



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

Modalidad: Monografía

LOS ÁRBOLES COMO INDICADORES DE LA
CONTAMINACION AMBIENTAL EN LAS CIUDADES

Docampo, Rodrigo

DNI: 31.451.476

Director: Ing. Forestal MSc. Demaestri, Marcela Alejandra

Río Cuarto-Córdoba

Abril, 2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Título del Trabajo Final: “LOS ÁRBOLES COMO INDICADORES
DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LAS CIUDADES”**

Autor: Docampo Rodrigo
DNI: 31.451.476

Director: Ing. Forestal *MSc.* Demaestri Marcela Alejandra

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión
Evaluadora:

Brandana, Gisela _____

Tarico, Juan Carlos _____

Demaestri, Marcela A. _____

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Secretaría Académica (Mic, Msc., Daniela Zubeldia) – FAV, UNRC

AGRADECIMIENTOS

A mi profesora Marcela Demaestri, quien ha demostrado que además de ser una docente con vocación, es una excelente persona, paciente que manifestó en todo momento su predisposición para ayudarme a concluir este trabajo.

A mi mamá, María Rosa Donalizio, por apoyarme desde un principio en esta carrera y por hacerlo aun cuando el camino fue largo.

A la Ingeniera Ángela Villademoros, por su predisposición para brindarme cuanta información fuere necesaria para avanzar en la investigación, aportando valiosa fuente bibliográfica, conocimiento, contactándose con personas idóneas de otros países, manifestando permanentemente su apoyo.

A mis Pastores José y Silvia de Alfonso, por sus palabras de ánimo, su apoyo incondicional y por ayudarme a ver que la carrera es algo importante pero que es solo una parte de mi vida, y que está vinculada a un propósito mayor.

A mi novia y pronto futura esposa Stefani Alfonso, por apoyarme, entenderme y acompañarme en esta etapa.

A cada compañero de la Facultad, fueron varios los que tuvieron parte en esto, los compañeros de estudio, los que me pasaban sus apuntes, en fin, muchos. Ellos hicieron que el camino sea entretenido, y me enseñaron a reír aun en los momentos de preocupación. Me llevo muchos lindos recuerdos.

Pero por sobre todas las cosas, le doy gracias a Dios por permitirme estudiar esta hermosa carrera y por darle un sentido y propósito a mi vida.

INDICE

RESUMEN	VI
SUMMARY	VII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
MATERIALES Y MÉTODOS	4
ANTECEDENTES.....	7
Importancia y beneficios de los árboles	7
Contaminación urbana.....	15
Bioindicadores.....	16
Relevamiento fotográfico	35
Entrevistas.....	45
Censo de especies del arbolado urbano de Río Cuarto	49
Ordenanza 558/17del Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto	50
CONCLUSIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	55
ANEXOS	59
ANEXO 1	59
Planificación y cuidados del arbolado urbano	59
ANEXO 2	63
Plantación	63
ANEXO 3	64
Características generales de los árboles	64

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura 1.</u> Beneficios de los árboles	207
<u>Figura 2.</u> Concentración de Plomo (Pb) asociado al factor especie	20
<u>Figura 3.</u> Concentración de Pb correspondiente a los factores temporada-sitio.....	20
<u>Figura 4.</u> Concentración de Vanadio asociado al factor temporada.....	20
<u>Figura 5.</u> Concentración de Titanio asociado al factor especie.....	20
<u>Figura 6.</u> Concentración de Cobalto asociado al factor especie.....	21
<u>Figura 7.</u> Concentración de Vanadio asociado al factor especie.....	21
<u>Figura 8.</u> Concentración de Cobre correspondiente a los factores temporada-sitio.....	21
<u>Figura 9.</u> Concentración de Cobalto correspondiente a los factores temporada-sitio.....	2211
<u>Figura 10.</u> Concentración de Níquel, asociado al factor especie	21
<u>Figura 11.</u> Concentración de Cobre asociado al factor sitio	21
<u>Figura 12.</u> Efecto de la polucion en las hojas de <i>Ligustrum lucidum</i>	23
<u>Figura 13.</u> Alteración estomática en tres especies arboreas expuestos a contaminación	24
<u>Figura 14.</u> Lesión en <i>Quercus rubra</i> causada por 2,4 D	30
<u>Figura 15.</u> Daño típico por ozono en <i>Trifolium repens</i>	33
<u>Figura 16.</u> Tétradas tempranas y con un micronúcleo en Tradescantia.....	34
<u>Figura 17.</u> Folíolos normales y reducidos de <i>R. pseudoacacia</i>	36
<u>Figura 18.</u> Aspecto general de <i>Melia azedarach</i>	36
<u>Figura 19.</u> Foliolos afectados en ejemplar de <i>R. pseudoacacia</i>	37
<u>Figura 20.</u> Estrato inferior de la copa de <i>R. pseudoacacia</i> con reducción de foliolos	37
<u>Figura 21.</u> Foliolos normales y reducidos en la misma ramificación	38
<u>Figura 22.</u> Aspecto general en ejemplar de <i>M. azedarach</i> afectado, ubicado en zona Oeste .	38
<u>Figura 23.</u> Reducción foliar de <i>M. azedarach</i>	39
<u>Figura 24.</u> Aspecto general de <i>M. azedarach</i> afectado, ubicado en zona Este	39
<u>Figura 25.</u> Reducción de Foliolos de <i>M. azedarach</i>	40
<u>Figura 26.</u> Aspecto general de <i>M. azedarach</i> , ubicado frente a un colegio	40
<u>Figura 27.</u> Hoja normal y reducida foliar del mismo ejemplar de <i>R. pseudoacacia</i>	41
<u>Figura 28.</u> Aspecto general de <i>R. pseudoacacia</i> , ubicado en el campus de la UNRC	41
<u>Figura 29.</u> Hojas normales y reducidas de <i>R. pseudoacacia</i> en la misma ramificación	42
<u>Figura 30.</u> Aspecto general de <i>M. azedarach</i> , Campus UNRC	42
<u>Figura 31.</u> Hojas normales y reducidas de <i>M. azedarach</i> , en la misma ramificación.....	43
<u>Figura 32.</u> Folíolos normales y reducidos de <i>M. azedarach</i> . Campus UNRC	43
<u>Figura 33.</u> Folíolos normales y reducidos de <i>M. azedarach</i> en la misma ramificación.....	44
<u>Figura 34.</u> Estado del arbolado urbano en el sector macro centro de Río Cuarto.....	44
<u>Figura 35.</u> Estado del arbolado urbano en el sector macro centro de Río Cuarto.....	50

