

Evaluación de la calidad ambiental de las áreas verdes en Zapopan, Jalisco

Evaluation of the environmental quality of green areas in Zapopan, Jalisco

Abel Hugo Ruiz Velazco Castañeda*

Margarita Anaya Corona**

Juan Pablo Corona Medina***

<https://doi.org/10.31644/HT.05.10.2025.A54>

Recibido: 11/09/2025 • Aceptado: 29/10/2025

Publicado: 02/12/2025

Resumen

La calidad ambiental de los ecosistemas urbanos se determina a partir de la salud de sus plantas y animales, de los beneficios ambientales que ofrecen, de la diversidad biológica y del adecuado manejo de los recursos forestales. Si bien las áreas verdes proporcionan un servicio ambiental a la ciudad, su diversidad biológica se ve amenazada por la falta de una política de planificación urbana que incluya criterios de sustentabilidad. Estudios recientes han demostrado que la estabilidad de un ecosistema depende básicamente de la complejidad de su red de relaciones, es decir, de la diversidad del ecosistema. El propósito de la investigación es evaluar la calidad ambiental de los parques y jardines del municipio de Zapopan, asumiendo que el beneficio ambiental que suministran al entorno urbano está relacionado con su complejidad biológica. Para el análisis se emplea un indicador de sustentabilidad urbana: el índice de diversidad del arbolado urbano. Este índice compara el número de especies taxonómicas con su abundancia relativa, de modo que la capacidad de las áreas verdes para acoger la mayor diversidad biológica refleja su calidad ambiental. También se evalúa la fragilidad de los parques, en el sentido de que, a medida que disminuye la diversidad del arbolado, se incrementa la presencia del muérdago, una planta parásita que afecta el desarrollo de los árboles. Los resultados del análisis confirman que la dominancia de especies es una amenaza para la calidad ambiental de las áreas verdes.

* Licenciado en Geografía y Maestro en Desarrollo Local y Territorio por la Universidad de Guadalajara. México. Correo electrónico: abel.ruizvelazco@academicos.udg.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7309-6742>

** Ingeniera Agrónoma Forestal por la Universidad de Guadalajara. México. Maestra en Medio Ambiente y Desarrollo Integrado por el Instituto Politécnico Nacional y Doctora en Geografía por la UNAM. Correo electrónico: margarita.anaya@academicos.udg.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1036-904>

*** Licenciado en Geografía por la Universidad de Guadalajara, México. Maestro en Geomática por la Universidad de Colima. Correo electrónico: pablo.corona@academicos.udg.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3465-6086>

Palabras clave: calidad ambiental, ecosistema urbano, biodiversidad, fragilidad ambiental.

Abstract

The environmental quality of urban ecosystems is determined by the health of their plants and animals, the environmental benefits they offer, biological diversity, and the proper management of forest resources. Although green areas provide an environmental service to the city, their biological diversity is threatened by the lack of an urban planning policy that includes sustainability criteria. Recent studies have shown that the stability of an ecosystem depends primarily on the complexity of its network of relationships, that is, on ecosystem diversity. The purpose of this research is to evaluate the environmental quality of parks and gardens in the municipality of Zapopan, assuming that the environmental benefit they provide to the urban environment is related to their biological complexity. An indicator of urban sustainability is used for the analysis: the urban tree diversity index. This index compares the number of taxonomic species with their relative abundance, so that the capacity of green areas to host the greatest biological diversity reflects their environmental quality. The fragility of the parks is also assessed, in that as tree diversity decreases, the presence of mistletoe, a parasitic plant that affects tree development, increases. The results of the analysis confirm that species dominance is a threat to the environmental quality of green areas.

Keywords: environmental quality, urban ecosystem, biodiversity, environmental fragility.

Introducción

Hoy en día, se reconoce que la calidad ambiental de las áreas verdes es una medida del estado de conservación de los ecosistemas urbanos. Por consiguiente, dicha calidad está determinada por la salud de las plantas y animales que albergan, de los beneficios ambientales que aportan al entorno, de la diversidad biológica y del adecuado manejo de sus recursos forestales.

Entonces, la importancia de analizar la calidad ambiental de las áreas verdes radica en el hecho de que estos ecosistemas juegan un papel fundamental dentro del contexto urbano. Los parques y jardines proporcionan una serie de servicios ambientales a la ciudad; por lo tanto, “reconocer su valor en todos los niveles y sectores: el ambiental, la planeación y el desarrollo urbano, la cohesión social y la generación de esquemas de manejo integral de los mismos, traerá grandes beneficios, no solo ambientales, sino sociales y económicos” (Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco [FIPRODEFO], 2018, p. 10).

Sin embargo, también es cierto que la mayoría de las ciudades latinoamericanas enfrentan la pérdida gradual de las áreas naturales contiguas por el proceso expansivo de las metrópolis. Además, para el caso del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG), hay que añadir que la cobertura vegetal de los parques y jardines se reduce año con año por la modificación en los usos y destinos del suelo (Ramírez, Torres y Pérez, 2015).

De esta manera, la diversidad biológica rica en flora y fauna que proveen estos hábitats se ve seriamente amenazada por la falta de una política de planificación urbana que incluya criterios de sustentabilidad. Si a esto le sumamos que la ciudad carece de un marco normativo capaz de definir claramente lineamientos ambientales para la preservación del ecosistema y el manejo apropiado del arbolado en los parques y jardines, entonces el panorama se complica.

En esencia, el espacio público no se administra de forma integral y mucho menos se da importancia a la conservación de los recursos forestales. Por ejemplo, en la mayoría de los municipios metropolitanos, las iniciativas de reforestación suelen favorecer el monocultivo, lo que eleva los riesgos fitosanitarios frente a las amenazas de plaga.

Por esta razón consideramos indispensable que el AMG adopte un modelo de crecimiento urbano sustentable. Un modelo de ciudad donde se incluyan criterios de organización espacial que favorezcan la máxima complejidad del sistema urbano-natural. Así, cuanta más organización y variedad de funciones prevalezcan en la urbe, esta tenderá a ser más eficiente y confortable (Anaya y Cruz, 2015).

En ese sentido, la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona considera que “la estabilidad de un ecosistema depende básicamente del grado de complejidad de su red de relaciones, es decir, de la diversidad del ecosistema” (2010, p.17). Bajo este supuesto es que se analiza la diversidad forestal de 178 parques y jardines urbanos de Zapopan, Jalisco; uno de los nueve municipios que forman parte del AMG.

El objetivo del estudio es evaluar la calidad ambiental de las áreas verdes, considerando que los parques y jardines albergan una extensa variedad de organismos que constituyen un ecosistema único y, por lo tanto, que su nivel de complejidad está directamente relacionado con el valor ecológico que aportan al entorno urbano.

De este modo, primero se discute la importancia de las áreas verdes en el contexto urbano. Se examina la función que desempeñan como elementos estructurales de las metrópolis y se reflexiona sobre la gestión del espacio público, las políticas de conservación del arbolado urbano y el rol de las autoridades locales en el control de plagas y la prevención de riesgos fitosanitarios.

La calidad ambiental de las áreas verdes se determina a partir del *índice de diversidad del arbolado urbano* (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2010). Este índice relaciona el número de especies taxonómicas con su abundancia relativa, de manera que la capacidad de los parques para acoger la mayor diversidad biológica también refleja su aptitud ambiental.

A lo largo del estudio, la metodología del análisis espacial fue de mucha utilidad para entender los patrones de localización, distribución, extensión, conexión, densidad y cobertura forestal de los parques. Por ese motivo, los recursos que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica (SIG) mediante las geotecnologías son esenciales para examinar la naturaleza de las relaciones espaciales complejas (Buzai, 2015).

Con este fin, se utilizaron las herramientas informáticas de que dispone el programa QGIS®, plataforma de código abierto y de acceso libre que permite la gestión y el análisis de datos espaciales. Todo esto, sobre la base el conjunto de datos vectoriales y marco geoestadístico del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], (2020). El resultado es un modelo cartográfico que representa la ubicación exacta de los parques urbanos, así como sus distintos atributos espaciales en diferentes capas en formato *shapefile*.

