente a distintas condiciones y carecen de enemigos naturales (como plagas o enfermedades que limiten su crecimiento en su lugar de origen). Como resultado, pueden colonizar grandes áreas y alterar los ecosistemas, reduciendo la biodiversidad y afectando las relaciones ecológicas.

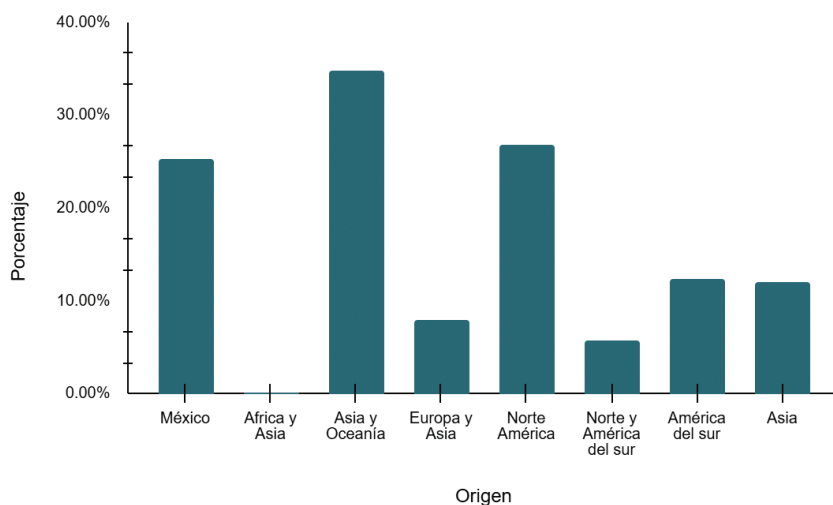


Gráfico 1. Porcentaje de la población de árboles por área de origen.

El análisis del gráfico anterior, revela que los porcentajes asignados a las distintas categorías de origen biogeográfico del arbolado suman aproximadamente un 126 % del total de especies registradas, esto derivado de que algunas especies son contabilizadas en más de una región de procedencia. Ejemplos de esto son las categorías compuestas como “Europa y Asia” o “Norteamérica y América del Sur”.

Este fenómeno implica que las categorías de origen no son mutuamente excluyentes, lo que indica que la gráfica representa una distribución del arbolado basada en áreas de procedencia con posible coexistencia de especies en múltiples regiones biogeográficas. Por consiguiente, los porcentajes aproximados estimados para cada región son los siguientes: Asia y Oceanía: 34 %, Norteamérica: 26 %, México: 25.3 %, América del Sur: 13 %, Asia: 13 %, Europa y Asia: 9 %, y Norteamérica y América del Sur: 6 %.

Este solapamiento resalta la complejidad biogeográfica del arbolado urbano en la UAM-X, sugiriendo la presencia de especies con amplia distribución geográfica o procedencia múltiple. La interpretación de

estos datos debe, por tanto, contemplar la heterogeneidad y la interrelación entre las regiones de origen para una adecuada caracterización y gestión del patrimonio arbóreo de la universidad.

Este enfoque es congruente con estudios previos que han documentado la complejidad de la composición florística en contextos urbanos, donde las especies pueden presentar múltiples áreas de distribución y orígenes introducidos por la actividad humana (Jim, 1993; Kowarik, 1995). Asimismo, el análisis biogeográfico del arbolado urbano permite entender patrones de diversidad y origen que son fundamentales para la planificación ecológica y la conservación urbana (Niemelä, 1999; Aronson et al., 2017).

El Inventario no sólo ofrece datos sobre la composición de especies, sino que también proporciona información cuantitativa relevante. La conformación total de 1 787 árboles, lo que representa una cobertura arbórea del 6.86 % en relación con el área inventariada. Esta proporción refleja una densidad significativa de árboles en la UAM-X, lo cual contribuye positivamente a la calidad ambiental del entorno. Una cobertura de este nivel favorece la regulación térmica y mejora la calidad del aire.

Dentro de la diversidad de especies presentes, tres destacan por su alta representatividad. La más abundante es *Casuarina equisetifolia*, que constituye el 25.2 % del total de ejemplares. Le sigue *Fraxinus uhdei*, con un 12.9 %, y en tercer lugar se encuentra *Jacaranda mimosifolia*, con un 10.1 %. Estas especies no solo aportan valor ecológico, sino también estético y funcional al paisaje universitario.

En la Gráfica 2 se muestra la distribución porcentual de la población arbórea según su especie, ordenada de mayor a menor representación. Cada especie está identificada con un color específico, los cuales pueden consultarse en detalle en el Anexo C (Paleta de colores).

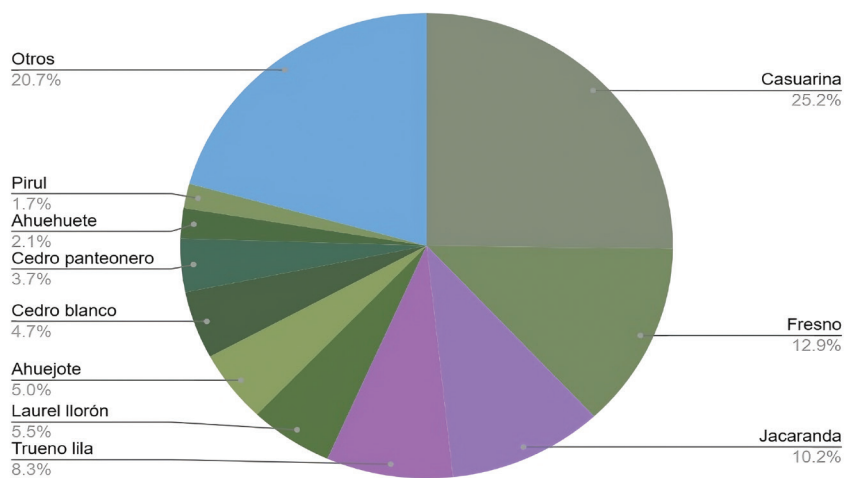


Gráfico 2. Composición de las especies forestales en la UAM-X.

3.2 Clases de DAP

El grafico 3, ilustra la distribución de los árboles según su diámetro a la altura del pecho (DAP), una medida fundamental en estudios forestales para evaluar la estructura, el crecimiento y la edad aproximada de los individuos arbóreos. Esta gráfica no sólo nos muestra los tamaños de los árboles, sino que también permite interpretar cómo está compuesta la población de cada especie en términos de su desarrollo.

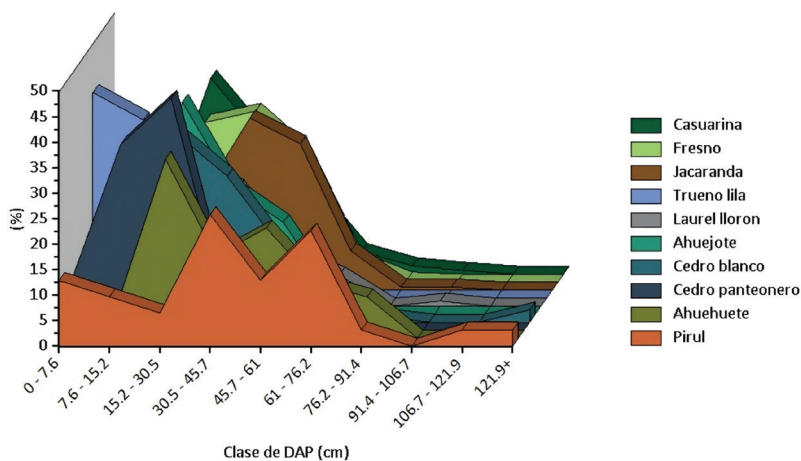


Gráfico 3. Distribución de las especies por clase de DAP.

Por ejemplo, en el caso del pirul, observamos que un 12.9 % de los individuos se encuentra en el rango de 0-7.6 cm, lo cual sugiere una proporción relevante de árboles jóvenes o en etapas iniciales de crecimiento. A su vez, un 9.7 % se sitúa en el rango de 7.6-15.2 cm, lo que indica una continuación del crecimiento, aunque puede ser señal de una curva decreciente en la regeneración o una intervención reciente en el arbolado.

3.3 Cobertura del arbolado urbano y área foliar

Uno de los aspectos clave en la gestión y conservación de los bosques urbanos es la cobertura arbórea y el área foliar, ya que estos factores están directamente relacionados con los beneficios ambientales que proporcionan los árboles, estos beneficios provienen de la cantidad de superficie foliar saludable, es decir, la cantidad total de hojas presentes en un área determinada.

En la UAM Xochimilco se estima que los árboles existentes generan un área foliar total de 23.96 hectáreas. Esta cifra representa la suma

de la superficie ocupada por todas las hojas del arbolado, no el terreno que ocupan los árboles individualmente, lo que refleja una elevada densidad y vitalidad del follaje presente.

Este dato adquiere especial relevancia al compararse con la superficie total de la UAM-X, que es de 271 408.58 metros cuadrados, es decir, aproximadamente 27.14 hectáreas. En otras palabras, el área foliar del arbolado es muy cercana a la superficie del terreno universitario, lo que evidencia la magnitud y valor ecológico del bosque urbano en nuestra Unidad.

Esta área foliar es un indicador importante, ya que cuanto mayor sea la cantidad de hojas saludables en un bosque urbano, mayor será su capacidad de realizar funciones ecológicas esenciales como: producción de oxígeno y absorción de dióxido de carbono (CO_2), filtración de contaminantes atmosféricos, reducción del efecto de isla de calor urbano, retención y regulación del agua.

En la UAM-X, la especie más dominante en términos de área de las hojas son fresno, jacaranda, y casuarina. Las 10 especies con los valores de importancia más altos son enumeradas en la Tabla 1. El Valor de Importancia (VI) es una forma de medir cuán importante es cada especie de árbol dentro de un área (bosque). Para calcular el VI , se suman dos cosas: el porcentaje de árboles de esa especie en el área del bosque y el porcentaje de área cubierta por sus hojas, ya que esto indica la cantidad de oxígeno que esa especie puede producir.

Los VI altos no quieren decir que los árboles deben procurarse necesariamente a futuro, sino que dichas especies dominan actualmente la estructura del arbolado urbano. Esto significa que estas especies son las que más árboles tienen y las que ocupan más espacio con sus hojas.

En la Tabla 1, se observa que la especie con el mayor VI dentro de la UAM-X es el fresno. Esta especie representa un 12.9 % del total de individuos arbóreos, lo que indica su notable presencia numérica en la Unidad. Además, sus hojas cubren un 25.7 % del área foliar total, lo que refleja su amplia dominancia en términos de cobertura aérea.

Cuando se suman ambos indicadores, abundancia relativa y área foliar relativa se obtiene un VI total de 38.6 %, lo cual significa que el

fresno es la especie más representativa y dominante en la estructura actual del arbolado urbano de la UAM-X.

Nombre común de la especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de las hojas	VI
Fresno	12.9	25.7	38.6
Casuarina	25.2	11.6	36.7
Jacaranda	10.1	21.2	31.4
Laurel llorón	5.5	6.2	11.8
Cedro blanco	4.7	7	11.7
Trueno lila	8.3	1.9	10.3
Ahuejote	5.0	3.6	8.5
Pirul	1.7	4.9	6.7
Ahuehuete	2.1	3.9	5.9
Cedro panteonero	3.7	0.9	4.6

Tabla 1 Especies más importantes del arbolado urbano de la UAM-X.

3.4 Eliminación de la contaminación del aire por el arbolado urbano

La contaminación atmosférica constituye una de las principales preocupaciones ambientales en las zonas urbanas a nivel mundial y la Ciudad de México representa un caso emblemático, debido a su compleja combinación de factores geográficos, demográficos e industriales. Ubicada en una cuenca rodeada de montañas, esta ubicación geográfica limita la dispersión de contaminantes, lo que favorece la acumulación de partículas nocivas en la atmósfera.

Diversos estudios han documentado que los altos niveles de contaminantes como las partículas suspendidas, el ozono troposférico y el dióxido de nitrógeno tienen efectos adversos significativos sobre la salud pública. Entre los padecimientos asociados se encuentran enfermedades respiratorias crónicas, cardiovasculares, neurológicas, así

como un incremento en la mortalidad prematura, especialmente en poblaciones vulnerables como niños, adultos mayores y personas con enfermedades preexistentes.

Además del impacto en la salud humana, la mala calidad del aire en la Ciudad de México también genera consecuencias negativas sobre los ecosistemas urbanos. La exposición a contaminantes atmosféricos afecta la fisiología y biodiversidad de la vegetación, reduce la visibilidad atmosférica y contribuye al deterioro de materiales y estructuras arquitectónicas.

Uno de los recursos naturales más valiosos para mitigar este problema es el arbolado urbano, que ofrece una serie de beneficios ambientales que mejoran directamente la calidad del aire y contribuyen al bienestar general de las comunidades. Los árboles y plantas en las ciudades actúan como “filtros naturales” al absorber dióxido de carbono y otros contaminantes del aire, como el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno, mejorando así la salud del aire que respiramos. Además, al reducir la temperatura ambiental a través de la sombra y la evaporación del agua, el arbolado urbano funciona como una isla fría lo que también ayuda a mitigar el efecto de las islas de calor (calor retenido por edificios, aceras y asfaltos), que intensifican las altas temperaturas urbanas y aumentan la demanda energética de los edificios.

Otro aspecto importante a destacar es que la presencia de árboles reduce la necesidad de sistemas de climatización en los edificios, lo que a su vez disminuye el consumo de energía y las emisiones provenientes de las plantas generadoras de electricidad. Este ciclo positivo contribuye a la reducción general de la huella de carbono.

Es por eso que la educación ambiental juega un papel esencial en la formación de una ciudadanía consciente y comprometida con el cuidado del ambiente. En el contexto universitario de la UAM-X, es fundamental que estudiantes, docentes y personal administrativo comprendan la importancia de los árboles y los bosques urbanos no sólo como elementos estéticos, sino como soluciones concretas para los problemas ambientales que enfrentamos.

La eliminación de la contaminación por árboles en la UAM-X ha estimado la capacidad de los árboles urbanos para eliminar diversos contaminantes del aire, utilizando datos de campo y las condiciones meteorológicas más recientes. Este análisis ha revelado que los árboles desempeñan un papel clave en la reducción de la contaminación atmosférica, con un impacto significativo en la calidad del aire.

En particular, la eliminación de contaminantes fue mayor en el caso de PM10 (material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones), como se muestra en la gráfica 4. Este tipo de material particulado puede provenir de diversas fuentes, como la quema de combustibles y las emisiones de vehículos y es uno de los contaminantes más perjudiciales para la salud humana. Cuando no se monitorea PM2.5, el valor de PM10 se utiliza como una estimación del material particulado fino total. En general, el PM2.5 es considerado más relevante en los estudios sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud humana.

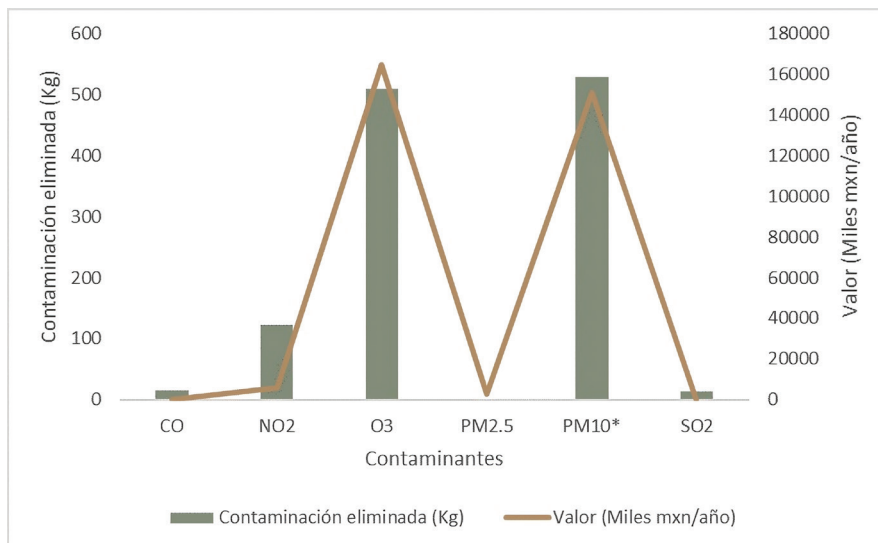


Gráfico 4. Eliminación anual de la contaminación (barras) y valor (línea) por el arbolado urbano UAM-X.

El estudio estimó que los árboles de la UAM-X eliminan aproximadamente 539.1 kg de contaminación del aire cada año. Entre los contaminantes eliminados se incluyen: Ozono (O₃), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂), material particulado menor a 2.5 micrones (PM_{2.5}), material particulado menor a 10 micrones y mayor a 2.5 micrones (PM₁₀) y dióxido de sulfuro (SO₂) tal y como se observa en el gráfico 4.