Al mismo tiempo, se efectuó un análisis estadístico a través del modelo de regresión lineal. Ya que, al parecer, la escasa diversidad del arbolado se relaciona con la distribución espacial del muérdago, una planta parásita que se nutre de la savia del árbol anfitrión y afecta su desarrollo. Por lo tanto, al medir las relaciones de dependencia entre ambas variables, se pudo evaluar la fragilidad ambiental de los parques urbanos.

En un sentido amplio, el propósito de la investigación buscó responder dos interrogantes: ¿En qué medida la diversidad del arbolado urbano determina la fragilidad ambiental de las áreas verdes? y ¿Cómo se relaciona la dominancia de una especie con la distribución espacial del muérdago?

Para resolver estos cuestionamientos, se analizó la hipótesis de que el predominio de una especie arbórea reduce la diversidad de las áreas verdes, aumenta los riesgos fitosanitarios y las vuelve más susceptibles a la propagación de plagas o enfermedades. Mientras que la calidad ambiental se encuentra fuertemente influenciada por la complejidad del ecosistema urbano.

Las áreas verdes en el contexto urbano

El valor ambiental de las áreas verdes

Las áreas verdes son aquellos espacios naturales socialmente concebidos en los entornos urbanos, usualmente abiertos y en los que se fomentan relaciones humanas de ocio, recreación y convivencia social. Por lo general, son áreas que se planifican con un enfoque de uso público en las que se fusionan tanto los componentes sociales como ambientales.

Además, prevalece la idea de que las áreas verdes forman parte de un sistema complejo de orden superior donde la ciudad es considerada como un ecosistema. En ese sentido, la dinámica urbana se vería favorecida por la diversidad biológica que aportan los parques y jardines, dado que el metabolismo de la ciudad depende de los flujos e intercambios de materia y energía entre esta y el medio natural que la rodea.

Este planteamiento propone que las áreas verdes se rigen por ciertos principios y leyes naturales básicas. De ahí que se trate de espacios vivos que responden a distintos niveles de organización y, por tanto, funcionan bajo determinados ciclos biológicos que intervienen en su desarrollo. A la vez que cumplen una función social que refleja en más de una forma el carácter histórico de un contexto cultural bastante específico (Miranda, 1997).

Entonces podría decirse que las áreas verdes se refieren al conjunto de espacios libres cubiertos de vegetación, que brindan un servicio ambiental al entorno urbano y que funcionan como un elemento paisajístico, arquitectónico o de recreo. Estos incluyen los parques y

jardines públicos y privados, las áreas de integración paisajística y de protección ambiental de carreteras y de otras infraestructuras urbanas, las laderas cubiertas de vegetación, la vegetación marginal de los cursos de agua y lagos, los setos y cortinas contra el viento o la contaminación acústica, las áreas verdes cementeriales y las áreas agrícolas y forestales residuales dentro de los espacios urbanos o urbanizables (Fadigas, 2009).

Por consiguiente, las áreas verdes son los sitios destinados a albergar y preservar ciertos atributos de la naturaleza en un medio altamente transformado como el urbano (Anaya, 2001). Hoy en día es imposible concebir la planificación urbana sin dotar a la metrópoli de estos espacios de uso público, más cuando se consideran como verdaderos ecosistemas que contribuyen a mejorar la calidad de vida de quienes habitan las grandes ciudades.

De esa manera se reconocen cuatro valores fundamentales que las áreas verdes aportan a la ciudad: ecológico, arquitectónico, estético y comunitario (Anaya, 2001). En sí, los parques y jardines se perciben como un elemento importante del paisaje urbano, ya que favorecen la transformación y desarrollo de la metrópoli. De hecho, su papel es esencial para la existencia de la sociedad moderna. Además, las áreas verdes ofrecen el entorno perfecto para que las personas interactúen con el medio ambiente, dadas las funciones que desempeñan en la ciudad (ver tabla 1).

Tabla 1. Valor y función de las áreas verdes en la ciudad

| Valor | Función |
|----------------|---|
| Ecológico | <ul style="list-style-type: none"> • Purifican el aire y agua • Ayudan en la descomposición de desechos • Favorecen el ciclo del suelo y de los nutrientes • Regulan el microclima y la radiación solar • Contribuyen en la recarga de acuíferos • Reducen la emisión de partículas contaminantes • Son hábitats de flora y fauna • Promueven la biodiversidad • Amortiguan el ruido |
| Arquitectónico | <ul style="list-style-type: none"> • Articulan el espacio urbano • Moderan el acceso a áreas privadas • Regulan la circulación urbana • Son útiles para proteger y cercar • Rompen la monotonía del continuo urbano |
| Estético | <ul style="list-style-type: none"> • Mejoran la fisonomía del lugar • La flora destaca por su forma, textura, fragancia, color y dinamismo • Aportan un atractivo paisajístico • Reducen el brillo y reflejo del sol |

| | |
|-------------|---|
| Comunitario | <ul style="list-style-type: none"> • Brindan confort anímico • Resultan apropiados para el ocio y esparcimiento • Permiten el desarrollo de actividades recreativas • Promueven las actividades deportivas y culturales • Facilitan la educación ambiental • Moderan el estrés • Contribuyen con la salud física y mental • Estimulan la atención y la capacidad cognitiva • Desencadenan emociones positivas • Constituyen una fuente de empleo e ingresos • Acrecientan el equipamiento urbano • Permiten desarrollar actividades tradicionales • Fomentan la convivencia comunitaria • Fortalecen el capital social • Mejoran las condiciones de vida y trabajo • Incrementan el valor del suelo |
|-------------|---|

Fuente. Elaboración propia a partir de Anaya, 2001.

La gestión del espacio público y las políticas de conservación

De acuerdo con Anaya (2001), la gestión de las áreas verdes corresponde a una actividad que trasciende distintos ámbitos de la organización espacial, en particular el relativo a la esfera urbana. Por tanto, al considerar las directrices que guían la definición de nuevas áreas o el manejo y conservación de las existentes, se deben tomar en cuenta los factores fisiográficos, sociopolíticos y culturales que las condicionan.

1. *Factores fisiográficos.* Se refieren a las características naturales que describen un sitio, como la orografía, la geología, el suelo, la hidrología y el clima. Cada elemento interactúa con el ecosistema, otorgando rasgos muy específicos al lugar, tales como la forma en que se distribuye la vegetación. Y aunque no cabe duda de que estos factores han influido en la fundación, crecimiento y desarrollo de las ciudades, es un hecho que al interior de los espacios urbanos solo algunas áreas conservan el remanente de su vegetación nativa. Ya que en la mayoría de las metrópolis las especies originarias han sido desplazadas progresivamente por plantas ornamentales que provienen de diferentes partes del mundo. Por ejemplo, la *jacaranda* y la *bugambilia* son nativas del Brasil, el *eucalipto* y la *casuarina* de Australia.
2. *Factores sociopolíticos.* Las políticas de desarrollo que se implementan en las ciudades se relacionan estrechamente con el crecimiento urbano. Por tanto, influyen de forma decisiva en la distribución de las áreas verdes, la preservación de algunas y la desaparición de otras. Los parques y jardines son elementos que, al evolucionar con las ciudades, variaron su tipo y función dentro del espacio urbano. Originalmente, funcionaron como estructuras ornamentales; después eran vistos como espacios de convivencia social que contribuían a mejorar la salud e higiene de las ciudades. Luego su valor ecológico cobró importancia al entender que servían a la descongestión urbana y finalmente, se consideran como un componente vital para disminuir la contaminación y combatir los efectos del cambio climático. La función de las áreas verdes ha variado a lo largo de la historia y se ha ido

ajustando a los procesos de orden político, social o económico que han marcado cada época. Por ejemplo, en el AMG, los estratos económicos altos se localizan en las zonas más privilegiadas de la ciudad, donde se concentra la mayoría de los parques y jardines públicos. En contraste, el resto de la población difícilmente tiene acceso a las áreas verdes.

3. *Factores culturales.* Son aquellos que giran en torno a la relación que los seres humanos establecen con la naturaleza y mucho dependen del valor que la sociedad otorga a las áreas verdes. El valor, propiamente dicho, es una concepción subjetiva cargada de simbolismo donde el espacio adquiere significado gracias a las prácticas sociales que se reproducen en él. Entonces, aspectos como las tradiciones, los hábitos, las costumbres o algunos rasgos como la edad y el género de las personas influyen para que una comunidad se identifique con un determinado sitio donde pueda materializar ciertas facetas de su desarrollo. A fin de cuentas, las áreas verdes no solo son receptores del medio natural, sino que también alojan una dimensión sociocultural que los transforma.

Por ende, es indispensable que las políticas de planificación del crecimiento urbano tomen en cuenta el valor ecológico, ambiental y paisajístico que las áreas verdes aportan a la ciudad. Esta perspectiva supone que los parques y jardines forman parte de un sistema biótico complejo, lo que facilitaría de alguna manera su integración funcional a la escena urbana. De ahí la necesidad de que la gestión del espacio público incorpore estrategias de organización considerando diferentes factores geográficos como la distribución, la accesibilidad y la cobertura de las áreas verdes en el contexto metropolitano (Salvador, 2003).

Pero las políticas locales que regulan el manejo del arbolado urbano no siempre se orientan en esa dirección. Por ejemplo, en México las autoridades municipales son las encargadas de gestionar los parques y jardines de dominio público. Sin embargo, en ocasiones tal responsabilidad se delega a las juntas de colonos o comités barriales para que se encarguen del mantenimiento. Incluso llega a suceder que la posesión del espacio público queda en manos del sector privado gracias a un conveniente esquema de concesiones.

La gestión del arbolado urbano en Zapopan

En el municipio de Zapopan existen dos dependencias de gobierno responsables de establecer, resguardar y supervisar el aprovechamiento de las áreas verdes de uso público: la Dirección de Medio Ambiente y la Dirección de Parques y Jardines. Además, entre sus múltiples funciones está la de preservar el patrimonio forestal a través de campañas de reforestación, según lo dispuesto por el artículo 47, fracción XXVI del Reglamento de la Administración Pública Municipal de Zapopan, Jalisco (Ayuntamiento de Zapopan, 2015).

En ese sentido, la Norma Oficial Estatal NAE-001-SEMADES-2003 (Gobierno del Estado de Jalisco, 2017) exige la elaboración de un Plan de Manejo del Arbolado Urbano que defina las líneas prioritarias de acción a corto, mediano y largo plazo destinadas a preservar los recursos forestales del municipio. También se estipula que dicho instrumento se debe incorporar al Plan de Desarrollo Municipal, donde se debe evaluar cada tres años. Al mismo tiempo, las disposiciones reglamentarias establecen, entre otros, los criterios técnicos para la poda y trasplante de árboles, incluyendo un anexo con especificaciones para

seleccionar las especies arbóreas más adecuadas para la ciudad (Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara [IMEPLAN], 2016).

Si bien es cierto que el marco jurídico contempla el diseño de los programas para el manejo del arbolado, esto no siempre funciona así. En muchos de los casos los planes ni siquiera se elaboran, pero, cuando eso llega a ocurrir, resulta que rara vez se llevan a la práctica. A veces por falta de voluntad política y muy a menudo por cuestiones técnicas que dificultan su ejecución.

La realidad es que al día de hoy la mayoría de los municipios del AMG no cuentan con un programa integral para el manejo del arbolado urbano. Por lo común, la gestión de las áreas verdes termina dependiendo de instrumentos de carácter general que escasamente consideran algunos de los aspectos esenciales de la sustentabilidad urbana. Entonces, los criterios de planificación que apuestan por la complejidad urbana, el equilibrio y estabilidad del medio natural o los factores que favorecen el intercambio de materia, energía e información dentro de la ciudad, se excluyen casi de inmediato. Cancelando la posibilidad de lograr un aprovechamiento óptimo de los recursos urbanos.

Prueba de esto es un trastorno que ha venido afectando la condición del arbolado los últimos 20 años. Resulta que un elevado número de ejemplares ha sido invadido por el muérdago. El problema es tal que, según los datos del Programa de Ordenamiento de Arbolado y Áreas Verdes Urbanas, de los 378 mil árboles en espacio público que registra el municipio de Zapopan, unos 226 mil presentan la plaga. Es decir, alrededor del 60% de la masa forestal se encuentra infestada (FIPRODEFO, 2018).

Actualmente, la presencia de plantas parásitas como el muérdago constituye una amenaza no solo para el arbolado del municipio, sino para los recursos forestales de toda la metrópoli. La falta de medidas fitosanitarias oportunas propició su diseminación a gran escala, al grado que una cantidad importante del arbolado en parques y jardines urbanos se han visto afectados por esta especie invasora. Tareas simples como la poda selectiva se efectuaron de manera tardía y escasamente coordinada. Y cuando algunos ayuntamientos del AMG iniciaron los trabajos de remoción, las intervenciones distaron de ser sistemáticas, las labores no fueron continuas y tampoco se contemplaron medidas de contención a largo plazo.

Los primeros intentos para erradicar la plaga se pueden rastrear hacia el 2013, cuando las autoridades del municipio central de Guadalajara convocaron a una mesa de colaboración en la que participaron funcionarios de las direcciones de Parques y Jardines de los ayuntamientos metropolitanos y académicos de la Universidad de Guadalajara. El propósito de la reunión era generar un plan de manejo conjunto para combatir el muérdago del arbolado público que, para entonces, se había declarado como emergencia fitosanitaria en toda la ciudad. Sin embargo, pese a los esfuerzos, no se llegó a ningún acuerdo y todo quedó en buenas intenciones.

Después, en 2015, la Dirección de Parques y Jardines de Zapopan implementó el programa “Zapopan libre de muérdago”, que llevó a cabo podas sanitarias y el retiro manual de muérdago. No obstante, las medidas tuvieron poco impacto, ya que si acaso una cuadrilla de trabajadores solo podía limpiar hasta 15 árboles por día. Como resultado, las acciones

fueron insuficientes dada la abrumadora cantidad de árboles infestados. De nuevo, la falta de una estrategia integral para el manejo del arbolado público impidió que la contingencia sanitaria fuera abordada a escala metropolitana, cancelando una vez más la posibilidad de que los ayuntamientos colaboraran de manera conjunta para hacer frente al problema.

A esto habría que sumar el hecho de que buena parte del arbolado urbano se encuentra en un avanzado estado de madurez y, por tanto, próximo a concluir su ciclo vital. Lamentablemente a la fecha los municipios metropolitanos han sido incapaces de implementar un programa de manejo de recursos forestales donde se contemple dicho escenario, menos uno que observe los criterios de sustitución del arbolado con las especies más idóneas para la ciudad, tal y como lo indica la norma estatal NAE-001-SEMADES-2003 (Gobierno del Estado de Jalisco, 2017).

En síntesis, se puede decir que los problemas y limitaciones que enfrentan los Departamentos de Parques y Jardines del AMG tienen mucho que ver con la falta de personal técnico calificado, el equipamiento obsoleto o insuficiente y la incapacidad de establecer una coordinación entre las diferentes instancias municipales, estatales y federales involucradas en este rubro.

Sin embargo, hay otro aspecto crucial en la gestión de las áreas verdes que las distintas administraciones locales suelen pasar por alto. Se trata del escaso interés que muestran por el empleo de las tecnologías de la información como un recurso imprescindible para planificar y organizar el espacio público. En la mayoría de los casos se carece de información veraz y oportuna, la georreferenciación de datos es prácticamente inexistente y los censos, cuando los hay, no están actualizados. Condición que a menudo dificulta el desarrollo de otras herramientas analíticas que podrían incidir en la planificación de las áreas verdes y el manejo adecuado del arbolado urbano.

Evaluación de la calidad ambiental de las áreas verdes

Distribución y estructura del arbolado

El presente estudio evalúa la calidad ambiental de 178 parques y jardines urbanos del municipio de Zapopan. Esto representa el 80% de los 220 parques registrados por la Dirección de Parques y Jardines del propio ayuntamiento. La fuente primaria de datos proviene del Censo forestal que las autoridades llevaron a cabo en el año 2018, a través de levantamientos y registros en campo (Ayuntamiento de Zapopan, 2018). Información que fue verificada y validada in situ de acuerdo al cronograma de trabajo de la investigación, en un periodo de ocho meses entre los años 2022 y 2023.