La eliminación de PM_{2.5} y PM₁₀ ocurre cuando estas partículas se depositan en la superficie de las hojas de los árboles; sin embargo, el material particulado depositado puede volver a suspenderse en la atmósfera o ser arrastrado por la lluvia, disolviéndose o transfiriendo al suelo. Este conjunto de procesos genera un efecto neto sobre la calidad del aire que puede ser positivo o negativo, dependiendo de condiciones atmosféricas locales como la velocidad del viento, la humedad relativa, la intensidad de la precipitación y la morfología del follaje.

A pesar de estas limitaciones, el balance general indica un beneficio ambiental significativo. De acuerdo con reportes internacionales, el valor económico de la eliminación de contaminantes se calcula utilizando diferentes metodologías, dependiendo del país o región del análisis. En Estados Unidos, por ejemplo, se emplean modelos como el Programa de Asignaciones y Análisis de Beneficios Ambientales (BenMAP) desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el cual estima los efectos adversos a la salud y su costo económico en función de cambios locales en la concentración de contaminantes y la población afectada (Nowak et al., 2014). Este enfoque se utiliza para contaminantes como ozono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y PM_{2.5}, mientras que para el monóxido de carbono se aplican costos nacionales promedio de externalidades (Murray et al., 1994).

Para reportes internacionales, cuando no se dispone de valores locales definidos, los cálculos se basan en valores promedio de externalidades europeas (van Essen et al., 2011) o en las ecuaciones de regresión del modelo BenMAP, ajustadas con datos poblacionales específicos. Posteriormente, los valores obtenidos se convierten a la

moneda nacional utilizando tasas de cambio definidas por el mercado internacional.

Para el presente análisis, se adoptaron valores específicos para México con base en estas metodologías internacionales. Los precios asignados por tonelada de contaminante eliminado fueron los siguientes: \$40 443 para CO, \$713 615 para O₂, \$106 594 para NO₂, \$38 837 para SO₂, \$24 770,038 para PM2.5, y \$630 848 para PM10. Aplicando estos valores a las cantidades estimadas de contaminantes retirados, se determinó que el valor económico total de la eliminación asciende a aproximadamente \$325 000 anuales por los 539.1 kg de contaminación del aire cada año. Esta cifra no sólo cuantifica el ahorro de los beneficios ambientales directos, sino que también refleja los impactos positivos en términos de salud pública, calidad de vida y ahorro en costos médicos.

Estos datos resaltan la importancia del arbolado urbano y la necesidad de promover la plantación de árboles como una estrategia efectiva para mejorar la calidad del aire y mitigar los efectos de la contaminación. Además, estos resultados subrayan cómo la vegetación urbana contribuye a la creación de un ambiente más saludable y sostenible, un aspecto crucial que debe ser promovido y comprendido dentro de la comunidad universitaria.

3.5 Compuestos Orgánicos Volátiles

El arbolado presente dentro de la UAM-X emite aproximadamente 688.8 kilogramos de los compuestos orgánicos volátiles (COV) como se observa en la gráfica 5. Las emisiones de COV varían entre las especies arbóreas dependiendo de factores como la cantidad de biomasa foliar y las características biológicas de cada árbol. En la UAM-X, las especies que más contribuyeron a las emisiones de COV fueron la Casuarina (*Casuarina equisetifolia*) y el Pirul (*Schinus molle*), representando juntas el 50 % del total de COV emitido.

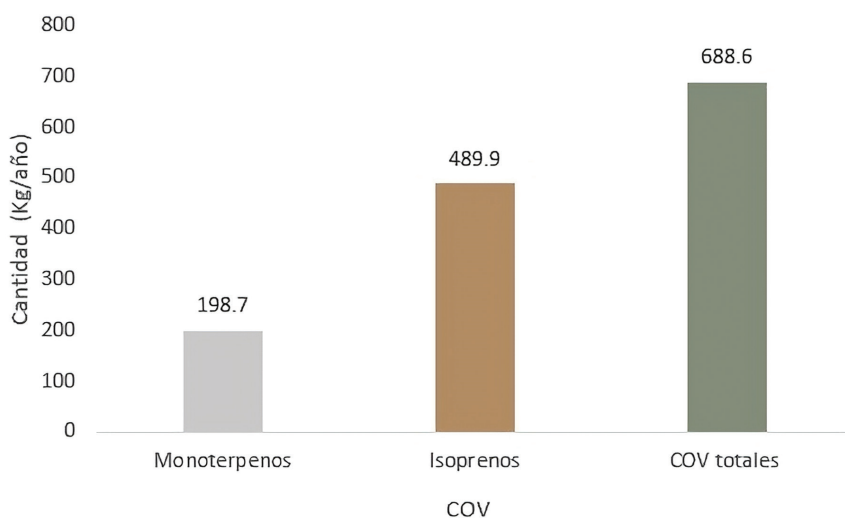


Gráfico 5. Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles en la UAM-X por año.

Los árboles urbanos de la UAM-X emiten 688.6 kilogramos de COV al año, de los cuales 198.7 kg/año corresponden a monoterpenos y 489.9 kg/año a isoprenos. Estas sustancias son compuestos químicos emitidos naturalmente por las plantas, especialmente en climas cálidos y soleados como parte de su metabolismo normal.

Estas cifras permiten evaluar el impacto ambiental del arbolado urbano en relación con la calidad del aire. Aunque los árboles tienen un papel importante en la mitigación del cambio climático, la emisión de COV puede contribuir a la formación de ozono a nivel del suelo, un contaminante dañino para la salud humana y vegetal. Por ello, este tipo de información es crucial para tomar decisiones más sostenibles en la selección y manejo de especies arbóreas en entornos urbanos densamente poblados.

Si bien los árboles desempeñan un papel crucial en la mejora de la calidad del aire al capturar contaminantes y proporcionar sombra, su impacto en la emisión de COV es un factor que debe considerarse al planificar y gestionar los espacios verdes urbanos. La selección de especies con bajas emisiones de COV, junto con estrategias de manejo

adecuadas, puede contribuir a reducir la formación de ozono y mejorar la calidad del aire en nuestro entorno universitario.

3.6 Almacenamiento y secuestro de carbono

El cambio climático es un problema de gran preocupación a nivel global, ya que sus efectos impactan la biodiversidad, los ecosistemas y la calidad de vida de las personas. En este contexto, los árboles urbanos juegan un papel fundamental en la reducción de los efectos del cambio climático a través de varios mecanismos; uno de estos es el almacenamiento y secuestro de carbono.

Los árboles capturan y almacenan carbono de la atmósfera en sus tejidos durante su crecimiento. Este proceso, conocido como secuestro de carbono, ayuda a disminuir la concentración de dióxido de carbono (CO_2), uno de los principales gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global. La cantidad de carbono que un árbol puede almacenar anualmente depende de su tamaño y estado de salud; los árboles más grandes y saludables son capaces de absorber mayores cantidades de carbono.

El almacenamiento de carbono es la cantidad de carbono capturada en las partes de la vegetación leñosa sobre el suelo y bajo el mismo. Para calcular el almacenamiento actual de carbono se calcula la biomasa de cada árbol usando ecuaciones de la literatura y los datos de los árboles medidos. Los árboles maduros con mantenimiento tienden a tener menos biomasa de la predicha por las ecuaciones de biomasa derivadas del bosque (Nowak 1994). Para ajustar la diferencia, los resultados de la biomasa para árboles urbanos maduros se multiplicaron por 0.8. No se hizo ninguna modificación para árboles en condiciones naturales. La biomasa del peso seco de los árboles se convirtió en carbono almacenado multiplicándose por 0.5.

El secuestro de carbono se refiere a la captación de dióxido de carbono atmosférico por parte de las plantas. Para estimar la cantidad bruta de carbono secuestrado anualmente, se proyectó el diámetro del

árbol para el año $x+1$. Esta proyección se obtuvo sumando al diámetro medido en el año de evaluación, el crecimiento promedio del diámetro correspondiente al género, clase de diámetro y condición del árbol. A partir del diámetro proyectado se calculó el almacenamiento de carbono esperado (Ver tabla 2).

Los bienes de almacenamiento y secuestro de carbono se basan en los valores de carbono locales calculados en función a datos internacionales. Para los reportes internacionales que no cuentan con valores locales, los cálculos se basan en el valor del carbono para Estados Unidos (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU., Grupo de Trabajo Interagencial del Costo Social del Carbono 2015) y se convierten al tipo de cambio nacional con tasas definidas internacionalmente. Para este análisis, los valores de almacenamiento y secuestro de carbono se calculan con base en \$9 692.00 por tonelada.

La dinámica del carbono almacenado en los árboles es un proceso cíclico, es decir, cuando un árbol muere y comienza a descomponerse, la mayor parte del carbono acumulado a lo largo de su vida es liberado nuevamente a la atmósfera. En este sentido, el almacenamiento de carbono en los árboles no es sólo un indicador de su capacidad para mitigar el cambio climático, sino también un factor clave en la evaluación de los impactos que tendría la degradación forestal en el balance de carbono global.

El mantenimiento de árboles saludables es una estrategia efectiva para conservar el carbono almacenado en su biomasa y, por lo tanto, minimizar su liberación a la atmósfera. No obstante, es importante reconocer que las actividades de mantenimiento arbóreo, como la poda o el manejo forestal, pueden generar emisiones de carbono asociadas a la maquinaria utilizada y otros procesos operativos (Nowak et al., 2002c).

Además, los árboles contribuyen indirectamente a la reducción de emisiones de CO_2 al influir en el consumo de energía de los edificios. Su sombra reduce la necesidad de usar sistemas de refrigeración en climas cálidos, mientras que su capacidad de bloquear el viento puede disminuir el uso de calefacción en invierno. Esto se traduce en un me-

nor consumo de electricidad y, por lo tanto, en una reducción de las emisiones de dióxido de carbono de las fuentes eléctricas de combustibles fósiles (Abdollahi et al., 2000).

El arbolado urbano de la UAM-X desempeña un papel fundamental en la captura y almacenamiento de carbono, lo que lo convierte en un aliado clave en la mitigación del cambio climático. Se estima que los árboles registrados en la universidad han almacenado alrededor de 651 toneladas de carbono y que cada año secuestran aproximadamente 38.97 toneladas adicionales. Estos datos subrayan la importancia de conservar y manejar adecuadamente los árboles urbanos como una estrategia efectiva para reducir los impactos del cambio climático.

Entre las especies muestreadas, la casuarina destaca por su notable capacidad de almacenamiento y secuestro de carbono. (Ver Gráfico 6). Esta especie representa alrededor del 36.7 % del total de carbono almacenado en el arbolado de la Unidad y contribuye con el 43.7 % del carbono total secuestrado. Estos datos resaltan la importancia de esta especie dentro del ecosistema universitario, ya que es la especie que más abunda en la UAM-X.

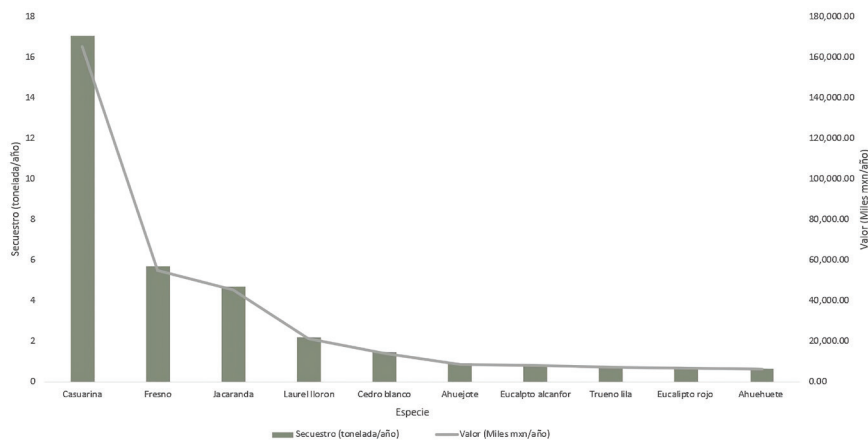


Gráfico 6. Secuestro bruto anual de carbono (barras) y valor (línea) calculado para especies de árboles.

En la gráfica anterior se observa que la casuarina es la especie que presenta el mayor secuestro de carbono con un estimado de 17.05 toneladas por año, distribuidas entre 448 individuos. Este servicio ecosistémico representa un valor económico de aproximadamente \$165 208.39 anuales, calculado con base en el precio estimado del carbono en el mercado, que asigna un valor monetario de \$9 692.26 por tonelada de CO₂ capturada.

En contraste, el Ahuehuete es la especie con menor aporte en secuestro de carbono, con 0.63 toneladas por año provenientes de 37 individuos, lo que equivale a un valor anual de \$6,083.40. Si se calcula el valor individual por árbol, cada Casuarina representa un promedio de \$368.76 anuales en secuestro de carbono, mientras que cada Ahuehuete aporta \$164.41 anuales.

Esto indica que, en términos exclusivamente de captura de carbono, la Casuarina resulta más eficiente y tiene un mayor valor económico individual. No obstante, es importante señalar que estos valores tienen un carácter referencial, ya que en la UAM-X no se comercializan servicios de carbono, más bien, esta estimación permite dimensionar la importancia ecológica de cada especie.

Si comparamos el número de árboles de estas dos especies presentes en la UAM-X, encontramos que el ahuehuete, con 37 individuos, tan sólo representa el 8.26 % del total de la población de Casuarinas (448 individuos). Esta diferencia en la cantidad de individuos entre las especies más eficientes y las menos eficientes en el secuestro de carbono resalta la importancia de considerar tanto la capacidad individual de secuestro como la abundancia de cada especie al evaluar el impacto ambiental total.

3.7 Producción de oxígeno

Uno de los beneficios más comúnmente atribuidos a los árboles urbanos es su capacidad para producir oxígeno, un proceso fundamental que se lleva a cabo a través de la fotosíntesis. La cantidad de oxígeno

generada por un árbol a lo largo del año está directamente relacionada con la cantidad de carbono que secuestró y con el crecimiento de su biomasa. En este sentido, los árboles urbanos no sólo contribuyen a mejorar la calidad del aire, sino que también desempeñan un papel clave en la regulación del ciclo del carbono.

El beneficio de la producción de oxígeno por parte del arbolado urbano debe considerarse no como una contribución aislada, sino como parte integral de un sistema ecológico que influye en la calidad de vida dentro de la Unidad y sus alrededores. El total de la producción estimada de oxígeno para la UAM-X asciende a 103.9 toneladas de oxígeno al año, esta cifra adquiere un valor aún más significativo cuando se analiza en relación con la diversidad de especies presentes y la eficiencia de cada una en términos de su biomasa, cobertura foliar y capacidad de secuestro de carbono.

A continuación, se presentan en la Tabla 2, la comparativa de las 20 especies que generan una mayor producción de oxígeno y secuestro de carbono. Los datos observados subrayan la importancia de valorar los árboles urbanos no sólo por su producción de oxígeno, sino también por otros servicios ecosistémicos que ofrecen, como la captura de contaminantes atmosféricos, la regulación térmica, la conservación de la biodiversidad y su contribución a la salud y bienestar de la población. Fomentar estrategias de manejo y conservación del arbolado en espacios urbanos, como el de la UAM-X, es esencial para maximizar estos beneficios y fortalecer el compromiso institucional con la sostenibilidad ambiental. Es importante la selección estratégica de especies y la gestión adecuada de la biomasa forestal en el estrato urbano de la Unidad para potenciar los servicios ecosistémicos.

Especie	Producción de Oxígeno (tonelada/año)	Secuestro bruto de carbono (tonelada/año)	Número de árboles	Área foliar (hectárea)
Casuarina	45.45	17.05	434	2.77
Fresno	15.14	5.68	222	6.17
Jacaranda	12.51	4.69	175	5.08
Laurel llorón	5.84	2.19	96	1.50
Cedro blanco	3.88	1.46	81	1.67
Ahuejote	2.40	0.90	86	0.85
Eucalipto alcanfor	2.17	0.82	13	0.43
Trueno lila	1.93	0.72	144	0.46
Eucalipto rojo	1.80	0.68	17	0.39
Ahuehuete	1.67	0.63	36	0.93
Cedro panteonero	1.36	0.51	64	0.22
Arce	1.14	0.43	13	0.27
Escobillon	1.07	0.40	23	0.09
Ciruelo	0.94	0.35	26	0.12
Pirul	0.53	0.20	30	1.18
Sauce llorón	0.50	0.19	6	0.11
Durazno	0.50	0.19	14	0.05
Olivo	0.44	0.16	26	0.21
Caucho microcarpa	0.35	0.13	10	0.08
Trinitaria	0.31	0.11	13	0.02
Total	99.93	37.49	1529	22.6

Tabla 2 Principales especies productoras de oxígeno y secuestro de carbono del arbolado urbano UAM-X.