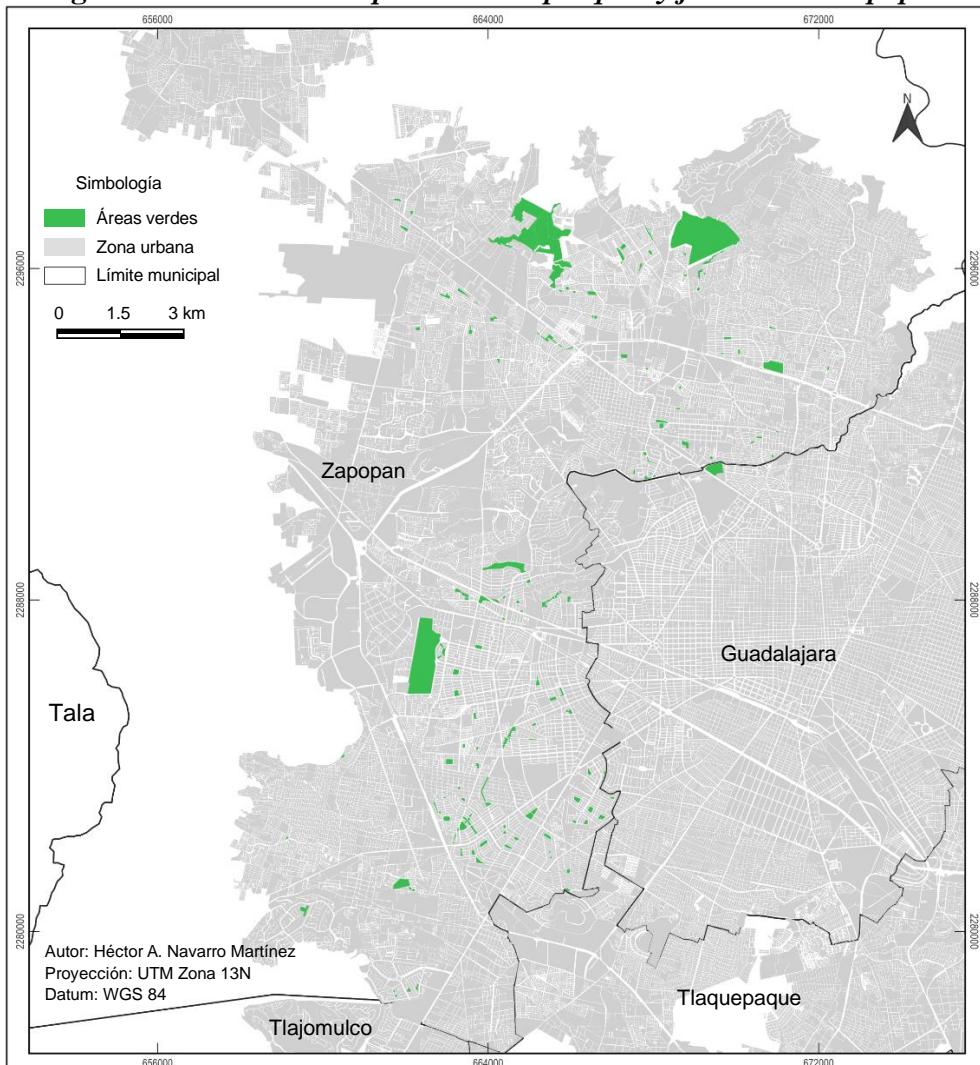
Los criterios de selección para el análisis de los 178 parques se basaron en factores como su distribución espacial en el contexto urbano, la superficie de las áreas verdes y la cantidad de árboles que albergan, así como la diversidad del arbolado y la presencia del muérdago. Lo que garantizó un alto grado de representatividad estadística, alcanzando un nivel de confianza del 97% con un margen de error del 3%.

De esta manera, según los datos del censo forestal, el arbolado urbano consta de aproximadamente 43,995 ejemplares. Sin embargo, resulta que la distribución de las áreas

verdes y su cobertura forestal no son del todo homogéneas dentro del municipio. Por ejemplo, al evaluar la composición del inventario, se descubrió que la cantidad de árboles varía significativamente de un parque a otro. De acuerdo con los registros, el valor más alto corresponde a uno de los parques con 1,303 ejemplares, mientras que el mínimo a otro con 13. De tal forma que el promedio para los parques urbanos se sitúa en alrededor de 247 árboles.

De entrada, este tipo de sesgos sugiere un acceso diferenciado a los recursos ambientales de la ciudad. Luego está el hecho de que las áreas verdes se concentran en unas zonas más que en otras, reflejando la existencia de fuertes desequilibrios espaciales. Aunado a que la mayoría de los parques registran una proporción inusual de árboles de la misma especie, poseen distintas densidades de cobertura y cuentan con una escasa diversidad biológica. En consecuencia, todos estos factores incrementan su vulnerabilidad, haciéndolos más susceptibles a riesgos fitosanitarios como la propagación de plagas.

El análisis de la distribución espacial de las áreas verdes dejó al descubierto dos agrupamientos principales que segmentan la estructura urbana. El primero se ubica al norte del municipio, concentrando un total de 79 parques y jardines con una superficie forestal equivalente a 298 ha. Por su dimensión sobresalen los bosques de El Centinela y el Nixtacuil. El segundo conjunto alberga los otros 99 parques y cubre el área central de Zapopan con unas 175 ha, siendo el parque Metropolitano el que se destaca por sus dimensiones (ver figura 1).

Figura 1. Distribución espacial de los parques y jardines de Zapopan

Fuente: Elaboración propia a partir del INEGI (2020) y Ayuntamiento de Zapopan (2018).

También fue posible establecer que los parques y jardines solo representan alrededor de 473 ha de árboles, arbustos y pasto para el municipio, lo que equivale a una pequeña fracción del área urbana de la ciudad, cuya superficie se aproxima a los 724 km². Esto confirma algunos de los resultados del Inventario de Arbolado LIDAR de la Dirección de Medio Ambiente de Guadalajara (2018), en el sentido de que el espacio público destinado a las áreas verdes escasamente contribuye con el 7% de la cobertura forestal del AMG.

Respecto a la composición del arbolado urbano, se identificaron 229 especies forestales distintas. Este componente se conoce como riqueza de especies y es una medida que se utiliza en los estudios ecológicos para comparar la biodiversidad entre distintos ecosistemas o analizar sus variaciones a lo largo del tiempo.

Si bien la riqueza de especies es muy amplia, cabe decir que el 63% de la masa forestal de los parques está constituida solo por diez de las especies. Es decir, casi dos terceras partes del arbolado corresponde a menos del 5% de las especies clasificadas. Lo que sin duda deja en evidencia la escasa diversidad biológica y, por tanto, la fragilidad de las áreas verdes.

Después de estudiar detalladamente la estructura y composición del arbolado, se encontró que especies como la *casuarina*, el *ficus*, el *fresno*, la *jacaranda* y el *eucalipto* representan el 48% de toda la población. Los cálculos de la abundancia relativa confirmaron la dominancia de especies que se registra en la mayoría de los parques y jardines del municipio, así como la marcada tendencia al monocultivo de la que son objeto (ver tabla 2).

Tabla 2. Abundancia relativa del arbolado urbano

| Especie | Árboles | Abundancia |
|------------------------|---------|------------|
| <i>Casuarina</i> | 5,307 | 12.06% |
| <i>Ficus</i> | 4,948 | 11.25% |
| <i>Fresno</i> | 4,643 | 10.55% |
| <i>Jacaranda</i> | 3,616 | 8.25% |
| <i>Eucalipto</i> | 2,879 | 6.54% |
| <i>Falso piñón</i> | 2,300 | 5.23% |
| <i>Guayabo</i> | 1,251 | 2.84% |
| <i>Pino michoacano</i> | 1,127 | 2.56% |
| <i>Naranjo</i> | 952 | 2.16% |
| <i>Cedro blanco</i> | 857 | 1.95% |
| Otras especies | 16,115 | 36.63% |
| Total | 43,995 | 100% |

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

Diversidad biológica del arbolado

Para determinar la composición biológica de los parques y jardines, se calculó el *índice de diversidad del arbolado urbano*. Este es uno de los indicadores de sustentabilidad que la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2010) ha propuesto para alcanzar un modelo de ciudad sustentable.

El procedimiento metodológico consiste en calcular el índice de Shannon-Wiener, medida estadística que se deriva de la teoría de la Información y que se utiliza para medir el grado de complejidad de un sistema. El índice básicamente cuantifica la información en bits que contiene un mensaje reflejando su nivel de organización. En ecología resulta muy conveniente para medir la biodiversidad específica de un ecosistema natural, ya que relaciona la riqueza de especies del área de estudio y su abundancia relativa (Barrera, 2018).

a) Indicador: Índice de diversidad del arbolado urbano

$$H = - \sum_{i=1}^s (p_i \times \log_2 p_i)$$

donde:

H: Índice de Shannon-Wiener

S: Número de especies (riqueza de especies)

p_i: Proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos (abundancia relativa de la especie *i*): *n_i/N*

n_i: Número de individuos de la especie *i*

N: Número de todos los individuos de todas las especies

En los ecosistemas naturales, las puntuaciones oscilan entre 0.5 y 5.0, aunque el rango teórico del índice en realidad varía entre 0.0 y 7.8 unidades. Cuanto más alto sea el valor, la diversidad de especies será más rica y abundante. Mientras que una puntuación baja reflejará escasa diversidad biológica, por lo general, propia de ecosistemas alterados o inducidos.

b) Parámetros de evaluación

Parques y jardines según índice de diversidad del arbolado urbano.

Criterio: bits de información

Cobertura: 178 parques y jardines municipales

Índice de diversidad medio: 3.2

A partir de los cálculos del índice de diversidad del arbolado para cada parque, se establece un promedio que, en este caso, corresponde a 3.2 bits. Entonces, este valor define el umbral para evaluar el nivel de complejidad biológica de las áreas verdes. De acuerdo a la metodología, el criterio mínimo de cobertura es que al menos el 50% de los parques y jardines obtengan el promedio. Sin embargo, el objetivo deseable es alcanzar una cobertura mayor al 75% (ver tabla 3).

Tabla 3. Criterios de evaluación del índice de diversidad

| | | |
|-----------------|------------|----------|
| Objetivo mínimo | Criterio: | 3.2 bits |
| | Cobertura: | > 50% |
| Deseable | Criterio: | 3.2 bits |
| | Cobertura: | > 75% |

Fuente. Elaboración propia con metodología de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2010).

c) Resultados

Al clasificar los índices de diversidad en umbrales de cobertura, resulta que poco más del 43% de los parques se encuentran por debajo de los criterios mínimo de diversidad biológica requerida. Esto significa, por un lado, que la variedad de su masa forestal es limitada y, por el otro, la dominancia de una de las especies.

De acuerdo a los parámetros de evaluación, solo cien de los parques se ubican por encima del criterio de cobertura deseado y con un índice superior al promedio. Lo que se traduce en una cobertura de apenas el 56.2%, que dista mucho de las condiciones óptimas de diversidad biológica establecidas en un rango del 75% o más (ver tabla 4).

Tabla 4. Umbrales del índice de diversidad del arbolado urbano

| Distribución del índice de diversidad por rango | Parques | Diversidad | Cobertura |
|---|---------|------------|--------------|
| Parques por debajo del promedio | 78 | < 3.2 | 43.8% |
| Parques por encima del promedio | 100 | > 3.2 | 56.2% |
| Total | 178 | | |

Fuente. Elaboración propia con metodología de la Agencia de Ecología Urbana de Barcelona (2010).

El déficit en la composición vegetal de los parques incluso es más obvio cuando se considera la distribución de frecuencia del índice de diversidad para cada una de las áreas verdes. La escasa diversidad de un segmento importante de los parques y jardines contrasta con el hecho de que no más del 12% del espacio público presenta un entorno que favorece la riqueza biológica del arbolado urbano (ver tabla 5).

Tabla 5. Distribución de frecuencia del índice de diversidad de los parques urbanos

| Índice de diversidad | Frecuencia | Porcentaje |
|----------------------|------------|------------|
| < 2.2 | 25 | 14% |
| 2.2 - 3.2 | 53 | 30% |
| 3.2 - 4.2 | 78 | 44% |
| > 4.2 | 22 | 12% |
| Total | 178 | 100% |

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

Dominancia de especies

El análisis de cobertura de los índices de diversidad ha dejado en evidencia que la mayoría de los parques y jardines tienden al monocultivo. Al incrementar la abundancia relativa de una especie arbórea dentro de un ecosistema, esta comenzará a dominarlo. De manera que la dominancia de una especie tiene un impacto negativo sobre la diversidad. Así, a mayor dominancia, la diversidad biológica tiende a disminuir.

Las estimaciones indican que en el 80.3% de los parques existe la dominancia de una especie. Esta dominancia se refiere únicamente a cinco de las especies catalogadas: *ficus*, *fresno*, *casuarina*, *eucalipto* y *jacaranda*. Por ejemplo, la especie más dominante es el *ficus*, que se localiza en el 24.7% de las áreas verdes. Le siguen el *fresno*, con el 19.1% y la

casuarina, con el 18.5%; después, el *eucalipto* con 9.6% y, por último, la *jacaranda*, que domina en el 8.4% de los parques (ver tabla 6).

Tabla 6. Dominancia de especies arbóreas

| Especie dominante | Parques | Porcentaje |
|---------------------------------|---------|------------|
| <i>Ficus</i> | 44 | 24.7% |
| <i>Fresno</i> | 34 | 19.1% |
| <i>Casuarina</i> | 33 | 18.5% |
| <i>Eucalipto</i> | 17 | 9.6% |
| <i>Jacaranda</i> | 15 | 8.4% |
| Total parcial | 143 | 80.3% |
| Otras especies o sin dominancia | 35 | 19.7% |
| Total general | 178 | 100% |

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

El nivel de predominio es tan alto que existen parques cuya población está casi por completo compuesta por árboles de la misma especie. Y, como se demostrará en seguida, la uniformidad en la composición de una comunidad ecológica representa una seria amenaza para la integridad de los recursos forestales. Principalmente porque la dominancia de una especie es uno de los factores que intervienen en la propagación de plagas, además de disminuir la calidad ambiental de las áreas verdes.

Distribución del muérdago

Al analizar la distribución espacial del muérdago, descubrimos que alrededor de 8,964 árboles fueron invadidos por esta planta parásita, lo que representa más del 20% del censo forestal. Además, se determinó que la plaga consiguió extenderse al 90% de los parques y jardines del municipio. Basta con decir que en 47 de los parques uno de cada diez árboles presenta infestación, mientras que, en 53 de estos, la proporción se incrementa a uno de cada cuatro. En un tercio de las áreas verdes, al menos el 50% de los especímenes contrajo la plaga. Incluso, en algunos parques, el alcance del contagio varía entre el 75 y el 90% de los árboles (ver tabla 7).