A partir del análisis de los datos presentados en la Tabla 2, se puede observar una notable diversidad en cuanto a especies arbóreas en la UAM-X y en los servicios ecosistémicos que brindan, particularmente en la producción de oxígeno, el secuestro de carbono y la cobertura foliar; sin embargo, estos beneficios no se distribuyen de manera ho-

mogénea entre las especies. La casuarina destaca significativamente al encabezar la lista con una producción anual de 45.45 toneladas de oxígeno y un secuestro de carbono de 17.05 toneladas por año, cifras generadas por 434 individuos que, además, cubren 2.77 hectáreas de superficie foliar. Esto representa aproximadamente el 43.74 % del oxígeno total producido por el arbolado de la UAM-X, lo que sugiere una alta eficiencia fisiológica y estructural de esta especie, capaz de maximizar la fotosíntesis y el crecimiento de biomasa en una superficie relativamente reducida. En contraste, el fresno, aunque cuenta con 222 individuos y una cobertura foliar mucho mayor (6.17 ha), produce sólo 15.14 toneladas de oxígeno anuales, lo que representa una tercera parte de lo generado por la casuarina. Esta diferencia indica que, si bien el fresno es abundante y tiene una amplia cobertura, su eficiencia en producción de oxígeno por hectárea es considerablemente menor.

No obstante, es fundamental considerar el contexto ecológico de cada especie. Aunque la casuarina presenta un rendimiento sobresaliente en términos cuantitativos, no es una especie nativa del Valle de México. Su introducción o incremento masivo en zonas urbanas como la UAM-X podría tener consecuencias ecológicas negativas, como el desplazamiento de especies nativas, la alteración de la biodiversidad y la homogeneización del paisaje urbano. Esta especie, originaria de regiones tropicales del sudeste asiático y Oceanía, ha sido ampliamente utilizada por su rápido crecimiento y resistencia, pero su comportamiento invasivo y suelos acidificantes pueden limitar el desarrollo de otras plantas, afectando así los ecosistemas urbanos a largo plazo. En este sentido, su alta eficiencia no debe ser el único criterio para su promoción o conservación dentro de la Unidad.

Por otro lado, especies como el ahuehuete y el ahuejote, aunque con bajos valores de producción de oxígeno y secuestro de carbono (1.67 y 2.40 toneladas anuales, respectivamente), son nativas y desempeñan un papel crucial en la conservación ecológica del territorio. Estas especies, asociadas históricamente a cuerpos de agua y suelos húmedos del centro de México, no sólo ofrecen beneficios ambientales en términos de recuperación de ecosistemas ribereños, sino que también poseen un

alto valor biocultural. Su presencia debe ser fortalecida no por su rendimiento inmediato en captura de gases, sino por su papel restaurador, patrimonial y como refugio para la biodiversidad local.

En esta misma lógica, la jacaranda representa un caso intermedio. Si bien no es una especie nativa, su producción de oxígeno (12.51 toneladas anuales) y su cobertura foliar (5.08 ha) la colocan como una opción ornamental valiosa, ampliamente aceptada social y culturalmente por su floración vistosa. Su permanencia en el paisaje urbano puede considerarse adecuada siempre que se mantenga dentro de un equilibrio de diversidad. En contraste, especies como el eucalipto rojo, el cedro panteonero o el arce, aunque con bajos rendimientos individuales, pueden tener funciones complementarias si se integran adecuadamente en una estrategia de manejo diversa, equilibrada y adaptada al sitio.

Así, se concluye que, si bien la casuarina ofrece beneficios cuantificables en términos de producción de oxígeno y secuestro de carbono, su naturaleza exótica requiere un manejo prudente. No se recomienda su expansión descontrolada, pues su eficiencia fisiológica no compensa los riesgos ecológicos a largo plazo. En cambio, se sugiere priorizar especies nativas como el ahuehuete y el ahuejote, cuyo valor no reside únicamente en su función fotosintética, sino en su papel como restauradores de hábitats, símbolos culturales y elementos fundamentales para la resiliencia ecológica. En este sentido, una estrategia de arbolado urbano sustentable debe apostar por la diversidad funcional y estructural, incorporando especies eficientes, resistentes, nativas y de alto valor ecológico, que permitan no sólo mejorar la calidad ambiental de la Unidad, sino también conservar su riqueza biológica y paisajística de forma integral.

3.8 Esguerrimiento evitado

El esguerrimiento superficial puede ser causa de preocupación en muchas áreas urbanas ya que puede contribuir a la contaminación de arroyos, humedales, ríos, lagos y océanos. Durante los eventos de precipitación, cierta cantidad se ve interceptada por la vegetación (árboles y matorrales), mientras que la otra alcanza el suelo. La cantidad de la precipitación que llega al suelo y no se filtra se vuelve esguerrimiento superficial (Hirabayashi 2012). En las áreas urbanas, la gran extensión de superficies impermeables aumenta la cantidad de esguerrimiento superficial.

La importancia de los árboles urbanos radica en su ayuda a reducir el esguerrimiento superficial, contribuyendo de manera significativa a mitigar este proceso a través de la interceptación de la lluvia por el follaje, lo cual reduce directamente el volumen de agua que alcanza el suelo. Adicionalmente, su sistema radicular mejora la infiltración y promueven el almacenamiento subterráneo del agua actuando como una barrera natural ante la escorrentía urbana.

El esguerrimiento evitado se refiere, por tanto, al volumen de agua de lluvia que no se convierte en esguerrimiento superficial gracias a la presencia de árboles. Este valor se estima tomando en cuenta variables como la biomasa foliar, las características estructurales del arbolado y las condiciones meteorológicas locales, incluyendo la precipitación anual total registrada por la estación climatológica más cercana.

En el caso del Inventario Forestal de la UAM-X, el cálculo del esguerrimiento evitado se basó en los datos de la estación meteorológica de Coyoacán correspondientes a 2020, los cuales reportaron una precipitación anual de 780.5 mm. Este valor se integra en los modelos hidrológicos para estimar cuánta agua fue interceptada, absorbida o infiltrada por el arbolado urbano y, por lo tanto, no contribuyó al esguerrimiento superficial.

El arbolado urbano de la UAM-X ayuda a evitar aproximadamente 2 410 m³ de esguerrimiento al año, lo cual tiene un valor económico estimado de \$110 000 anuales. Esta cifra representa el costo evitado al no

requerir infraestructura adicional para controlar o canalizar ese volumen de agua. El Grafico 6 muestra las especies que más contribuyen a esta función, combinando dos variables: el volumen de escurrimiento evitado (en triángulo) y su valor económico equivalente (en barras).

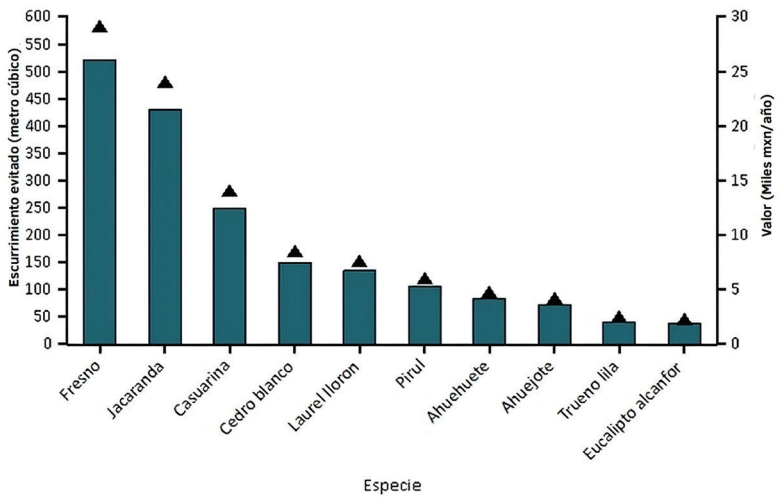


Gráfico 7. Ecurrimiento evitado para las especies con mayor impacto general del arbolado urbano de la UAM-X.

Al analizar esta gráfica se observa que las especies con mayor biomasa foliar y volumen de copa son el fresno en términos de escurrimiento evitado con un volumen superior a los 550 m³, seguido por la jacaranda y la casuarina. Aunque la casuarina demuestra una alta eficiencia en otras funciones ecosistémicas, como la producción de oxígeno y el secuestro de carbono, su desempeño en la mitigación del escurrimiento es intermedio en comparación con las otras especies. Este análisis resalta la importancia de considerar múltiples variables

ecosistémicas al evaluar los servicios ambientales proporcionados por el arbolado urbano.

3.9 Valores de sustitución y funcionales

El arbolado urbano tiene un valor de sustitución basado en los mismos árboles, es decir, que reflejan cuánto costaría reemplazar los servicios ecosistémicos proporcionados por los árboles mediante infraestructura o tecnologías artificiales. Por ejemplo, capturar dióxido de carbono con filtros industriales, o instalar sistemas hidráulicos para controlar el escurrimiento. Por otro lado, los valores funcionales anuales se refieren al beneficio económico que los árboles generan cada año a través de los servicios ambientales que proporcionan.

El valor de sustitución del bosque urbano tiende a subir cuando aumenta el número y tamaño de los árboles saludables (Nowak et al 2002a). A través de un manejo adecuado, los valores del bosque urbano pueden aumentarse; sin embargo, los valores y los beneficios también pueden disminuir conforme se reduce la cantidad de cobertura de árboles saludables.

El arbolado urbano de la UAM-X posee un valor de sustitución que se calcula en función del costo de reemplazar los servicios ecosistémicos que brindan los árboles que pueden ser estimados mediante herramientas como i-Tree Eco. Uno de ellos es el almacenamiento de carbono que representa la cantidad total de carbono fijado en la biomasa del árbol durante su vida. A esto se suma el secuestro de carbono anual que corresponde al carbono que los árboles capturan cada año a medida que crecen. Ambos valores se traducen en beneficios económicos utilizando precios internacionales del carbono y convirtiéndose a moneda nacional.

Además, los árboles reducen el escurrimiento pluvial evitado al interceptar el agua de lluvia con su follaje, lo que disminuye la carga sobre los sistemas de drenaje urbano. Este servicio se valora según el costo evitado de tratar o canalizar esa agua mediante infraestructura

hidráulica. Asimismo, el arbolado contribuye a la eliminación de contaminantes atmosféricos como ozono, dióxido de nitrógeno y partículas en suspensión al capturarlos a través de sus hojas. Este beneficio se monetiza tomando en cuenta los costos evitados en salud pública y en tecnología para el tratamiento de aire contaminado. A continuación, tenemos las estimaciones del arbolado urbano.

Los árboles urbanos de la UAM-X estiman los siguientes valores funcionales anuales:

- Secuestro de carbono: \$378 mil.
- Ecurrimiento evitado: \$110 mil.
- Eliminación de la contaminación: \$325 mil.
- Almacenamiento de carbono: \$6.31 millones.

3.10 Impacto del muérdago sobre el arbolado de la UAM-X

El muérdago, es una planta parásita que realiza fotosíntesis; sin embargo, obtiene agua y nutrientes del árbol huésped. Se instala en las ramas y troncos y con el tiempo puede debilitarlos hasta causar la muerte, esta planta representa una plaga significativa para diversas especies forestales mexicanas. Tapia M. (2020) menciona que el género de muérdago *cladocole* es el que se encuentra con mayor presencia dentro del arbolado de la UAM-X.

La presencia de esta planta representa un factor de riesgo fitosanitario dado que afecta la vitalidad del árbol volviéndolo susceptible a plagas, hongos y estrés hídrico; asimismo, es un indicador de deterioro porque su presencia puede señalar falta de mantenimiento. Puede desarrollarse por dispersión; por ejemplo, las aves comen los frutos del muérdago y depositan las semillas en ramas (por excremento o frotado del pico), dando paso a la germinación. La semilla libera una estructura llamada haustorio que penetra en la corteza. Al crecer, se forma una planta que fotosintetiza, pero sigue tomando agua y mine-

rales del huésped y, por último, su propagación puede producir nuevas semillas y colonizar otras ramas o árboles cercanos.

3.11 Evaluación del valor relativo de los servicios ecosistémicos del arbolado urbano mediante equivalencias de emisiones

Para valorar el impacto ambiental del arbolado urbano de la UAM-X se utilizó una metodología comparativa. Esta herramienta permite contextualizar los beneficios ambientales de los árboles en términos de emisiones equivalentes generadas por distintas fuentes antropogénicas. Dicha aproximación facilita la comprensión y comunicación de los servicios ecosistémicos provistos por el arbolado urbano al traducirlos en equivalencias con actividades cotidianas humanas, tales como el uso de automóviles o el consumo energético residencial.

El valor relativo del almacenamiento y secuestro de carbono, así como de la eliminación de contaminantes atmosféricos, fue estimado con base en tres tipos de equivalencias: emisiones municipales, emisiones de automóviles particulares y emisiones de viviendas unifamiliares.

Las emisiones municipales se calcularon utilizando datos de emisiones de carbono *per cápita* proporcionados por el *Carbon Dioxide Information Analysis Center* (CDIAC, 2010). Dichos valores fueron multiplicados por la población urbana promedio para estimar las emisiones totales de carbono a escala ciudadana.

Las emisiones vehiculares se estimaron a partir de factores de emisión por tipo de contaminante (CO, NO_x, COV, PM₁₀, SO₂, PM_{2.5} y CO₂), utilizando datos del *Bureau of Transportation Statistics* (BTS, 2010) y de la *Environmental Protection Agency* (EPA, 2018). Estos factores fueron multiplicados por el promedio anual de kilómetros recorridos por vehículo para obtener una estimación de emisiones por automóvil de pasajeros.

En el caso de las emisiones por vivienda se consideró el consumo energético anual promedio por vivienda unifamiliar (electricidad, gas

natural, gasolina y leña, entre otros combustibles), utilizando datos de la *U.S. Energy Information Administration* (EIA, 2015). Posteriormente, se aplicaron factores de emisión por kilovatio-hora (kWh) o unidad térmica británica (BTU) de acuerdo con la fuente energética permitiendo una estimación global de las emisiones por vivienda.

Es importante señalar que los datos utilizados por el software i-Tree provienen de fuentes oficiales de Estados Unidos, ya que actualmente no se dispone de información detallada y homologada para contextos urbanos en México. A pesar de esta limitación, esta metodología sigue siendo útil como referencia para establecer comparaciones relativas y estimar los beneficios ambientales de forma estandarizada (Nowak et al., 2018).

Con base en esta metodología, se estimó que el arbolado urbano de la UAM-X:

- Almacena aproximadamente 651 toneladas de carbono, equivalente a las emisiones anuales de 508 automóviles de pasajeros o 208 viviendas unifamiliares (USDA Forest Service, 2021).
- Secuestra anualmente 38.97 toneladas de CO₂, lo que equivale a las emisiones generadas por 30 automóviles o 13 viviendas unifamiliares en un año (Nowak & Greenfield, 2012).
- Elimina contaminantes atmosféricos como dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂), en cantidades equivalentes a las emisiones anuales de siete automóviles o tres viviendas (para NO₂) y 54 automóviles (para SO₂), respectivamente (Nowak et al., 2006).
- En el caso del monóxido de carbono (CO), no se observaron equivalencias significativas, posiblemente debido a su alta volatilidad y baja concentración relativa en las tasas de eliminación estimadas por el arbolado (Nowak et al., 2014).

Estos resultados evidencian el papel clave del arbolado urbano como mitigador de impactos ambientales generados por actividades humanas, particularmente en contextos urbanos densamente poblados. Asimismo, el uso de equivalencias facilita la interpretación de los

datos para la toma de decisiones, sensibilización ambiental y planificación urbana orientada a la sostenibilidad.

4. Recomendaciones generales para el manejo del arbolado urbano de la UAM-X

La poda consiste en la eliminación controlada de ciertas partes del árbol con un objetivo específico. Generalmente, se trata de cortar ramas o raíces, aunque también existen técnicas similares aplicadas a hojas, flores y frutos, especialmente en árboles frutales para optimizar su rendimiento, lo cual igualmente se considera poda.

Es importante destacar que cualquier persona que intervenga en el cuidado o modificación del arbolado urbano, ya sea una persona física, entidad pública o privada, o incluso alguna autoridad debe contar con la acreditación vigente emitida por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). Este documento es indispensable tanto para realizar como para supervisar trabajos relacionados con la poda, derribo o trasplante de árboles.

En la Ciudad de México, estas actividades están reguladas por la Norma Ambiental CNADF-001-RNAT-2015. Esta norma establece los lineamientos y requerimientos técnicos que deben cumplir todas las personas o instituciones que lleven a cabo acciones sobre el arbolado urbano, como la poda, derribo, trasplante o restitución de ejemplares.

El propósito fundamental de las acciones de manejo del arbolado y áreas verdes en la UAM-X, es promover su conservación y mejoramiento, optimizando con ello las condiciones ambientales en beneficio de la población universitaria. Estas acciones se enfocan en fortalecer la estabilidad mecánica de los árboles, a fin de prevenir riesgos para la comunidad derivados del desgaje de ramas susceptibles ante vientos fuertes y lluvias. Asimismo, se busca mejorar la visibilidad de luminarias mediante poda de mantenimiento, lo que también contribuye a una mejor percepción de seguridad y orden en el entorno.