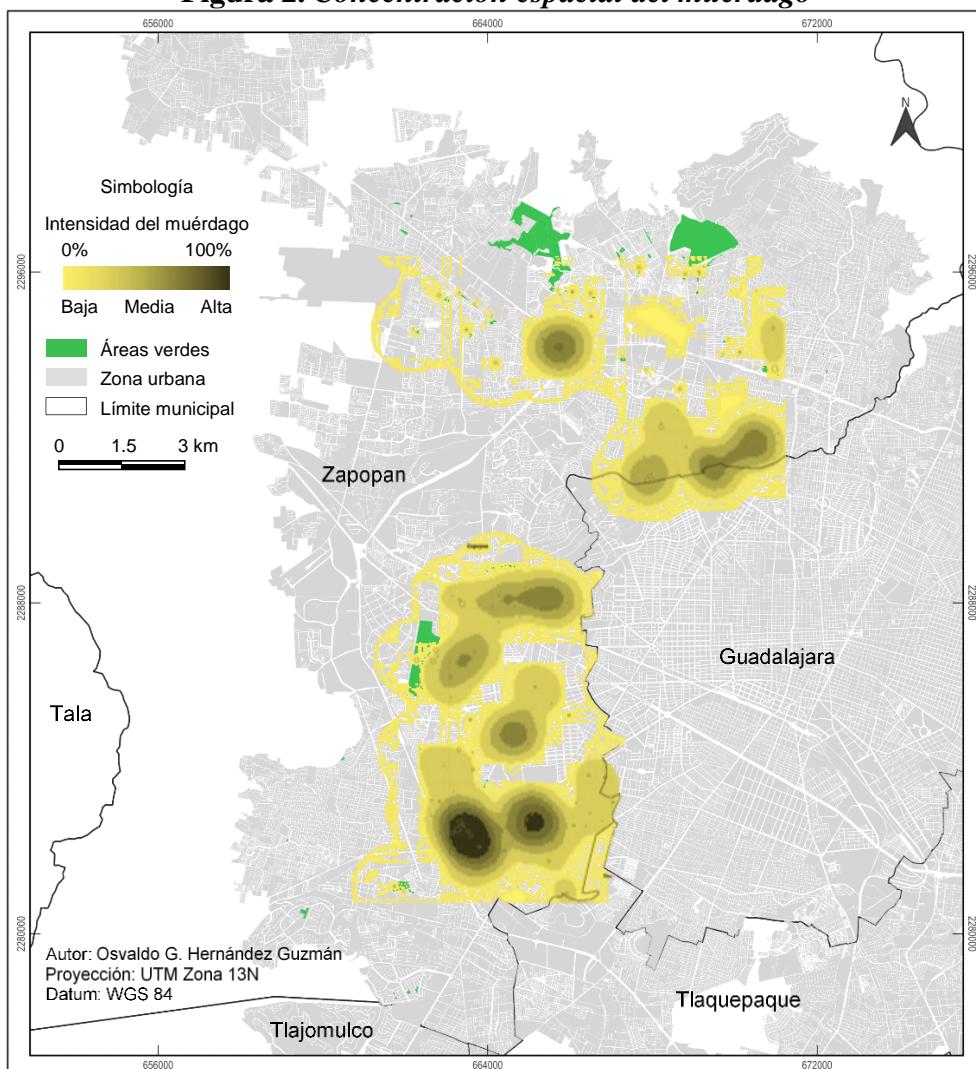
Tabla 7. Distribución de frecuencia del arbolado urbano con muérdago

| Porcentaje de árboles con muérdago | Frecuencia de parques | Porcentaje de parques |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0% | 17 | 10% |
| 10% | 47 | 26% |
| 25% | 53 | 30% |
| 50% | 47 | 26% |
| 75% | 7 | 4% |
| > 75% | 7 | 4% |
| Total | 178 | 100% |

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

El mapa de la distribución espacial del muérdago también corrobora una elevada concentración de la plaga en distintos sectores urbanos. De hecho, se observa que la magnitud e intensidad de las zonas infestadas coincide con los parques y jardines que registraron los índices de diversidad más bajos. Esto indica una conexión profunda entre la dominancia de especies arbóreas y la manera en que se propaga el muérdago. Particularmente, debido a factores geográficos como la proximidad de las áreas verdes que registran una incidencia más alta (ver figura 2).

Figura 2. Concentración espacial del muérdago



Fuente: Elaboración propia a partir del INEGI (2020) y Ayuntamiento de Zapopan (2018).

En realidad, la cercanía a ecosistemas más amplios como el bosque de El Centinela, el bosque del Nixticuil o el parque Metropolitano, que poseen una mayor diversidad biológica, favorece la calidad ambiental de las áreas verdes adyacentes al disminuir el riesgo de plagas o enfermedades.

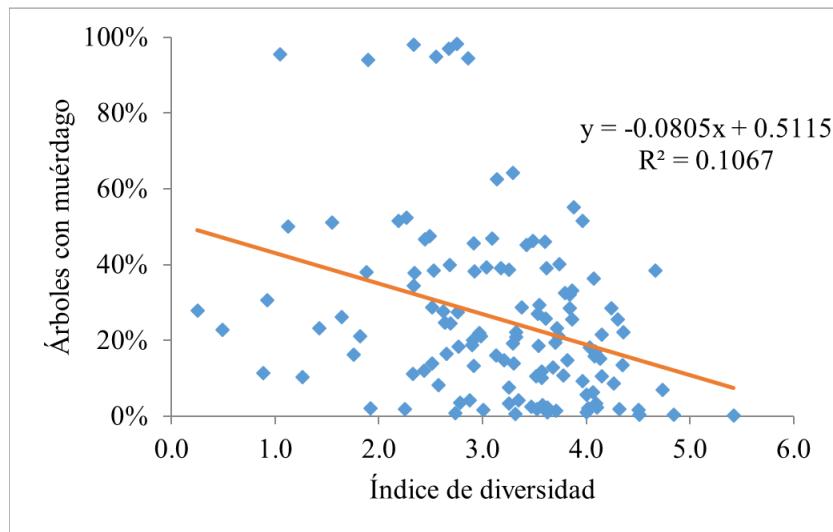
Correlación entre la especie dominante y el muérdago

Como se anticipó, la dominancia de una especie reduce la diversidad biológica y propicia que el hábitat sea más vulnerable a factores de riesgo como la diseminación de plagas o enfermedades. En ese contexto se llevó a cabo un análisis estadístico para determinar la conexión entre la diversidad de especies, la abundancia relativa y la presencia de muérdago.

Se trata del modelo de regresión lineal que mide la relación de dependencia entre un conjunto de variables. Primero se examina el efecto que tiene el índice de diversidad del

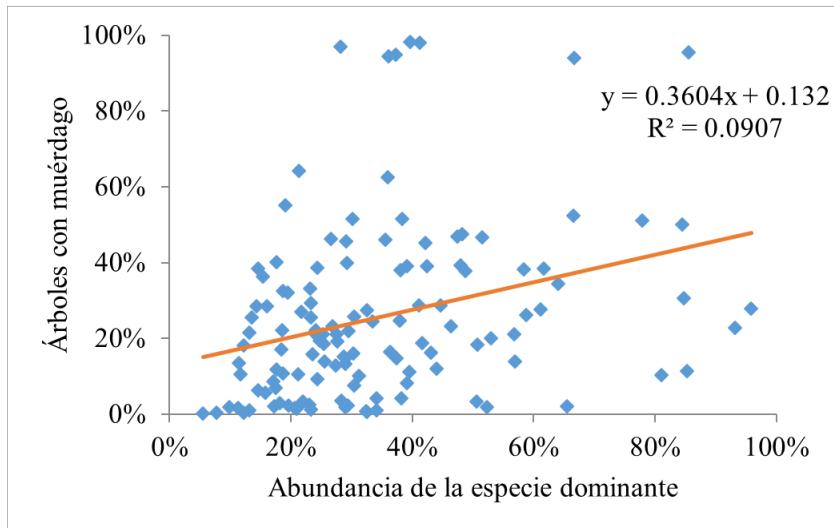
arbolado urbano (variable independiente) sobre la proporción de árboles con muérdago (variable dependiente). Como se observa, el modelo estadístico corresponde a una correlación negativa donde una variable se incrementa y la otra disminuye. En este caso, la tendencia sugiere que, cuanto más diversa sea la comunidad forestal, la presencia de muérdago tiende a disminuir (ver figura 3).

Figura 3. Curva de regresión ajustada del índice de diversidad



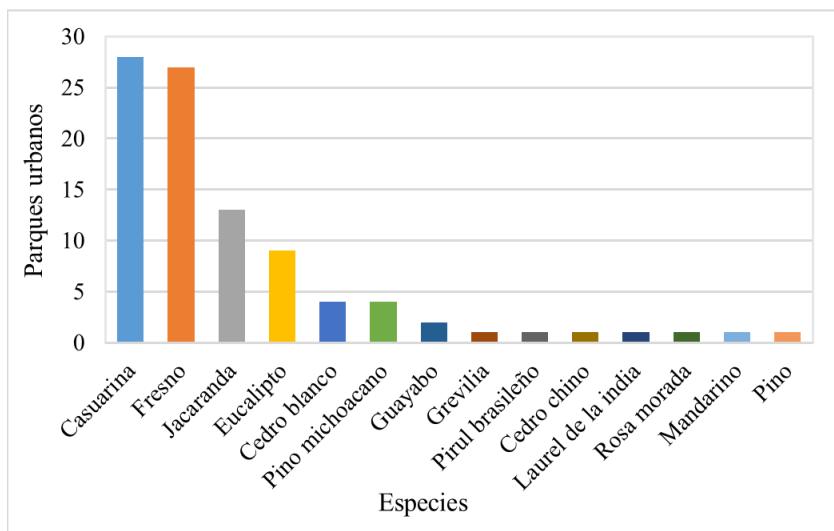
Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

En cambio, al considerar los efectos de la abundancia de las especies dominantes sobre la proporción de árboles invadidos por el muérdago, resulta que la correlación es positiva. En ese sentido, la línea de tendencia confirma el impacto que tiene la dominancia de una especie sobre la propagación de plagas. Ahora, si la especie dominante se incrementa, la relación de árboles con muérdago también lo hará (ver figura 4).

Figura 4. Curva de regresión ajustada de la especie dominante

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

Un examen más detallado que incluye a todos los parques con al menos el 10% de masa forestal invadida por el muérdago reveló que las incidencias más significativas solo involucran a catorce de las especies arbóreas. Entonces, respecto a las especies más propensas a una infestación, se podría decir que el problema de la plaga está focalizado. Particularmente si se considera el hecho de que no más de cuatro especies son las que dominan en el 55% de los parques urbanos (ver figura 5).

Figura 5. Especies arbóreas dominantes asociadas al muérdago

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

De igual forma, el análisis deja ver que el 82% de los parques que registran la presencia de muérdago se vinculan con la especie dominante. Incluso, se pudo determinar

que la fuerza de correlación con la variable dependiente es distinta para cada una de las especies dominantes. Por ejemplo, aunque el *ficus* predomina en la mayoría de las áreas verdes, su abundancia relativa no se asocia directamente con los porcentajes más elevados de muérdago. Lo que sí ocurre con otras especies como el *fresno*, la *casuarina*, el *eucalipto* y la *jacaranda*.

En concreto, en el 79.4% de los parques donde predomina el *fresno* también se registra una gran cantidad de árboles invadidos por el muérdago. De hecho, la cifra se incrementa cuando se trata de la *casuarina* y la *jacaranda*, cuyas proporciones alcanzan entre el 84.8% y el 86.7% de los parques. Para el caso del *eucalipto*, los cálculos indican que el muérdago prospera en cerca del 52.9% de las áreas verdes donde predomina la especie (ver tabla 8).

Tabla 8. Dominancia de especies y presencia de muérdago

| Especie dominante | Parques | Parques donde la especie dominante se asocia al muérdago ¹ | Porcentaje |
|-------------------|---------|---|------------|
| <i>Fresno</i> | 34 | 27 | 79.4% |
| <i>Casuarina</i> | 33 | 28 | 84.8% |
| <i>Eucalipto</i> | 17 | 9 | 52.9% |
| <i>Jacaranda</i> | 15 | 13 | 86.7% |
| Total | 99 | 77 | |

¹ Se refiere a parques con 10% o más del arbolado con muérdago.

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

Además, al aplicar el modelo de correlación múltiple para las cuatro especies dominantes, se confirma la dependencia estadística entre las variables. Con un coeficiente del 58%, se puede decir que la correlación del muérdago con el *fresno*, la *jacaranda*, la *casuarina* y el *eucalipto* es positiva. El modelo estadístico también revela que la fuerza de correlación es de tipo medio y que un incremento en la dominancia de cada especie se corresponde con un incremento en la proporción del muérdago (ver tabla 9).

Tabla 9. Coeficientes de correlación de las especies dominantes y el muérdago

| Especie dominante | Coeficiente de correlación múltiple | Coeficiente de determinación | Coeficientes de regresión |
|-------------------|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------|
| <i>Fresno</i> | | | 0.643 |
| <i>Jacaranda</i> | | | 0.585 |
| <i>Casuarina</i> | | | 0.567 |
| <i>Eucalipto</i> | | | 0.442 |

Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

Al examinar de manera individual las curvas de regresión por especie dominante, se nota que la influencia que ejercen las cuatro especies sobre la distribución del muérdago es ligeramente distinta. Aunque en cada uno de los casos la correlación es positiva, la línea de tendencia en las gráficas varía dependiendo del tipo específico de árbol del que se trate (ver figura 6).

Figura 6. Curva de regresión ajustada por especie dominante

Fig. 6a. Fresno

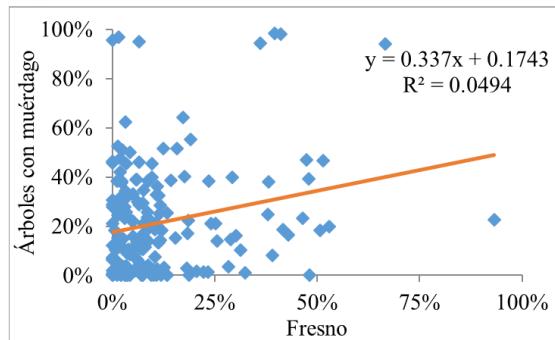


Fig. 6b. Jacaranda

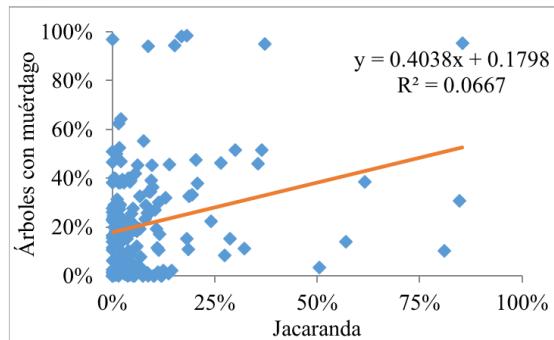


Fig. 6c. Casuarina

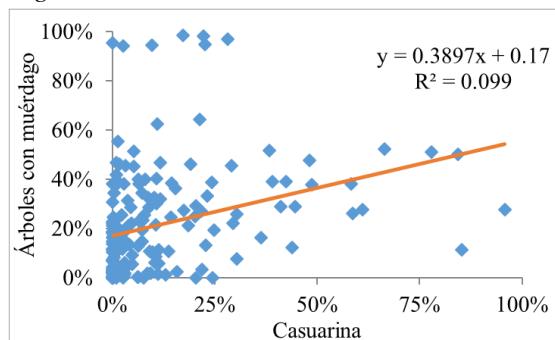
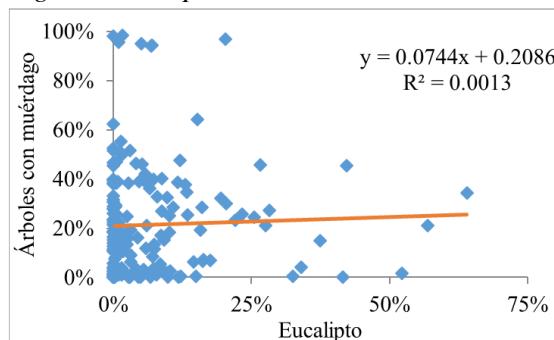


Fig. 6d. Eucalipto



Fuente. Elaboración propia a partir del Censo forestal (Ayuntamiento de Zapopan, 2018).

De acuerdo con el análisis, el coeficiente de regresión del *fresno* se ubica en los 0.64 puntos. Esto significa que, si la proporción de la especie dominante se incrementa solo un 10% en cualquiera de los parques, la invasión del muérdago se extenderá un 6% más sobre la masa forestal. En ese sentido, la relación con la *jacaranda* y la *casuarina* sería del 5% adicional, mientras que el factor para el *eucalipto* aumentaría en el orden del 4% de cobertura.

En definitiva, el diagnóstico demuestra que la dominancia de especies tiene un impacto directo sobre la salud del arbolado urbano. Al aumentar la densidad relativa de organismos de la misma especie, también se incrementa el riesgo de propagación de plagas o enfermedades. Las causas que originan la infestación de un espécimen en particular determinan la de otros.