De forma paralela, se propone la realización de podas sanitarias dirigidas al manejo de plagas y enfermedades presentes en el arbolado, contribuyendo al control fitosanitario de las especies. Esta intervención se complementa con poda fitosanitaria, cuyo objetivo es favorecer la entrada de aire y luz a la copa, lo cual reduce condiciones de humedad y sombra excesiva que propician la aparición de enfermedades.

En el caso de los árboles jóvenes de menor altura se considera fundamental realizar podas estructurales, consistentes en el retiro de ramas bajas con el propósito de guiar la formación adecuada de la copa desde etapas tempranas de desarrollo.

La implementación de estas prácticas, siempre bajo criterios técnicos apropiados y por personal debidamente capacitado, busca aumentar la vida útil del arbolado, al tiempo que se incrementa su valor escénico y ambiental dentro de nuestra Unidad.

4.1 Poda fitosanitaria

La poda fitosanitaria tiene como objetivo eliminar aquellas partes del árbol que se encuentren muertas, enfermas o infestadas por plagas como el muérdago, con el fin de evitar la propagación de organismos patógenos y preservar la salud general del ejemplar (Harris, Clark & Matheny, 2004). Esta intervención debe realizarse preferentemente durante periodos de baja actividad biológica del árbol (latencia) y en condiciones climáticas secas para reducir el riesgo de infección posterior. Es fundamental que el material eliminado sea retirado del sitio y dispuesto adecuadamente, ya que puede actuar como reservorio de enfermedades (Gilman, 2011).

Este tipo de poda puede tener distintos enfoques y se aplica tanto a partes vivas como muertas del árbol. El primer paso al podar un árbol o arbusto, sin importar su tamaño, suele ser la eliminación de las ramas secas o muertas. Es aconsejable remover completamente estas ramas utilizando técnicas de corte adecuadas, así como retirar el ma-

terial vegetal, con el objetivo de reducir posibles daños a la estructura de la copa.

Cuando se trata de tejido vivo, la poda se enfoca en ramas dañadas, como las quebradas, desgarradas, entrelazadas, con muñones por roturas previas, ramas que se cruzan o forman horquetas débiles con corteza partida, así como aquellas que presentan infestaciones. El propósito de estas intervenciones es mantener la salud del árbol y evitar problemas futuros.

Las podas fitosanitarias o de saneamiento buscan fortalecer la copa al reducir el peso de ramas inservibles, así como también erradicar ramas con plagas o enfermedades. En especies como álamos, sauces o pinos, también se realiza la poda de erradicación, que consiste en cortar ramas o brotes terminales afectados por plagas o enfermedades como agallas, necrosis, tumores, concentraciones de huevos de insectos o muérdago.

4.2 Poda de mantenimiento

La poda de mantenimiento se aplica para conservar la forma, seguridad y funcionalidad del árbol, mediante la eliminación de ramas secas, cruzadas, mal orientadas o que interfieren con estructuras, tendidos eléctricos o vías peatonales (Gilman, 2011). Esta práctica debe realizarse con moderación y sin exceder el 25 % del follaje total, especialmente en árboles maduros, para evitar un estrés fisiológico que comprometa su vitalidad (Harris et al., 2004). La frecuencia de esta poda depende del crecimiento del árbol y del entorno en el que se ubica, siendo recomendable una revisión periódica cada dos a tres años.

4.3 Poda de seguridad

Representa una intervención prioritaria, dada la magnitud del riesgo que implica para la integridad física de la comunidad universitaria y

la infraestructura de la UAM-X. Esta práctica se aplica cuando existen ramas a baja altura que obstruyen la visibilidad o cuando representan un riesgo al estar suspendidas sobre cubiertas, andadores, camellones o vialidades internas. Estas condiciones están establecidas en la Norma Ambiental NADF-001-RNAT-2015, la cual regula las especificaciones técnicas para actividades de manejo arbóreo en entornos urbanos (Secretaría del Medio Ambiente, 2015).

Dado el alto nivel de riesgo inherente a estas labores, su ejecución debe quedar exclusivamente a cargo de personal técnicamente capacitado, con el uso de herramientas especializadas y equipo de protección individual, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Manual Técnico para la Poda, Derribo y Trasplante de Árboles y Arbustos Urbanos (SEDEMA, 2020). El cumplimiento de estas disposiciones garantiza tanto la seguridad del personal arborista como la protección del entorno natural y construido.

En situaciones excepcionales, cuando el daño estructural del árbol o el grado de interferencia compromete significativamente la seguridad de la comunidad o las instalaciones, se contempla la posibilidad de realizar podas intensivas o, incluso, el retiro total del ejemplar. En tales casos, se recomienda actuar con un criterio técnico y ético considerando la restitución vegetal conforme a lo estipulado por la NTEA018-SeMAGEM-DS-2017 (Secretaría del Medio Ambiente, 2017) y promoviendo siempre la conservación del arbolado urbano como patrimonio ambiental de la universidad.

El marco de acción de la poda de seguridad en la UAM-X también puede fortalecerse con aportaciones metodológicas del Laboratorio de Arboricultura de la UAM Azcapotzalco, instancia pionera en el estudio técnico del arbolado urbano (UAM Azcapotzalco, s.f.), cuyas prácticas de evaluación estructural y fitosanitaria del arbolado son aplicables al contexto interdisciplinario de esta Unidad.

4.4 Poda de producción

La poda de producción constituye una práctica relevante en áreas destinadas a la conservación, propagación o aprovechamiento sustentable de especies frutales, ornamentales o medicinales, las cuales se encuentran distribuidas por toda la Unidad. Este tipo de poda está dirigida principalmente a especies frutales perennes, como guayabos (*Psidium guajava*), cítricos (*Citrus spp.*) o zapotes (*Pouteria spp.*), y tiene como objetivo optimizar la floración, el vigor vegetativo y la producción de frutos en ciclos determinados por la fenología de cada especie.

La técnica consiste en eliminar estratégicamente ramas o ramillas seleccionadas, de manera que se regule el crecimiento de la copa, se favorezca la entrada de luz y aire, y se concentre la floración en las ramas con mayor potencial de fructificación (Secretaría del Medio Ambiente, 2020). Es fundamental considerar la estacionalidad y el comportamiento fenológico de cada especie. Por ejemplo, las especies que florecen en primavera, como el durazno (*Prunus persica*) o el tejocote (*Crataegus mexicana*), deben podarse inmediatamente después de la floración para no comprometer la formación de yemas fructíferas (FAO, 2003).

En cambio, especies que presentan floración en verano requieren ser podadas a inicios de primavera, con el fin de estimular el desarrollo de brotes nuevos que maduren a tiempo para la floración estival. Este manejo temporal debe respetar el ritmo natural de crecimiento y reposo de las especies presentes.

4.5 Poda estructural

En la UAM-X podemos encontrar árboles jóvenes, los cuales llegan a requerir una poda estructural que se enfoca en dirigir el crecimiento hacia una estructura fuerte, estable y equilibrada, previniendo problemas futuros como bifurcaciones defectuosas, ramas mal insertadas o asimétricas que comprometan la estabilidad (Gilman, 2011). Esta poda

temprana favorece una arquitectura robusta del árbol, reduciendo la necesidad de intervenciones correctivas en etapas posteriores. Para lograrlo, se prioriza el desarrollo de un eje central dominante y una distribución adecuada de ramas secundarias.

Según las directrices establecidas por la Sociedad Internacional de Arboricultura (ISA), la necesidad de podas en la etapa adulta de un árbol se reduce significativamente cuando se selecciona una especie adecuada para el sitio de plantación y se le proporciona un mantenimiento adecuado desde sus primeras etapas (Brennan, 1996).

Las coníferas, en general, requieren menos intervenciones de poda en comparación con las especies latifoliadas; sin embargo, cuando se cultivan fuera de su entorno natural, su patrón de crecimiento puede alterarse, especialmente si se emplean técnicas de fertiirrigación. Estos cambios pueden provocar un alargamiento de los entrenudos o la aparición de estructuras como la denominada “cola de zorra”, lo que hace necesario realizar podas estructurales para definir la arquitectura de la copa.

En el caso de las coníferas, se suelen aplicar podas de despunte para balancear la forma de la copa, mientras que, en latifoliadas de sombra, se eliminan ramas dañadas, cruzadas, sobrepuestas, ramas muy bajas o aquellas con dominancia compartida, favoreciendo el desarrollo de una rama principal bien definida.

Durante la juventud del árbol, la poda es esencial para establecer un tronco fuerte y una estructura foliar adecuada. Aunque se recomienda no remover más de un tercio del follaje, ciertas especies toleran podas más intensas sin comprometer su desarrollo. Es importante conservar ramas temporales a lo largo del tallo durante los primeros metros de crecimiento, ya que estas contribuyen tanto a la fotosíntesis como a la protección contra la insolación. La selección de ramas permanentes debe iniciarse una vez que el árbol ha superado los dos metros de altura. Idealmente, se debe promover un solo eje vertical con su yema terminal intacta, aunque en algunos casos ésta puede necesitar recorte para lograr un equilibrio en la copa. Además, es crucial eliminar ramas que crecen con ángulos excesivamente cerrados, así

como los brotes epicórmicos, este tipo de brotes se encuentran comúnmente en los eucaliptos que están en la UAM-X, en CIBAC, el predio Las Animas y en la clínica estomatológica de Nezahualcóyotl, asegurando siempre una arquitectura estructural adecuada.

A medida que el árbol alcanza entre tres y cuatro metros de altura, la necesidad de poda disminuye progresivamente. En la etapa adulta, las podas suelen limitarse a correcciones puntuales, las cuales dependerán de las condiciones específicas del sitio de plantación.

4.6 Poda de aclareo de copa

En la Unidad, a los árboles con copas densas ubicados cerca de ventanas o fachadas de edificios se les puede aplicar esta técnica de poda conocida también como “raleo de copa” que consiste en remover las ramas laterales desde su punto de inserción con el tronco principal. Su objetivo es permitir una mejor circulación del aire y la entrada de luz solar a las partes internas del árbol, sin alterar la forma natural ni la estructura general del ejemplar. Al mejorar el paso de luz y aire, se estimula la aparición de nuevo follaje, esencial para la fotosíntesis y el fortalecimiento general del árbol. Además, este tipo de poda permite que otras especies vegetales que crecen bajo su sombra reciban más iluminación, favoreciendo su desarrollo.

Para conservar una estructura equilibrada al menos la mitad del follaje debe concentrarse en las ramas que se originan en los dos tercios inferiores del árbol. Durante el raleo de ramas secundarias en una rama principal es importante mantener algunas ramas internas bien distribuidas y con hojas, lo que ayuda a repartir uniformemente la carga mecánica a lo largo de toda la estructura del árbol.

El raleo de copa no implica eliminar ramas líderes o principales, sino aquellas mal ubicadas, entrecruzadas, excesivamente densas o que causan congestión en la copa. Esta técnica se recomienda ampliamente para árboles frutales, forestales y ornamentales, tanto en

arbustos como en especies arbóreas, especialmente las de hoja ancha (latifoliadas), siendo menos frecuente en coníferas.

El raleo puede iniciarse desde etapas tempranas del desarrollo del árbol, seleccionando las ramas más accesibles y evidentes, mientras se deja espacio para intervenir más adelante sobre aquellas de mayor riesgo. Es aconsejable no eliminar más del 30 % del follaje en una sola sesión de poda, procurando mantener una disposición equilibrada de las ramas para asegurar una buena ventilación y salud estructural.

4.7 Poda de limpieza de copa

Este tipo de poda se aplica principalmente en árboles adultos que presentan ramas secas, muertas o mal posicionadas. Especialmente en el predio Las Ánimas, perteneciente a la UAM-X, es común encontrar árboles longevos con ramas muertas, por lo que esta técnica puede utilizarse con fines tanto preventivos como correctivos, ayudando a frenar el deterioro del árbol. En esta práctica se eliminan ramas secas, enfermas, moribundas, quebradas, dañadas, malformadas, cruzadas o superpuestas, así como brotes con uniones débiles.

También se considera adecuada en árboles afectados por fenómenos naturales como tormentas, rayos o incendios, casos en los que es necesario remover todas las partes perjudicadas. En ciertas situaciones, esta limpieza de copa puede convertirse en una poda de tipo erradicativo, por ejemplo, cuando se trata de ramas enfermas con tumores o enfermedades como las royas en los pinos; sin embargo, no es recomendable utilizar esta técnica para combatir plagas de insectos, ya que, al eliminar ramas estructurales infestadas, se corre el riesgo de alterar significativamente la forma y estabilidad del árbol, especialmente si la infestación ha alcanzado gran parte de la copa.

En algunos casos, puede ser necesario retirar hasta el 50 % de la copa en árboles maduros, eliminando tanto ramas muertas como vivas en mal estado; no obstante, si el daño es muy extenso, es recomendable evaluar si es más conveniente retirar el árbol completamente y

reemplazarlo por uno nuevo, considerando sólo ser reemplazado por especies nativas.

4.8 Correcto corte de ramas

Para garantizar la salud del árbol y minimizar el daño durante la poda, los cortes deben realizarse con precisión (Ver figura 2), en el lugar anatómicamente correcto, y dejando superficies lisas, libres de bordes irregulares o corteza desgarrada (Lilly, 2011). Es fundamental que los cortes sean limpios, definidos y sin provocar desgarres, arrancamientos o aplastamiento de los tejidos. Además, el uso de herramientas bien afiladas y debidamente desinfectadas es imprescindible para reducir el riesgo de infecciones (Drénúo, 2018).

Asimismo, deben evitarse prácticas que puedan causar daños estructurales o fisiológicos al árbol, tales como el uso de garras, espolones, cuerdas de retención o cualquier otro elemento que pueda generar fricciones o heridas, salvo en situaciones excepcionales como la sustitución de estructuras (Drénúo, 2018).

Para la remoción de ramas, especialmente aquellas de gran tamaño o peso considerable, se recomienda la técnica tradicional de los tres cortes. Este método, ampliamente reconocido en la arboricultura, consta de: un primer corte inferior para evitar desgarres o desprendimientos de la corteza; un segundo corte superior, realizado más hacia el exterior del tronco, que permite liberar el peso de la rama sin causar daño; y un tercer corte para eliminar el tocón, el cual debe realizarse justo por fuera del collar de la rama, respetando la zona de protección (Lilly, 2011).

La correcta ejecución de los cortes favorece una compartimentación eficaz de la herida. Al respetar las barreras naturales del árbol se forma un callo uniforme que avanza desde los bordes hacia el centro permitiendo una cicatrización ordenada (Drénúo, 2018). En línea con esta perspectiva, investigaciones recientes han demostrado que el uso

de selladores o pinturas no contribuye significativamente a la reducción de la descomposición ni acelera el proceso de cicatrización, siendo mucho más efectiva la realización de cortes apropiados tanto en técnica como en ubicación.

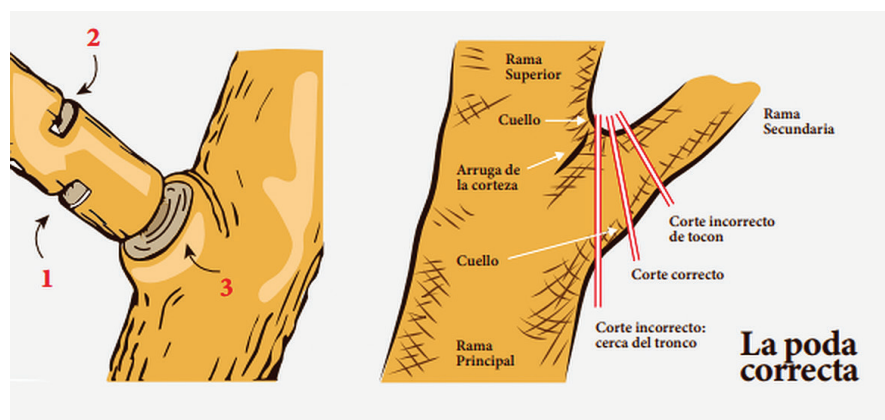


Figura 2. Método de tres cortes y poda adecuada de tocón sobre el cuello de la rama.
Fuente: Lily,2011.

Para lograr una poda efectiva, es fundamental realizar el corte en el ángulo adecuado utilizando una herramienta bien afilada. El corte debe ser preciso, limpio y uniforme, evitando cualquier desgarro o residuo que pueda dañar los tejidos del árbol. La resistencia de la unión entre el tronco y las ramas varía según el ángulo de inserción. Las ramas con ángulos cerrados tienden a ser más frágiles que aquellas con ángulos abiertos, ya que en los ángulos cerrados la corteza del tronco y la de la rama no se fusionan completamente, permaneciendo comprimidas pero separadas (Ver figura 3).

Un corte bien realizado elimina exclusivamente el tejido de la rama sin afectar el del tronco, lo cual es esencial para preservar las defensas naturales del árbol. La señal más clara de un corte correcto es la ausencia de pudrición en el tallo y una cicatrización rápida y eficiente del sitio de corte.

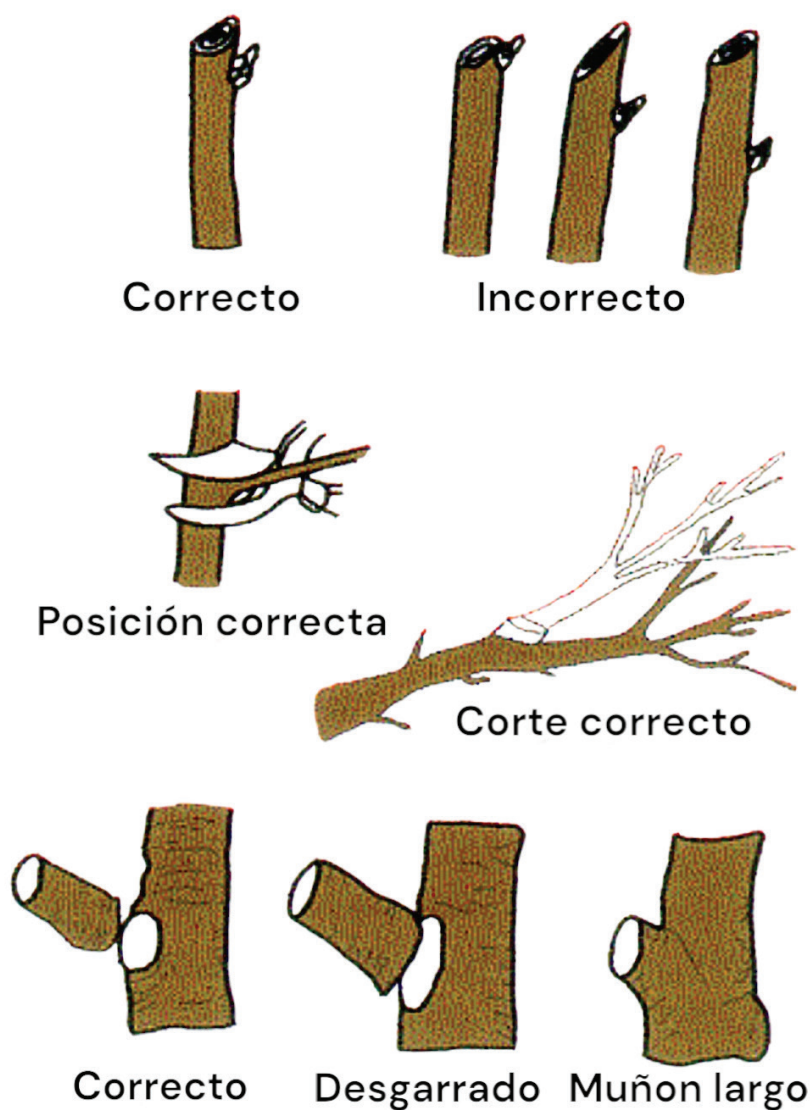


Figura 3. Cortes correctos e incorrectos (ramas delgadas y gruesas). Fuente: Dr. Manuel Perló Cohen, et-al. 2000.

4.9 Recomendaciones para el manejo de raíces en el arbolado

En el contexto urbano y ecológico de la UAM-X, donde la interacción entre vegetación y estructura construida es inevitable, el manejo integral del sistema radicular del arbolado se vuelve una práctica fundamental para la conservación del paisaje urbano y la seguridad del entorno. Las raíces de los árboles cumplen funciones esenciales de anclaje, absorción y almacenamiento de nutrientes, siendo tan determinantes como la copa para el desarrollo fisiológico del individuo. En este sentido, la poda radicular debe considerarse una práctica silvícola especializada que, al igual que la poda aérea, requiere criterios técnicos precisos para no comprometer la vitalidad del árbol ni su estabilidad estructural (Watson & Himelick, 2013).

El sistema de raíces se desarrolla siguiendo patrones determinados por la dirección de crecimiento de la copa y la búsqueda de condiciones edáficas óptimas. Las podas radiculares pueden clasificarse en tres tipos principales: formativas, de reducción y correctivas. La poda de formación se realiza durante la etapa de vivero o al momento del trasplante, recortando raíces excesivamente largas o deformadas para equilibrar su desarrollo con la biomasa aérea y facilitar la adaptación post-trasplante. La poda de reducción es fundamental en procesos de reubicación o banqueo, donde puede perderse hasta un 80 % del sistema radicular; su aplicación permite minimizar el estrés fisiológico y aumentar las probabilidades de éxito del trasplante (Harris et al., 2004). Por su parte, la poda correctiva se aplica cuando las raíces provocan levantamiento de banquetas o afectan la infraestructura. Esta técnica debe realizarse evitando cortar raíces estructurales y priorizando el uso de herramientas afiladas para evitar desgarramientos que favorezcan la entrada de patógenos (ISA, 2015).

En la UAM-X, donde es común la convivencia entre especies arbóreas y pavimentos en camellones, jardines y banquetas, el manejo de raíces cobra especial relevancia. Para la instalación de infraestructura peatonal sin afectar la salud arbórea se requiere una evaluación

previa que identifique raíces problemáticas mediante excavaciones cuidadosas, distinguiendo entre raíces principales y secundarias. La intervención debe limitarse a las raíces secundarias superficiales, al hacer cortes limpios con serrucho o motosierra y aplicando selladores para evitar infecciones (Coder, 1998). El relleno del terreno posterior debe realizarse con materiales como arena o grava compactada que dificulten el rebrote y a su vez permitan permeabilidad en el suelo. Es deseable incorporar pavimentos permeables que permitan el paso del agua y disminuyan el estrés hídrico del sistema radicular.

En espacios más amplios de la Unidad, como los jardines exteriores, la poda radicular puede utilizarse también como estrategia de control de crecimiento, sin comprometer copas bien estructuradas. En especies con capacidad de emitir brotes adventicios al exponer raíces al aire y a la luz es fundamental mantener una poda sistemática de dichos rebrotes para conservar la forma y el vigor del árbol. En contraste, en zonas con jardineras reducidas o sin espacio suficiente, la intervención debe ser mínima, y en muchos casos, es más adecuado replantear la selección de especies o rediseñar el espacio urbano que forzar una coexistencia inviable entre raíces expansivas e infraestructura rígida (Moore, 2009).

4.10 Medidas de rehabilitación, conservación y adaptación de las especies vegetales presentes en las áreas verdes de la Unidad hacia una universidad sustentable frente al cambio climático

La implementación de estrategias de rehabilitación, conservación y adaptación vegetal es esencial para responder de forma activa a los desafíos del cambio climático y promover una universidad ambientalmente sustentable. En el caso de la UAM-X, donde existe un valioso patrimonio arbóreo, estas medidas deben estar alineadas con objetivos ecológicos, climáticos y sociales.

Uno de los pilares fundamentales es la rehabilitación ecológica que implica restaurar áreas degradadas con vegetación nativa y funcional. Esta estrategia busca no sólo aumentar la cobertura vegetal, sino también recuperar procesos ecológicos como la infiltración de agua, el ciclo de nutrientes y el hábitat para polinizadores y fauna urbana (SER, 2004). En la UAM-X, esto podría aplicarse en zonas compactadas por tránsito peatonal o áreas con escasa diversidad vegetal, mediante re-plantaciones con especies como *Taxodium mucronatum* (ahuehuete) y *Quercus rugosa* (encino), resistentes y adaptadas al clima local.

Por otro lado, la conservación del arbolado existente debe priorizar a aquellos individuos que ofrecen mayores servicios ecosistémicos como sombra, captura de carbono o filtración de contaminantes, mediante manejo fitosanitario, podas adecuadas y seguimiento técnico. Esta conservación requiere monitoreo periódico para identificar estrés hídrico, plagas, o enfermedades, además de planes de sustitución gradual de árboles en declive (FAO, 2013).

En cuanto a la adaptación, es clave diversificar las especies vegetales para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático. Esto implica elegir especies tolerantes a la sequía, variaciones térmicas y suelos urbanos compactados. Además, se deben evitar monocultivos de especies introducidas como *Casuarina equisetifolia*, aunque eficaces en servicios como el secuestro de carbono, pueden desplazar a especies nativas o alterar la composición del suelo (Richardson & Rejmánek, 2011).

Un plan de adaptación también podría incluir infraestructura verde como los corredores ecológicos y muros verdes integrados al paisaje universitario. Estas soluciones basadas en la naturaleza tienen múltiples beneficios: retienen escurrimientos, mejoran el microclima y fortalecen la biodiversidad urbana (Kabisch et al., 2016).

Finalmente, para fortalecer el tránsito hacia una universidad sostenible, es indispensable fomentar la educación ambiental comunitaria, involucrando a estudiantes, docentes y personal administrativo en jornadas de reforestación, monitoreo participativo y adopción de árboles.

Esta participación consolida una identidad institucional comprometida con la resiliencia ecológica y la acción climática (UNESCO, 2020).

La integración de estas medidas en los planes de gestión ambiental de la UAM-X permitiría convertir sus áreas verdes en núcleos de acción climática urbana, demostrando el potencial de las instituciones educativas como laboratorios vivos de sostenibilidad.

4.11 Funciones y estructuras adaptadas al tipo de suelo de la UAM-X

En la UAM-X, el diseño de funciones y estructuras debe considerar cuidadosamente las condiciones del suelo para mitigar el impacto sobre el arbolado urbano y asegurar la estabilidad de las construcciones. En zonas con presencia de árboles es recomendable utilizar cimientos profundos o pilotes que eviten la interferencia con raíces superficiales, las cuales suelen concentrarse en los primeros 60 a 90 cm del suelo. Para lograr una correcta implementación es indispensable realizar sondeos y estudios geotécnicos que identifiquen la profundidad de las capas portantes y el comportamiento del subsuelo. Asimismo, el mapeo de raíces principales permite tomar decisiones informadas en cuanto a la ubicación de estructuras y la necesidad de incluir barreras anti-raíces, como las de polietileno de alta densidad (HDPE) que se colocan verticalmente para prevenir daños a la cimentación sin afectar el desarrollo del árbol.

En cuanto a los pavimentos y superficies exteriores es fundamental adoptar un enfoque que favorezca la salud del suelo y de las raíces. Banquetas, camellones y senderos deben diseñarse con materiales permeables o sistemas modulares que permitan el paso del agua y minimicen la compactación del terreno, favoreciendo así la infiltración y el intercambio gaseoso. Además, la incorporación de zanjas aireadas o canales drenantes puede mejorar las condiciones edáficas al facilitar la oxigenación del suelo y orientar el crecimiento radicular de manera controlada. Estas estrategias no sólo protegen la infraestructura ur-

bana, sino que también contribuyen a un arbolado sano, resiliente y funcional en el contexto urbano de la UAM-X.

4.12 Estudio del suelo del arbolado urbano de la UAM-X

La calidad del suelo y su capacidad para sustentar el crecimiento de los árboles deben ser prioridades fundamentales en el manejo del arbolado urbano. Para ello, es necesario implementar prácticas que mejoren la estructura y fertilidad del suelo, minimicen su compactación y aseguren un espacio subterráneo adecuado para el desarrollo radicular. En entornos como la UAM-X, el estado del suelo representa un factor crítico para la salud y longevidad de los árboles, ya que la compactación, la baja materia orgánica y la escorrentía superficial son condiciones frecuentes que limitan el crecimiento de las raíces, reducen la infiltración de agua y comprometen la estabilidad de las plantas.

Por estas razones, resulta imprescindible realizar un diagnóstico y monitoreo detallado del suelo antes de cualquier acción de plantación. Este diagnóstico debe contemplar la evaluación de parámetros físicos, como textura y densidad aparente; químicos, como pH, salinidad y contenido de nutrientes; y biológicos, incluyendo la actividad microbiana. La medición de estas propiedades permite estimar la capacidad del suelo para cumplir funciones esenciales, tales como mantener la productividad, regular el flujo de agua y solutos, filtrar contaminantes y reciclar nutrientes. Con base en estos resultados, es posible identificar las limitantes específicas del terreno y diseñar estrategias de manejo adecuadas para promover un desarrollo saludable y sostenible del arbolado urbano.

4.13 Manejo y Conservación del Arbolado Urbano durante obras en la UAM-X

Como complemento a los hallazgos obtenidos en la evaluación y a los beneficios ecosistémicos identificados mediante el modelo i-Tree Eco, se propone la implementación de un Plan Especial de Conservación del Arbolado en las zonas de intervención de la universidad, especialmente en los predios sujetos a proyectos de obra o mantenimiento mayor. Este plan tiene como finalidad garantizar la preservación fisiológica y estructural del arbolado urbano existente antes, durante y después de las actividades constructivas.

Recomendaciones para la planeación previa a obra:

- Definir accesos y salidas de obra que eviten cruzar zonas arboladas o áreas sensibles, con el fin de reducir el riesgo de daños al sistema radicular y evitar la compactación del suelo.
- Delimitar áreas para el almacenamiento de materiales y equipos en espacios previamente libres de vegetación, asegurando que no interfieran con la cobertura arbórea.
- Establecer rutas específicas para el tránsito de maquinaria y personal, complementadas con barreras físicas como vallas o cintas perimetrales que impidan la invasión de las zonas de protección radicular.
- Designar sitios controlados para el acopio temporal de materiales provenientes del despalme, excavación o extracción geológica, siempre ubicados fuera de la zona de goteo de los árboles y sin alterar las condiciones del suelo.
- Reservar áreas alejadas del arbolado para actividades como el mezclado de concreto y lavado de trompos, dado que los escurrimientos con alto pH pueden ser altamente nocivos para las raíces y la biota del suelo.

Recomendación técnica y delimitación de zonas sensibles: Los árboles sujetos a conservación, remoción o trasplante deberán estar

claramente representados en planos técnicos, indicando su ubicación actual y, en caso de ser necesario, su localización futura.

Recomendaciones para la delimitación precisa de zonas sensibles en obras con arbolado:

- Área de Protección del Árbol (APA). Es el área que corresponde a la proyección regular de la copa del espécimen; también se puede identificar por el perímetro donde termina la zona de goteo del árbol. En esta área se debe evaluar de manera cuidadosa la ejecución de cualquier tipo de impacto.
- Sistemas de protecciones en el APA: Se deberá realizar la instalación de mallas o rejas para la protección de la APA, lo suficientemente altas, fuertes, notorias y duraderas para proteger a los árboles de cualquier daño durante la obra. Dichas protecciones deberán ser erguidas antes de iniciar los procesos constructivos, con altura entre 1.2 y 1.8 m, debidamente ancladas para evitar su caída. En caso de que se requiera descompactar el suelo dentro del APA es necesario utilizar métodos que no dañen las raíces.
- Si el árbol debe quedar aislado debido a cambios de nivel o infraestructura cercana, se construirá un muro de contención a manera de isla lo suficientemente resistente para mantenerlo a lo largo de su vida.
- Zona de Protección de Raíces (ZOPRA). Es el área intermedia entre el tronco y la APA donde se encuentran las raíces esenciales para el óptimo mantenimiento del árbol y allí, al igual que en la APA, se deben reducir al mínimo los impactos y el tránsito. En caso de que la ZOPRA tenga que sufrir alguna modificación, únicamente será realizada por el especialista acreditado, teniendo en cuenta que no se puede modificar más del 25 % de la superficie determinada.
- Zona de Protección de Raíces Estructurales (ZORE). Área inmediata al tronco donde se encuentran las raíces principales de anclaje. Su afectación puede provocar pérdida de estabilidad estructural del ejemplar. En casos especiales —troncos inclinados,

asimetría de copa, raíces condicionadas por infraestructura— se debe calcular su delimitación con base en el diámetro del tronco, conforme a las recomendaciones normativas.

- Método del diámetro del tronco: Este método indica la medida que debe tener el radio del área de protección del árbol, APA. Se calcula multiplicando el diámetro del árbol a la altura del pecho (diámetro basal) por 12. El diámetro basal se calcula a una altura de 1.3 m sobre el nivel del suelo y el radio obtenido se mide a partir del centro del tronco a nivel del suelo. Aun habiendo calculado la zona de protección del árbol de forma correcta, gran parte del sistema de raíces es vulnerable si éstas se llegan a impactar, por lo que el especialista deberá hacer una continua inspección del sitio y determinar si es necesario alterar la ZORE.
- En situaciones estrictamente necesarias y justificada técnicamente, cuando sea indispensable ocupar temporalmente el APA, se debe instalar una capa de acolchado orgánico compuesta por astilla de madera con granulometría de 1.5 a 2 pulgadas, con un espesor mínimo de 30 cm. Este tratamiento mitigará los efectos de compactación por tránsito eventual, protegiendo las raíces superficiales y la microestructura del suelo.

4.14 Recomendaciones para el establecimiento de un plan territorial

La gestión adecuada del arbolado urbano requiere partir de un diagnóstico integral de las áreas arboladas, considerando tanto las condiciones ambientales como los factores sociales y estructurales que influyen en su desarrollo y conservación. Es fundamental analizar el clima predominante, los riesgos climatológicos (lluvias intensas, inundaciones, desbordamiento de canales), así como la vulnerabilidad del entorno ante fenómenos naturales.