Más aún si se toma en cuenta que algunos componentes geográficos y ambientales son comunes a todos los parques. A la dominancia de especies hay que sumar la proximidad de las áreas verdes, la cercanía de los árboles, el traslado, dispersión e intercambio de material biológico; así como las condiciones de humedad, precipitación y temperatura específicas del

lugar. Todos estos son componentes que forman parte de una extensa serie de factores que inciden en la propagación del muérdago.

Consideraciones finales

Es indiscutible que las áreas verdes contribuyen con el desarrollo de un ambiente urbano más confortable. Los parques y jardines mejoran la calidad del aire, disminuyen la contaminación atmosférica y regulan la temperatura de las ciudades. Básicamente, son entornos que proveen una diversidad de organismos que sustentan todo un ecosistema. Por lo tanto, la complejidad del hábitat determina la calidad ambiental que estas áreas aportan a la ciudad.

Si bien es cierto que la riqueza de los ecosistemas urbanos depende de un sinnúmero de factores que influyen en la diversidad de especies, también es posible identificar algunos de los que ejercen mayor dominio sobre la complejidad natural de las áreas verdes. Como la extensión de los parques urbanos, la conectividad de la red verde y la distancia al hábitat fuente.

El primero de ellos se relaciona con el vínculo entre la calidad ambiental de las áreas verdes y su biodiversidad. Por ejemplo, se espera una diversidad mayor en los grupos taxonómicos a medida que aumenta la cobertura forestal. Pero, la superficie de las áreas verdes es sólo una parte de la ecuación. Otros elementos esenciales son la conexión de la red verde mediante corredores lineales que favorecen la densidad del arbolado y, por supuesto, la proximidad con el hábitat fuente donde se origina los procesos biológicos de dispersión.

Desde un punto de vista espacial, la interacción de los parques urbanos se establece a través de vínculos donde intervienen principios como la articulación del territorio, la accesibilidad, la conectividad, la densidad y la difusión espacial. Por ello, la capacidad para albergar diversos grupos tróficos depende de la conexión con los ecosistemas que rodean la ciudad.

Entonces, la proximidad de las áreas verdes facilita a los nuevos organismos la colonización de distintos nichos ecológicos. Así que el contacto y la intensidad de los desplazamientos elevan la funcionalidad de los parques, al mismo tiempo que incrementan su potencial para acoger una diversidad biológica más amplia.

Por consiguiente, describir los atributos de una comunidad ecológica a partir de su composición específica, riqueza de especies, diversidad biológica, patrón de abundancia relativa y dominancia de especies, constituye el primer paso para descifrar la dinámica de los procesos ecológicos del entorno urbano.

Al evaluar la calidad ambiental de las áreas verdes en Zapopan, se hizo evidente que el municipio enfrenta una serie de conflictos que vulneran el ecosistema urbano. La falta de un programa de gestión integral del arbolado ha propiciado el deterioro de los espacios públicos. En buena medida, los programas de reforestación que han optado por el monocultivo contribuyeron con la propagación del muérdago. Al reducir la biodiversidad de los parques y jardines, las especies dominantes están más expuestas a una rápida infestación.

Como se observó, el 20% de los árboles se encuentran invadidos por el muérdago y en algunos casos, hasta el 90% de la masa forestal de los parques llega a verse afectada. El análisis de la diversidad biológica del arbolado urbano y la distribución del muérdago confirmó que el predominio de especies como el *fresno*, la *jacaranda*, la *casuarina* y el *eucalipto* se relaciona con elevadas concentraciones de la plaga.

Afectaciones como esta, que reducen considerablemente la calidad ambiental de las áreas verdes, nos hacen reflexionar sobre la importancia de incluir criterios de sustentabilidad en la organización de los espacios urbanos. Instrumentos de análisis como el *índice de diversidad del arbolado* son herramientas que evalúan la complejidad de los ecosistemas. De ahí que los indicadores de sustentabilidad no solo proporcionan información valiosa para la gestión del territorio, sino que también son un recurso muy útil para la creación de políticas que fomenten la conservación de zonas con alto valor ambiental para la ciudad.

En la práctica, la salud de los ecosistemas urbanos se encuentra estrechamente ligada a factores como la preservación de la biodiversidad, el vigor de la flora y fauna, los beneficios ambientales, la salud humana, el manejo de los recursos naturales, la sustentabilidad de la ciudad y la resiliencia frente al cambio climático.

Por lo tanto, impulsar iniciativas que aseguren una correcta gestión forestal, establecer corredores verdes que promuevan la integración de los ecosistemas urbanos y regular el crecimiento excesivo de la ciudad incrementará notablemente la calidad ambiental de las áreas verdes que las ciudades latinoamericanas tanto requieren.

Bibliografía citada

- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2010). *Plan de Indicadores de Sostenibilidad Urbana de Vitoria-Gasteiz*. Vitoria-Gasteiz: Departamento de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.
- Anaya, C. M. (2001). *Las áreas verdes en el contexto urbano. Estudio de caso: Ciudad de Guadalajara* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Anaya, C. M., y Cruz, S. H. (2015). La complejidad urbana y el espacio público recreativo en Guadalajara. En S. Peniche, y M. Romero (Coord.), *Interdisciplina y pensamiento sistemático. El abordaje de la complejidad y la incertidumbre* (pp. 207-229). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Ayuntamiento de Zapopan. (2018). *Censo forestal*. Base de datos proporcionada por la Dirección de Transparencia y Buenas Prácticas. A través de: transparencia@zapopan.gob.mx.
- Ayuntamiento de Zapopan. (2015). *Reglamento de la Administración Pública Municipal de Zapopan, Jalisco*. Zapopan: Gaceta Municipal.
- Barrera, M. (28 de 02 de 2018). Estimación de la diversidad específica. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata: Cátedra de Ecología de Comunidades y Sistemas. Consultado el 27 de noviembre de 2023, de <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3.pdf>
- Buzai, G. D. (2015). Conceptos fundamentales del análisis espacial que sustentan la investigación científica basada en geotecnologías. En: Fuenzalida, M.; Buzai, G. D.; HorizonTes Territoriales, Vol. 5, Núm. 10, julio-diciembre 2025. Páginas: 1-24. ISSN: 2683-2895.

- Moreno Jiménez, A.; García de León, A. (Coord.), *Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones* (pp. 56-72). Santiago de Chile: Editorial Triángulo.
- Dirección de Medio Ambiente de Guadalajara. (2018). Inventario de Arbolado LIDAR. Ayuntamiento de Guadalajara. Consultado el 23 de octubre de 2018, de <http://mapa.guadalajara.gob.mx/geomap>
- Fadigas, L. (2009). La estructura verde en el proceso de planificación urbana. *Ciudades. La naturaleza en la ciudad: lugares y procesos*, (12), 33-47.
- Fideicomiso para la Administración del Programa de Desarrollo Forestal de Jalisco [FIPRODEFO]. (2018). *Programa de ordenamiento de arbolado y áreas verdes urbanas 2018*. Guadalajara: FIPRODEFO-IIEG.
- Gobierno del Estado de Jalisco. (2017). *Ley de Protección, conservación y fomento de arbolado y áreas verdes urbanas del Estado de Jalisco y sus Municipios*. Guadalajara: Congreso del Estado de Jalisco.
- Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara [IMEPLAN]. (2016). *Plan de Ordenamiento Territorial Metropolitano del AMG*. Guadalajara: POTmet, IMEPLAN.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Conjunto de datos vectoriales y Marco Geoestadístico Nacional*. Consultado el 10 de junio de 2023, de https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/marcogeo/889463807469/14_jalisco.zip
- Miranda, V. C. E. (1997). Lo ambiental desde la perspectiva filosófica [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- Ramírez, Q. A. I, Torres, S. P., y Pérez, P. O. (2015). Enfoque sistémico aplicado a la gestión de los parques y áreas naturales urbanas y rurales. En Peniche, C. S. y Romero, M. M. G. (Coord.), *Interdisciplina y pensamiento sistémico. El abordaje de la complejidad y la incertidumbre* (pp. 109-119). Guadalajara: Universidad de Guadalajara.
- Salvador, P. P. J. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. Barcelona, España: Editorial Gustavo Gili.