- **Análisis edáfico y climático:** El estudio del suelo debe incluir la textura, fertilidad, capacidad de drenaje y compactación, aspectos que inciden directamente en el crecimiento y la supervivencia de las especies. También es importante considerar las temperaturas mínimas y máximas del área para orientar la selección de especies adecuadas para futuras plantaciones.
- **Evaluación de áreas verdes y composición vegetal:** Medir el porcentaje de áreas verdes permite conocer la distribución de la cobertura vegetal dentro de la Unidad. Asimismo, se recomienda caracterizar los espacios universitarios para identificar problemáticas.
- **Selección y planificación de especies:** Es crucial ponderar las especies existentes y definir criterios para futuras plantaciones. Factores como suelos alterados, sequías, contaminación ambiental y uso indebido de recursos pueden afectar negativamente la salud de los árboles. La zonificación, técnicas de plantación adecuadas (incluyendo fechas, espaciamiento y profundidad) y el seguimiento post-plantación son esenciales para asegurar el éxito del arbolado.
- **Monitoreo y tecnología aplicada:** El uso de tecnologías como drones y sistemas de información geográfica (QGIS, ArcGIS Pro, R Studio, etc.) permite obtener ortofotos para evaluar la salud estructural y el estado del arbolado. Herramientas como la clasificación supervisada posibilitan analizar el uso del suelo, cambios en la cobertura vegetal y la interacción con el entorno construido.
- **Indicadores de vegetación:** Para evaluar la salud y vigor de la vegetación se pueden utilizar índices como son el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada): Estima la cantidad y calidad de vegetación mediante sensores remotos.
- **Índice de Clorofila Verde (GCI):** Evalúa el nivel de clorofila de las hojas, esencial para la fotosíntesis. Fórmula:
- **Índice de Clorofila Borde Rojo (CI Red-Edge):** Detecta pérdida de vigor y zonas con follaje amarillento.

- Estrategias de conservación y participación comunitaria: se recomienda la creación de programas educativos y de sensibilización ambiental, mediante talleres que promuevan el valor del arbolado y su integración con el entorno natural y construido. Asimismo, es indispensable determinar la necesidad de reforestación o de manejo específico en zonas vulnerables o con abandono evidente, priorizando una planificación armónica entre infraestructura y vegetación.
- Problemáticas y amenazas: Zonas sin riego adecuado, presencia de residuos sólidos, o mal ubicadas dentro de la Unidad, pueden afectar gravemente el estado del arbolado y del paisaje urbano. Ignorar la relación entre las condiciones del entorno construido y natural puede resultar en ejemplares enfermos, muertos o con mal desarrollo, además de perjudicar la imagen urbana y los beneficios ecosistémicos que brinda la vegetación.

5. Discusión

La realización de este estudio proporciona una visión integral del arbolado urbano que ha acompañado a la UAM-X durante sus 50 años de existencia. Esta longevidad se refleja en la presencia de árboles con diámetros a la altura del pecho (DAP) elevados y estructuras maduras, indicando que muchos ejemplares fueron plantados en las primeras décadas de la Unidad.

El análisis estructural revela una población arbórea mixta: mientras que el 24.8 % de los árboles presenta DAP menores a 15.2 cm, indicando individuos jóvenes, también se identifican árboles de gran porte, como el fresno (*Fraxinus uhdei*), cuya cobertura foliar representa el 25.7 % del total. Esta dualidad sugiere una dinámica forestal que combina ejemplares longevos con otros introducidos en procesos de reforestación más recientes.

En términos de diversidad, se registraron 78 especies diferentes, destacando la heterogeneidad florística; sin embargo, la dominancia de especies como *Casuarina equisetifolia* (25.2 %) y *Jacaranda mimosifolia* (10.1 %) puede comprometer la resiliencia ecológica ante plagas o eventos climáticos extremos. Estudios recientes en la Ciudad de México han subrayado la importancia de diversificar el arbolado urbano para mejorar la resiliencia y equidad en el acceso a espacios verdes (Mayen Huerta, 2022).

Dentro de los servicios ecosistémicos cuantificados en este estudio destacan la eliminación de contaminantes atmosféricos (539.1 kg/año), el almacenamiento de carbono (651 toneladas), el secuestro anual de CO₂ (38.97 toneladas) y la producción de oxígeno (103.9 toneladas), cifras que evidencian la elevada capacidad funcional del arbolado urbano presente en la UAM-X.

A partir de estos hallazgos, se recomienda diversificar el arbolado, priorizando especies nativas con alta eficiencia ecológica y baja emisión de COV, como estrategia de adaptación al cambio climático.

Asimismo, es esencial implementar un manejo forestal activo, con monitoreos periódicos de sanidad vegetal y prácticas adecuadas de poda. La renovación del arbolado debe considerar la importancia histórica y ecológica de los individuos longevos, valorándose como patrimonio vegetal universitario.

Finalmente, futuras investigaciones podrían integrar variables como calidad del suelo, islas verdes y percepción social del arbolado, fortaleciendo una visión integral del bosque urbano como componente vital del entorno educativo.

6. Conclusiones

El Inventario Forestal de la UAM-X constituye un esfuerzo técnico y ecológico de gran relevancia para evaluar, valorar y proyectar el estado actual y futuro del arbolado urbano universitario. A través del uso del modelo i-Tree y la recopilación sistemática de datos de 1 787 árboles, el estudio permitió cuantificar de manera objetiva los beneficios ambientales del arbolado en términos de producción de oxígeno, captura y almacenamiento de carbono, eliminación de contaminantes y escurrimiento evitado.

Entre los hallazgos más relevantes se destaca que el arbolado genera anualmente más de 103 toneladas de oxígeno, elimina más de 500 kg de contaminantes atmosféricos y evita más de dos mil m³ de escurrimiento superficial. Además, el valor total de sustitución de estos servicios se estimó en 71.4 millones de pesos mexicanos, lo que representa el costo que implicaría reproducir artificialmente los beneficios ecológicos que proporcionan.

No obstante, el estudio también identifica riesgos y retos, como la presencia de especies introducidas dominantes como la casuarina, aunque altamente eficiente en ciertos servicios (oxígeno y carbono), puede comprometer la diversidad nativa del ecosistema urbano. Este hallazgo subraya la necesidad de promover un manejo forestal integral que equilibre la eficiencia ecosistémica con la conservación de la biodiversidad local.

En conclusión, el bosque urbano de la UAM-X no sólo cumple funciones ornamentales y estructurales, sino que representa un activo ecológico estratégico que debe ser conservado, diversificado y valorado como parte del compromiso institucional con la sustentabilidad, la resiliencia urbana y el bienestar de la comunidad universitaria.

7. Referencias

- Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. 2000. *Global climate change and the urban forest*. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press. 77 p.
- Acevedo-Rodríguez, P., & Strong, M. T. (2008). *Flora of the West Indies*. Smithsonian Institution. <https://naturalhistory2.si.edu/botany/WestIndies/>
- Aronson, M. F. J., La Sorte, F. A., Nilon, C. H., et al. (2017). Biodiversity in the city: key challenges for urban green space management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 15(4), 189-196. <https://doi.org/10.1002/fee.1480>.
- Bradley, G. A. 1984. Land use and forest resources in a changing environment: the urban/forest interface. University of Washington Press. Seattle, WA, USA.
- British Columbia Ministry of Water, Land, and Air Protection. 2005. Residential wood burning emissions in British Columbia. British Columbia.
- Broecker, W.S. 1970. Man's oxygen reserve. *Science* 168(3939): 1537-1538.
- Bureau of Transportation Statistics (BTS). (2010). *National Transportation Statistics*. U.S. Department of Transportation. <https://www.bts.gov>
- Bureau of Transportation Statistics. 2010. Estimated National Average Vehicle Emissions Rates per Vehicle by Vehicle Type using Gasoline and Diesel. Washington, DC: Bureau of Transportation Statistics, U.S. Department of Transportation. Table 4-43.
- California Air Resources Board. 2013. Methods to Find the Cost-Effectiveness of Funding Air Quality Projects. Table 3 Average Auto Emission Factors. CA: California Environmental Protection Agency, Air Resources Board.
- Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC). (2010). *U.S. Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels*. Oak Ridge National Laboratory. <https://cdiac.ess-dive.lbl.gov>
- Coder, K. D. (1998). *Tree root damage to sidewalks and curbs*. University of Georgia, Cooperative Extension Service.
- CONABIO. (2020). *Capítulo México. Evaluación de los ecosistemas del milenio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx>
- CONACYT, CONAGUA. (2012). Segundo informe de validación en campo zona lacustre ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/102216/Xochimilco.pdf>
- Drénou, C; Caraglio, Y, 2018. “¿Hablamos Archi?” Principales definiciones del método Archi. La Cultura del Árbol. Número 82. 10-17 p.

- Energy Information Administration. (2015). *Residential Energy Consumption Survey (RECS)*. U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov>
- Energy Information Administration. 1994. *Energy Use and Carbon Emissions: Non-OECD Countries*. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy. <https://www.eia.gov>
- Energy Information Administration. 2013. CE2.1 Fuel consumption totals and averages, U.S. homes. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
- Energy Information Administration. 2014. CE5.2 Household wood consumption. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
- Energy Information Administration. 2014. CE5.2 Household wood consumption. Washington, DC: Energy Information Administration, U.S. Department of Energy.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2018). *MOVES: Motor Vehicle Emission Simulator*. <https://www.epa.gov/moves>
- FAO. (2013). *Producción frutícola tropical*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/y5145s/y5145s00.htm>
- Federal Highway Administration. 2013. Highway Statistics 2011. Washington, DC: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Table VM-1.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). *Guidelines for climate change adaptation and mitigation in forest landscapes*. FAO Forestry Paper 181. <http://www.fao.org/docrep/017/i3189e/i3189e00.htm>
- Gilman, E. F. (2011). *An Illustrated Guide to Pruning* (3rd ed.). Cengage Learning.
- Harris, R. W., Clark, J. R., & Matheny, N. P. (2004). *Arboriculture: Integrated Management of Landscape Trees, Shrubs, and Vines* (4th ed.). Prentice Hall.
- Heirigs, P.L.; Delaney, S.S.; Dulla, R.G. 2004. Evaluation of MOBILE Models: MOBILE6.1 (PM), MOBILE6.2 (Toxics), and MOBILE6/CNG. Sacramento, CA: National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.
- Hirabayashi, S. 2012. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions, http://www.itreetools.org/eco/resources/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions_V1_2.pdf
- Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government. 2015. Technical Support Document: Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/foreg/scc-ts-d-final-july-2015.pdf>

- International Society of Arboriculture (ISA). (2015). *Best Management Practices: Managing Trees During Construction* (2nd ed.).
- ipcc. (2022). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- Janick, J. (2002). *Horticultural Reviews, Volume 27*. John Wiley & Sons.
- Jim, C. Y. (1993). Urban trees and environmental quality in Hong Kong. *Landscape and Urban Planning*, 25(1-2), 1-15. [https://doi.org/10.1016/0169-2046\(93\)90003-L](https://doi.org/10.1016/0169-2046(93)90003-L)
- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.). (2016). *Nature-Based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- Kowarik, I. (1995). On the role of alien species in urban flora and vegetation. In P. Pyšek, K. Prach, M. Rejmánek, & M. Wade (Eds.), *Plant invasions: General aspects and special problems* (pp. 85–103). SPB Academic Publishing.
- Leonardo Academy. 2011. Leonardo Academy's Guide to Calculating Emissions Including Emission Factors and Energy Prices. Madison, WI: Leonardo Academy Inc.
- Lilly, S. 2011. Guía de estudio para la certificación del arborista. USA, ISA.
- Mayen Huerta, C. (2022). Rethinking the distribution of urban green spaces in Mexico City: Lessons from the COVID-19 outbreak. *Urban Forestry & Urban Greening*, 70, 127525. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127525>
- Moore, G. M. (2009). Roots and Infrastructure: Getting to the Root of the Problem. *Arboriculture & Urban Forestry*, 35(2), 74–81.
- Moya-Pérez, J. P., Pérez-Escolar, M., & Esteban-Guitart, M. (2020). Green design and nature-based solutions: Strategies for a more sustainable urbanism. *Sustainability*, 12(3), 1050. <https://doi.org/10.3390/su12031050>
- Murray, F.J.; Marsh L.; Bradford, P.A. 1994. New York State Energy Plan, vol. II: issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office.
- Ngoc, D. T. B., et al. (2024). Assessing environmental services and economic values of urban tree species in open public green spaces at Ecopark, Hung Yen province, Vietnam: An application of i-Tree Eco model. *Journal of Forestry Science and Technology*, 9(1), 86–95. <https://doi.org/10.55250/Jo.vnuf.9.1.2024.086-095>
- Niemelä, J. (1999). Ecology and urban planning. *Biodiversity & Conservation*, 8(1), 119–131. <https://doi.org/10.1023/A:1008817323009>
- Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. (2012). *Tree and impervious cover change in U.S. cities*. Urban Forestry & Urban Greening, 11(1), 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.11.005>

- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). *Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States*. Urban Forestry & Urban Greening, 4(3-4), 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). *Tree and forest effects on air quality and human health in the United States*. Environmental Pollution, 193, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.05.028>
- Nowak, D.J. 1994. Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. In: McPherson, E.G.; Nowak, D.J.; Rowntree, R.A., eds. Chicago's urban forest ecosystem: results of the Chicago Urban Forest Climate Project. Gen. Tech. Rep. NE-186. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station: 83-94.
- Nowak, D.J. 2000. The interactions between urban forests and global climate change. In: Abdollahi, K.K.; Ning, Z.H.; Appeaning, A., eds. Global Climate Change and the Urban Forest. Baton Rouge, LA: GCRCC and Franklin Press: 31-44.
- Nowak, D.J., Hirabayashi, S., Bodine, A., Greenfield, E. 2014. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. Environmental Pollution. 193:119-129.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F. 2002a. Compensatory value of urban trees in the United States. Journal of Arboriculture. 28(4): 194 - 199.
- Peñuelas, J., Sardans, J., Rivas-Ubach, A., & Janssens, I. A. (2013). The elementome of plant species across biomes and functional groups. *Ecology Letters*, 16(10), 1173–1182. <https://doi.org/10.1111/ele.12149>
- Richardson, D. M., & Rejmánek, M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species a global review. *Diversity and Distributions*, 17(5), 788–809. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x>
- Rosenzweig, C., Solecki, W., Romero-Lankao, P., Mehrotra, S., Dhakal, S., & Bowman, T. (2018). *Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network*. Cambridge University Press.
- Secretaría del Medio Ambiente. (2015). *Norma Ambiental NADF-001-RNAT-2015 para la Ciudad de México*. Recuperado de <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD007386.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2017). *Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA018-SeMAGEM-DS-2017*. Recuperado de <https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacionId?regulacionId=150700>
- SEDEMA. (2020). *Manual Técnico para la Poda, Derribo y Trasplante de Árboles y Arbustos Urbanos*. Reto Verde. Recuperado de <https://retoverde.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5e6/806/cd2/5e6806cd25dbd234384881.pdf>
- Sensin Zhangab, X., X. Fengb and H. Jiangac. 2010. Object-oriented method for urbanvegetation mapping using IKONOS imagery. International Journal of Remot

- Society for Ecological Restoration (SER). (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org
- Tapia Martínez, Héctor Omar. 2020. Impacto fitosanitario de muérdago verdadero familia Loranthaceae en arbolado de UAM-X, CDMX. <https://repositorio.xox.uam.mx/jspui/handle/123456789/37935>
- UNESCO. (2020). *Education for Sustainable Development: A roadmap*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- U.S. Environmental Protection Agency. 2010. Light-Duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. EPA-420-R-10-012a
- UAM Azcapotzalco. (s.f.). *Laboratorio de Arboricultura*. Recuperado de <https://www.arboricultura.azc.uam.mx/>
- Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. (2007). Anexo de infraestructura física del Primer Informe de Actividades 2006-2007. Coordinación de Espacios Físicos. <https://transparencia.uam.mx/inforrganos/xoc/1e-rinf0607/InfraestructuraANEXO.pdf>
- Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco. (2014). *La UAM Xochimilco en el tiempo: Evolución de su infraestructura física 1974–2014*. Recuperado. https://biblioteca.xoc.uam.mx/40aniversario/docs/uamx_eneltiempo.pdf
- USDA Forest Service. (2021). *i-Tree Eco User's Manual v6.0*. https://www.itreetools.org/documents/53/iTree_Eco_Users_Manual_v6.0.pdf
- Van Essen, H.; Schrotten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. 2011. External Costs of Transport in Europe. Netherlands: CE Delft. 161 p.
- Watson, G. W., & Himelick, E. B. (2013). *Principles of Tree Care*. International Society of Arboriculture.

Glosario

- Captura de carbono:** Proceso mediante el cual los árboles y otras plantas absorben dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera durante la fotosíntesis y lo almacenan en su biomasa (tronco, ramas, hojas y raíces), ayudando a mitigar el cambio climático.
- Inventario forestal:** Conjunto de procedimientos técnicos y científicos utilizados para recopilar información cuantitativa y cualitativa sobre los recursos forestales como la cantidad, distribución, estado de salud y características de los árboles en un área determinada.
- DAP (diámetro a la altura del pecho):** Medida del diámetro del tronco de un árbol tomada a 1.30 metros del suelo. Es una variable clave en estudios forestales para estimar biomasa, volumen de madera y captura de carbono.
- Producción de oxígeno:** Proceso mediante el cual las plantas liberan oxígeno (O_2) como subproducto de la fotosíntesis, contribuyendo a la calidad del aire y al mantenimiento de la vida en la Tierra.
- Muerte regresiva:** Fenómeno por el cual un árbol comienza a morir desde sus partes más externas (como ramas y hojas) hacia el tronco y raíces, generalmente debido a estrés ambiental, enfermedades, envejecimiento o daño físico.
- i-Tree:** Herramienta de *software* desarrollada por el Servicio Forestal de los Estados Unidos que permite cuantificar los beneficios ecológicos de los árboles urbanos como la captura de carbono, producción de oxígeno, reducción de contaminantes atmosféricos y ahorro energético.
- Arbolado urbano.** Conjunto de árboles plantados o que crecen de forma natural dentro de zonas urbanas como calles, parques, escuelas o Unidad universitarios.
- Servicios ecosistémicos:** Beneficios que proporciona la naturaleza a las personas como la purificación del aire, regulación del clima, producción de oxígeno o sombra.
- Biodiversidad:** Variedad de organismos vivos, incluidos animales, plantas, hongos y microorganismos, así como los ecosistemas de los que forman parte.
- Especies nativas:** Plantas o animales que crecen y evolucionan de forma natural en un lugar específico, adaptadas al clima y condiciones locales.
- Especies exóticas:** Especies introducidas desde otros lugares que no son originarias del ecosistema local; algunas pueden convertirse en invasoras.
- Riesgo:** Probabilidad de que un árbol cause daño o represente una amenaza debido a su condición física, ubicación o interacción con estructuras humanas.

Manejo sustentable: Administración responsable de los recursos naturales para que se mantengan en el tiempo y sigan proporcionando beneficios a las futuras generaciones.

Infraestructura verde: Redes de vegetación y espacios naturales diseñados para mejorar la calidad ambiental urbana como parques, jardines, techos verdes y arbolado.

Anexos

Anexo A-Especies

A continuación, se anexan las 10 especies más comunes en el Inventario UAM-X, el resto de las especies que conforman el arbolado urbano se pueden consultar en la página de la Oficina de Gestión Ambiental dentro en el enlace: <https://share.google/5sc2K9SvWnSaqF9my>



Figura 4. *Casuarina equisetifolia*.



Figura 5. *Fraxinus uhdei*.



7 de febrero de 2025, 4:16:53 p.m.
+19.301969,-99.102593
Estacionamientos
E.T. 660
Ing. Jocelyn Jarillo M.
UAM-XOCHIMILCO (Unidad)

Figura 6. *Jacaranda mimosifolia*.



Figura 7. *Ligustrum lucidum*.



Figura 8. *Ficus benjamina*.



03/02/25, 3:55 p.m.
+19.303256,-99.101806
Estacionamientos
E.T. 527
Ing. Jocelyn Jarillo M.
UAM-XOCHIMILCO (Unidad)

Figura 9. *Salix bonplandiana*.



Figura 10. *Cupressus lusitánica*.



Figura 11. *Cupressus sempervirens*.



Figura 12. *Taxodium mucronatum*.



Figura 13. *Schinus molle*.

dantes, ya que, como consecuencia a una decisión de diseño tomada durante la fase de plantación, buscaba generar una barrera natural o delimitación visual con una sola especie vegetal, lo que derivó en una alta densidad de esta especie en esa zona. Sin embargo, esta estrategia no contempló adecuadamente los requerimientos de espacio, luz y desarrollo de la especie a largo plazo y como resultado, muchos de estos árboles han desarrollado un crecimiento anormal, presentando formas irregulares, inclinaciones estructurales y competencia entre ellos por recursos como luz solar y agua. Esta decisión puede comprometer el futuro de esta especie ya que una plaga o enfermedad puede provocar un gran impacto y disminuir toda la cobertura arbórea que existe en el predio.

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Xochimilco



profundas presentan una mayor firmeza gracias a la presencia de arcilla y a señales de saturación prolongada por agua, además de un pH ligeramente ácido (CONACYT, CONAGUA, 2012).

B.3 Clínica Estomatológica Nezahualcóyotl



En el sitio inventariado se han identificado 18 árboles distribuidos en cuatro especies diferentes, lo que sugiere una baja diversidad arbórea. Las especies registradas más comunes son *Casuarina equisetifolia* y Laurel llorón (*Ficus benjamina*). La baja cantidad de individuos y el número limitado de especies puede deberse a factores como el tamaño del terreno, el uso original del espacio, o una intervención humana limitada a la implementación de arbolado urbano.

B.4 Clínica Estomatológica San Lorenzo



Se inventariaron 2 individuos divididos en dos especies Manzanillo (*Crataegus rosei*) esta especie es nativa de México, se caracteriza por su valor ecológico y ornamental. Produce flores blancas o rosadas y frutos pequeños que sirven de alimento para aves y otros animales silvestres y el cedro blanco (*Cupressus lusitania*) esta es una conífera ampliamente utilizada en México con fines ornamentales, de reforestación o como cortavientos. Es una especie de rápido crecimiento y adaptable a diferentes tipos de suelos, aunque prefiere climas templados y húmedos.

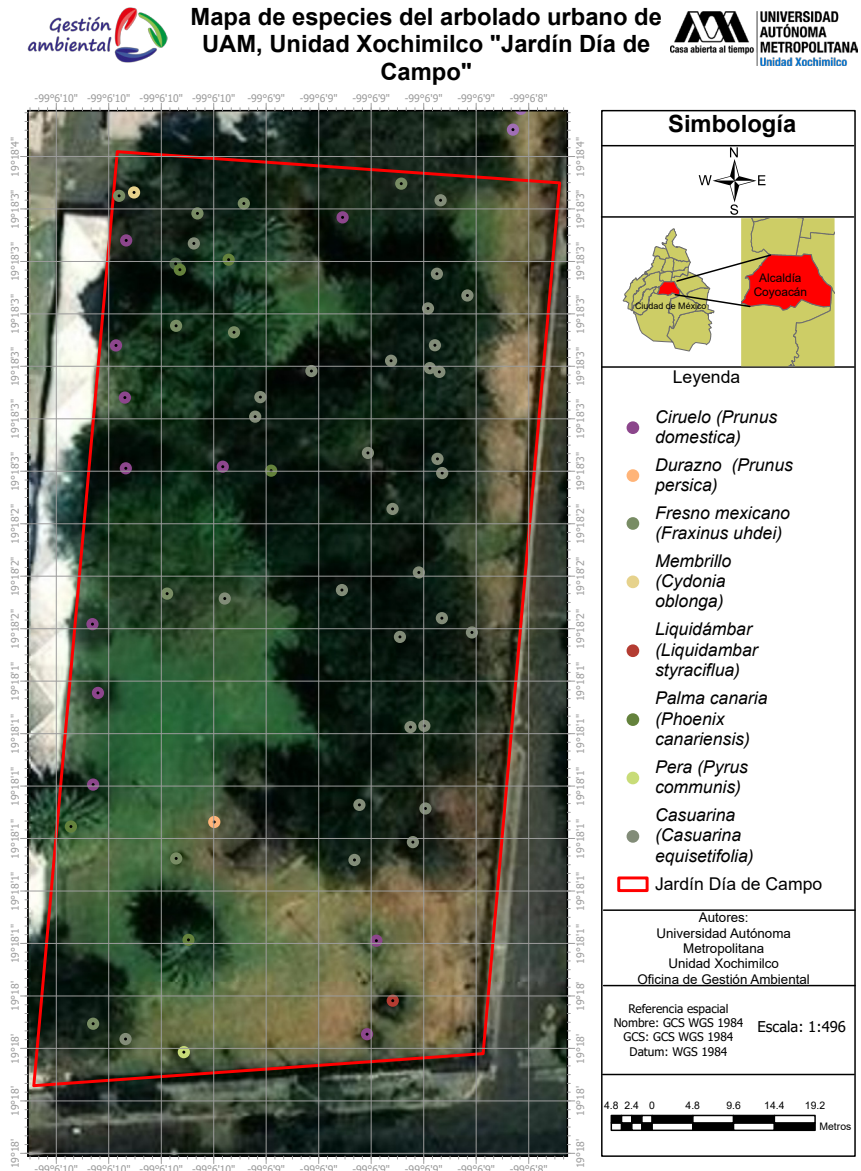
Esta escasa cantidad de árboles muestra que existe una baja densidad arbórea y una limitada diversidad estructural y ecológica, posiblemente debido a las características del terreno, su uso actual o restricciones en la plantación. Esto representa una oportunidad para

implementar estrategias de enriquecimiento forestal, ya sea con más ejemplares de estas mismas especies o integrando otras nativas que diversifiquen la estructura vegetal del área.



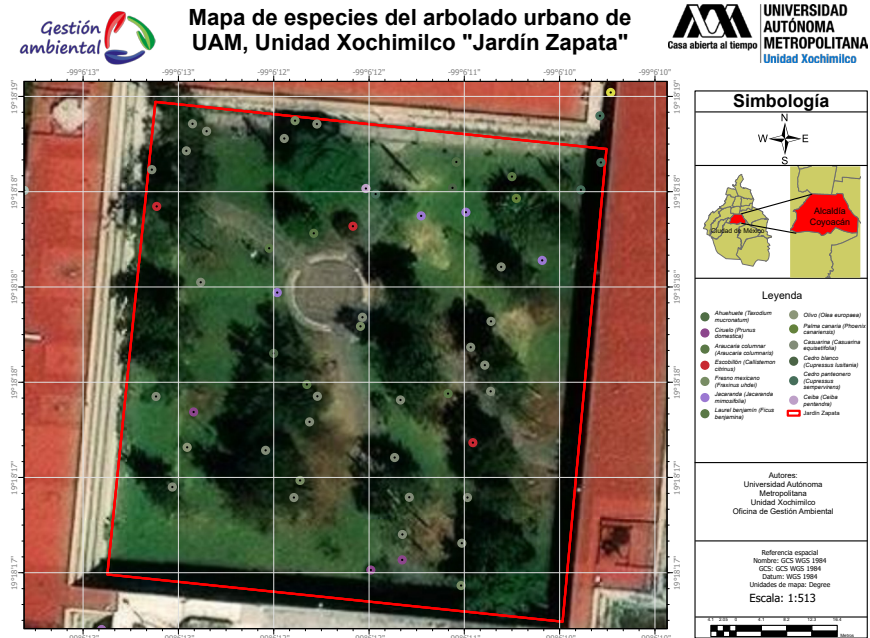
En el sitio se inventariaron un total de 13 individuos, distribuidos en cuatro especies diferentes, lo que refleja una baja densidad y diversidad arbórea. A pesar del número limitado de árboles. La especie más representada en este sitio es el Cedro blanco (*Cupressus lusitanica*). Esta conífera es una especie introducida en muchos entornos urbanos y rurales de México debido a su rápido crecimiento, adaptabilidad a diferentes suelos y condiciones climáticas. La composición actual del arbolado, con un claro dominio de una sola especie, evidencia una falta de planificación ecológica a largo plazo, ya que la baja diversidad hace que el ecosistema sea más vulnerable a amenazas como plagas, enfermedades específicas o condiciones climáticas extremas.

B.6 Jardín Día de Campo



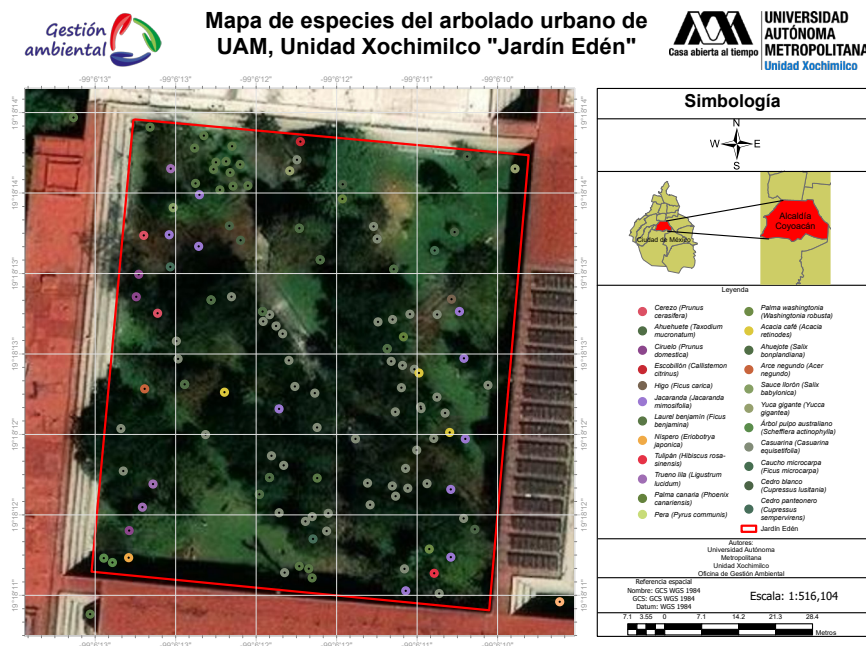
En este jardín se presentaron un total de 59 árboles, distribuidos en ocho especies. Esta cantidad indica una diversidad arbórea moderada, adecuada para un espacio de tamaño medio con fines tanto ornamentales como ecológicos. Las especies más comunes son la Casuarina (*Casuarina equisetifolia*), el Ciruelo (*Prunus domestica*) y el Fresno mexicano (*Fraxinus uhdei*). En conjunto, estas tres especies muestran un equilibrio entre funcionalidad, estética y valor ecológico, aunque el predominio de la Casuarina sugiere una necesidad de revisar el balance de especies, en especial si se busca fortalecer la biodiversidad nativa del jardín. Las otras cinco especies registradas, aunque menos frecuentes, complementan la composición vegetal del lugar, aportando cierta heterogeneidad estructural y visual.

B.7 Jardín Zapata



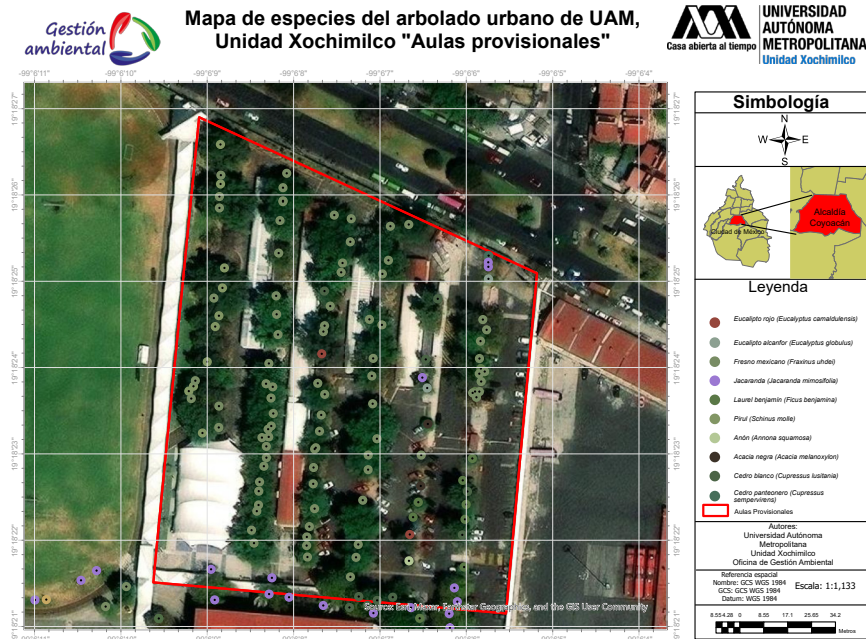
En este jardín se identificaron un total de 53 individuos, distribuidos en ocho especies. Esta cantidad refleja una diversidad vegetal moderada. La especie más común en el sitio es la *Casuarina equisetifolia*, la cual representa una proporción significativa del total de árboles. Su presencia dominante sugiere que fue plantada intencionalmente con fines funcionales, probablemente como barrera vegetal, para definir límites del espacio, proteger del viento o incluso controlar la erosión del suelo. Su abundancia plantea ciertos retos desde el punto de vista ecológico.

B.8 Jardín Edén



Para este jardín se registraron un total de 121 individuos, distribuidos en 23 especies distintas, lo que indica una alta diversidad vegetal en comparación con los otros jardines. Esta riqueza específica sugiere que el jardín fue diseñado o manejado con una clara intención de promover la variedad botánica, lo cual contribuye significativamente a la generación de servicios ecosistémicos como la regulación del microclima, el refugio para fauna silvestre, la captación de carbono y el valor estético del paisaje. Las especies más comunes son Casuarina (*Casuarina equisetifolia*) y Laurel llorón (*Ficus benjamina*). La presencia de estas dos especies dominantes refleja en la función del jardín: la casuarina responde a necesidades estructurales o de control físico del espacio, y el laurel llorón cumple una función principalmente visual y de sombra.

B.9 Área de Aulas Provisionales

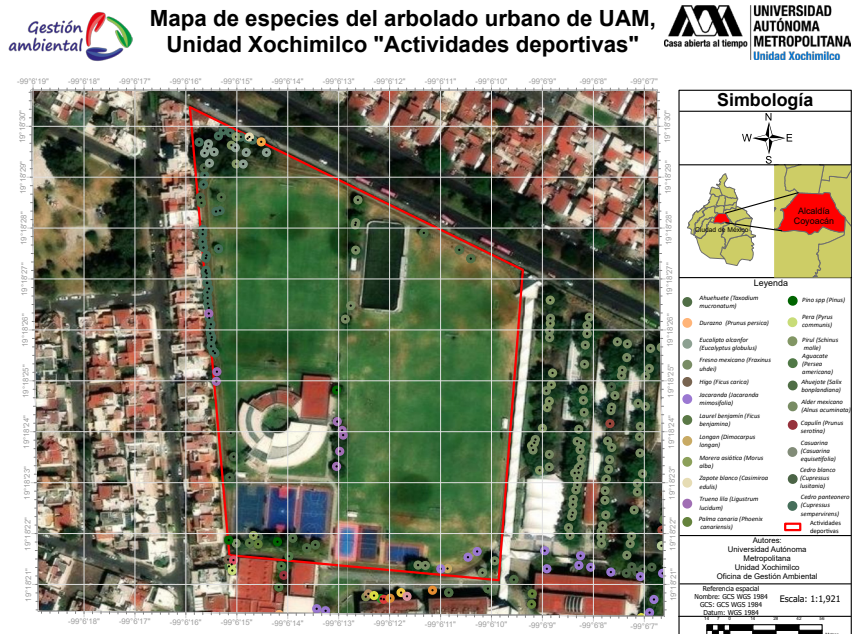


En el sitio se registraron un total de 125 árboles, lo que indica una presencia arbórea considerable en relación con el área evaluada. Esta cantidad sugiere que el espacio cumple funciones importantes tanto desde el punto de vista ambiental como paisajístico, aportando a la generación de sombra, la regulación térmica, la captura de carbono y la provisión de hábitat para especies urbanas.

La especie predominante fue el fresno mexicano (*Fraxinus uhdei*), lo cual resulta relevante tanto por sus características ecológicas como por su amplia adaptación a entornos urbanos. Esta especie, nativa de México y Centroamérica, es apreciada por su rápido crecimiento, su porte imponente, y su capacidad para generar copas amplias que brindan sombra efectiva, lo cual lo convierte en un árbol ideal para estacionamientos, avenidas, etc. Aunque es importante destacar que los

espacios dominados por una sola especie son más vulnerables a plagas específicas o enfermedades.

B.10 Área de Actividades Deportivas



En el sitio inventariado se tuvo un registro un total de 105 árboles, lo que indica una cobertura vegetal significativa para el tipo de espacio evaluado. Este número sugiere que el arbolado cumple una función importante en la estructura paisajística y ambiental del área.

La especie más común fue el Cedro panteonero (*Cupressus sempervirens*), Su forma columnar, su follaje perenne y su resistencia a condiciones secas lo hacen ideal para alineaciones y para crear pantallas visuales o barreras contra el viento

Anexo C. Paleta de colores

A continuación, se muestra la lista completa de las 78 especies que se encuentran en la UAM-X, con sus correspondientes valores RGB y una breve identificación de sus características para la generación de su identidad:

Tabla 3 Paleta de colores RGB para el arbolado urbano UAM-X.

N°	Nombre común	Nombre científico	RGB	Características distintivas
1	Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	(130, 140, 120) 	Follaje de tonalidades verde grisáceas y apariencia de "aguja".
2	Araucaria	<i>Araucaria columnaris</i>	(90, 120, 70) 	Acículas verdes intensas con un sutil matiz azulado.
3	Jacaranda	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	(155, 120, 210) 	Flores lilas o violetas características de la especie.
4	Cedro panteonero	<i>Cupressus sempervirens</i>	(70, 110, 90) 	Follaje perenne de verde oscuro y forma columnar típica de los cipreses.
5	Ceiba	<i>Ceiba pentandra</i>	(190, 160, 200) 	Flores con tonos rosados o violáceos y tronco a veces verdoso.
6	Cedro blanco	<i>Cupressus lusitanica</i>	(75, 100, 70) 	Follaje verde claro con matices azulados.
7	Palma canaria	<i>Phoenix canariensis</i>	(100, 130, 60) 	Hojas pintadas de verde brillante y tronco robusto.
8	Ahuehuete	<i>Taxodium mucronatum</i>	(80, 110, 70) 	Follaje verde profundo con matices marrones en la base.
9	Limón	<i>Citrus limon</i>	(220, 220, 70) 	El fruto amarillo o verde brillante es la seña de identidad.
10	Árbol paraguas	<i>Schefflera actinophylla</i>	(90, 140, 75) 	Hojas compuestas brillantes; en floración se pueden observar racimos rojos, aunque predomina el verde.

11	Escobillón	<i>Callistemon citrinus</i>	(200, 40, 50) 	Flores rojas en forma de cepillo, muy distintivas.
12	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	(220, 150, 160) 	Pulpa rosada o amarilla del fruto, característica de la guayaba.
13	Ciruelo	<i>Prunus domestica</i>	(140, 70, 140) 	El fruto suele ser púrpura intensa, representativo de la ciruela.
14	Olivo	<i>Olea europaea</i>	(140, 150, 120) 	Hojas color verde grisáceo clásico de los olivares mediterráneos.
15	Álamo plateado	<i>Populus alba</i>	(170, 190, 180) 	El envés blanco de sus hojas le confiere un tono plateado distintivo.
16	Higo	<i>Ficus carica</i>	(120, 100, 80) 	Frutos y hojas con matices verde-marrón; el higo maduro tiende hacia lo púrpura, pero se opta por un tono intermedio.
17	Arce	<i>Acer negundo</i>	(200, 100, 60) 	Hojas verdes que en otoño se tornan anaranjadas o rojas; se opta por un naranja otoñal.
18	Colorín	<i>Erythrina coralloides</i>	(220, 60, 50) 	Flores rojas brillantes que recuerdan al coral.
19	Durazno	<i>Prunus persica</i>	(255, 180, 120) 	El fruto presenta un tono durazno-anaranjado suave.
20	Sauce llorón	<i>Salix babylonica</i>	(135, 160, 100) 	Hojas largas de verde claro que cuelgan en cascada.
21	Cedro limón	<i>Cupressus macrocarpa</i>	(100, 120, 80) 	Follaje verde amarillento, asociado al aroma cítrico al frotar sus hojas.
22	Acacia	<i>Acacia melanoxylon</i>	(60, 50, 40) 	Madera muy oscura y follaje de verde intenso.
23	Falsa Aralia	<i>Plerandra elegantissima</i>	(70, 95, 70) 	Hojas finas y oscuras con porte elegante, de un verde profundo.
24	Nuez de Macadamia	<i>Macadamia integrifolia</i>	(180, 140, 100) 	Tono marrón claro que recuerda a la cáscara de la nuez.
25	Tejocote	<i>Crataegus rosei</i>	(220, 80, 60) 	Frutos rojizos o anaranjados.
26	Grevillea	<i>Cypress</i>	(220, 140, 50) 	Inflorescencias anaranjadas muy vistosas.

27	Manzana	<i>Malus domestica</i>	(220, 60, 60) 	El rojo brillante característico de la manzana.
28	Majagua de playa	<i>Talipariti tiliaceum</i>	(240, 200, 70) 	Flor amarilla con centro oscuro típica de zonas costeras.
29	Jícara	<i>Crescentia</i>	(130, 140, 80) 	Frutos en forma de “jícara” y follaje sencillo de color verde medio.
30	Naranja agrio	<i>Citrus aurantium</i>	(230, 140, 50) 	Fruto anaranjado intenso, a pesar de que su pulpa es más ácida.
31	Limón Chino	<i>Dimocarpus longan</i>	(200, 170, 100) 	Cáscara marrón claro del fruto.
32	Tejocote	<i>Crataegus mexicana</i>	(230, 100, 50) 	Fruto con tonalidades anaranjadas.
33	Alder mexicano	<i>Alnus acuminata</i>	(110, 135, 90) 	Hojas ovaladas de verde medio y corteza lisa en tonos grisáceos.
34	Fresno	<i>Fraxinus uhdei</i>	(130, 155, 105) 	Follaje verde ligeramente grisáceo, común en alineaciones urbanas.
35	Trueno lila	<i>Ligustrum lucidum</i>	(160, 110, 180) 	Aunque sus flores son mayormente blancas, el nombre “lila” sugiere matices morados en algunos cultivares ornamentales.
36	Pirul	<i>Schinus molle</i>	(130, 150, 100) 	Hojas delgadas de un verde claro y frutos rojos en racimos colgantes.
37	Eucalipto alcanfor	<i>Eucalyptus globulus</i>	(140, 160, 145) 	Hojas verde-azuladas.
38	Zapote blanco	<i>Casimiroa edulis</i>	(230, 220, 180) 	Pulpa blanquecina del fruto; el nombre “blanco” resalta a pesar de su follaje verde.
39	Níspero	<i>Eriobotrya japonica</i>	(240, 170, 70) 	Fruto de tonalidad anaranjada-amarillenta muy característica.
40	Capulín	<i>Prunus serotina</i>	(150, 50, 60) 	Frutos pequeños de color rojo oscuro a casi negro.
41	Aguacate	<i>Persea americana</i>	(80, 120, 70) 	Cáscara verde oscuro (incluso negruzco) y pulpa verde amarillenta.
42	Pera	<i>Pyrus communis</i>	(200, 220, 120) 	Fruto de color verde amarillento típico de la pera.

43	Cerezo	<i>Prunus cerasifera</i>	(220, 80, 100) 	Algunas variedades ornamentales exhiben flores rosadas/rojizas muy vistosas.
44	Anón	<i>Annona squamosa</i>	(180, 200, 150) 	Cáscara verde pálido y pulpa blanca, representando un tono verde claro.
45	Laurel llorón	<i>Ficus benjamina</i>	(90, 120, 70) 	Hojas péndulas de un verde brillante que le confieren su distintivo “aspecto llorón”.
46	Noche buena	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	(220, 30, 50) 	Brácteas rojas intensas, emblemáticas en la época navideña.
47	Árbol de las orquídeas	<i>Bauhinia variegata</i>	(200, 110, 180) 	Flores rosado-púrpuras con forma similar a orquídeas.
48	Ahuejote	<i>Salix bonplandiana</i>	(140, 160, 100) 	Especie de sauce nativo con hojas alargadas de tono verde claro.
49	Hule	<i>Ficus elastica</i>	(60, 80, 50) 	Hojas grandes, gruesas y de verde muy oscuro con brillo ceroso.
50	Magnolia	<i>Magnolia grandiflora</i>	(220, 220, 200) 	Flores grandes blancas y hojas verde oscuro brillante, con envés de tono ferruginoso.
51	Caucho microcarpa	<i>Ficus microcarpa</i>	(70, 110, 80) 	Follaje denso y verde brillante, representativo de los Ficus.
52	Eucalipto rojo	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	(150, 70, 60) 	Corteza con matices rojizos y follaje verde.
53	Trinitaria	<i>Bougainvillea glabra</i>	(220, 50, 130) 	Brácteas de color magenta o rosa intenso, muy llamativas.
54	Pinus sp	<i>Pinus sp</i>	(0, 100, 0) 	Las acículas de los pinos suelen tener un tono verde oscuro característico, con una pigmentación densa que les permite conservar la humedad. Además, el tronco tiene una tonalidad marrón grisácea, pero el color distintivo del árbol es el de sus hojas perennes.

55	Tobacco	<i>Nicotiana glauca</i>	(150, 170, 110) 	Hojas verde grisáceas y flores amarillas tubulares.
56	Chabacano	<i>Prunus armeniaca</i>	(255, 185, 120) 	Fruto con tonalidad albaricoque (durazno claro).
57	Morera blanca	<i>Morus alba</i>	(140, 160, 90) 	Hojas de un verde brillante; aunque los frutos varíen, el follaje es predominante.
58	Liquidámbar	<i>Liquidambar styraciflua</i>	(180, 60, 50) 	Hojas que en otoño adquieren tonos rojos intensos.
59	Guanábana	<i>Annona muricata</i>	(100, 130, 70) 	Fruto de cáscara verde oscuro y pulpa blanca; se enfatiza la tonalidad del exterior.
60	Tepozán	<i>Buddleja cordata</i>	(150, 160, 100) 	Arbusto con hojas verde claro y flores blanquecinas; se destaca el follaje.
61	Tulipán	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	(230, 50, 70) 	Flores de colores vivos (rojo, naranja o rosa) que resaltan de forma vistosa; se opta por un rojo brillante genérico.
62	Espino blanco	<i>Crataegus laevigata</i>	(220, 80, 60) 	Pequeños frutos rojos (tejocotes o espinos) muy representativos en algunas especies.
63	Acacia café	<i>Acacia retinodes</i>	(200, 180, 90) 	Asociado a flores amarillas y follaje de tono claro, reflejando matices cálidos.
64	Pie de elefante	<i>Yucca gigantea</i>	(150, 160, 110) 	Hojas rígidas con matices verde grisáceo o azulado.
65	Plátano	<i>Musa x paradisiaca</i>	(255, 220, 100) 	Fruto de color amarillo, típico del plátano maduro.
66	Thuja	<i>Thuja</i>	(70, 90, 60) 	Conífera con follaje verde oscuro y en ocasiones corteza con matices rojizos.
67	Membrillo	<i>Cydonia oblonga</i>	(230, 210, 140) 	Fruto de tono amarillo pálido similar al membrillo tradicional.
68	Laurel rosa	<i>Nerium oleander</i>	(230, 100, 130) 	Flores rosadas o blancas ampliamente usadas en jardinería ornamental.
69	Árbol de las manitas	<i>Chiranthodendron pentadactylon</i>	(200, 40, 40) 	Flores rojas con forma peculiar (cinco “dedos”) que lo distinguen.

70	Croton	<i>Croton</i>	(200, 90, 60) 	Hojas con manchas en tonos rojos, amarillos y verdes; se opta por un tono cálido que combine estos matices.
71	Palo bobo	<i>Pittocaulon praecox</i>	(240, 210, 80) 	Flores amarillas brillantes sobre tallos robustos de tonalidad verde.
72	Guayabo peruano	<i>Psidium cattleianum</i>	(34, 100, 34) 	Arbusto o árbol pequeño con follaje denso de color verde oscuro. Sus hojas son coriáceas y brillantes, mientras que los frutos son redondos de color púrpura a rojo oscuro cuando maduran. Produce flores blancas vistosas y fragantes. Su color distintivo corresponde al tono verde profundo de su follaje perenne.
73	Encino blanco	<i>Quercus rugosa</i>	(80, 100, 60) 	Hojas rugosas de verde oscuro típicas de robles mexicanos.
74	Palma washingtonia	<i>Washingtonia robusta</i>	(110, 140, 70) 	Similar a otras especies del género con hojas en abanico de verde brillante.
75	Huaje	<i>Leucaena leucocephala</i>	(140, 170, 90) 	Follaje compuesto muy fino con vainas verdosas de tono verde claro.
76	Pata de elefante	<i>Beaucarnea recurvata</i>	(140, 160, 80) 	Tronco abultado grisáceo y penacho de hojas largas de verde brillante.
77	Higuerilla	<i>Ricinus communis</i>	(150, 40, 80) 	Hojas con matices rojizos o púrpuras en algunas variedades y semillas moteadas, lo que sugiere un tono rojizo oscuro.
78	Buddleja parviflora	<i>Buddleja parviflora</i>	(152, 174, 136) 	Presenta hojas verdes grisáceas, con una tonalidad opaca y algo blanquecina debido a la pubescencia en su superficie. Sus flores pueden variar entre lila y violeta, pero el color predominante en su estructura foliar es el verde grisáceo.

En esta edición del Informe *Evaluación y Servicios Ecosistémicos del Arbolado Urbano en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco*, Coyoacán, Ciudad de México, realizado por la Secretaría de Unidad, a través de la Oficina de Gestión Ambiental, colaboró en la corrección y el diseño la Coordinación de Extensión Universitaria y Difusión Cultural, a través de la Sección de Producción Editorial, y fue impresa en la Coordinación de Cómputo, a través de la Sección de Impresiones en julio de 2025.

EDICIÓN NO VENAL