RESUMEN

La ciudad, está conformada por un gran número de elementos, los cuales se conectan directa o indirectamente y dan como resultado aquello que perciben nuestros sentidos y los árboles son fundamentales dentro de este sistema para que el mismo sea apto, habitable, agradable y saludable aportando un gran número de beneficios. En Río Cuarto, se observaron en varios ejemplares una reducción foliar importante en las ramificaciones del estrato inferior de las copas de dos especies: *Meliaazedarach* y *Robinia pseudoacacia*. Por ello surge la inquietud de investigar la causa de estas manifestaciones teniendo como antecedentes que los árboles pueden ser excelentes bioindicadores, es decir, organismos capaces de detectar y manifestar la presencia de distintos contaminantes, contribuyendo de este modo a tomar las medidas necesarias, ya sea de mitigación y/o poner límite a la fuente generadora en caso de ser posible.

El objetivo de este trabajo, fue identificar especies de árboles empleadas como indicadoras de contaminación ambiental e identificar especies mitigadoras y cualesse encuentran presentes en nuestra ciudad; además de realizar una revisión de los métodos para detectar la contaminación. Para ello se realizó una lectura minuciosa de publicaciones en relación al tema, analizando los aspectos más relevantes; se realizó un relevamiento fotográfico de aquellos ejemplares presentes en la ciudad que manifestaban probables síntomas y se realizaron entrevistas a personas calificadas, de nuestra ciudad, de Argentina y otros países de América. La contaminación si bien no es un problema reciente, se ha intensificado en los últimos 200 años producto de múltiples causas antropogénicas, influyendo negativamente en la calidad de vida de sus habitantes.

Podemos afirmar, los árboles son organismos que detectan la contaminación manifestando distinto grado de susceptibilidad o tolerancia a los distintos contaminantes y además de ser una excelente herramienta para mitigarla. También hay plantas no vasculares empleadas como bioindicadoras.

Palabras clave: árboles bioindicadores- contaminación- *Meliaazedarach*- *Robinia pseudoacacia*-mitigación.

SUMMARY

The city is formed by a huge number of elements which are connected in different ways and we can perceive them with our senses. The trees are essential in this system and they provide us plenty of benefits, making a place habitable, pleasant and healthy.

In Rio Cuarto, an important foliar reduction was observed in several specimens in the branches of the lower layer of the canopies of two species: *Meliaazedarach* y *Robiniapseudoacacia*. This is why there is a concern to investigate the cause of these manifestations based on the fact that trees can be excellent bioindicators, that is, organisms capable of detecting and manifesting the presence of different pollutants, thus contributing to take the necessary measures, either mitigation and / or limit the generating source if possible.

The objective of this work was to identify tree species used as indicators of environmental contamination and identify mitigating species and which are present in our city; In addition to a review of methods to detect pollution. To this end, a thorough reading of publications was carried out in relation to the topic, analyzing the most relevant aspects; a photographic survey was made of those specimens present in the city that showed probable symptoms and interviews were conducted with qualified people from our city, Argentina and other countries of America.

Pollution, although not a recent problem, has intensified in the last 200 years due to multiple anthropogenic causes, negatively influencing the quality of life of its inhabitants. Trees are organisms that detect pollution, manifesting a different degree of susceptibility or tolerance to different pollutants and they are also an excellent tool to mitigate it. There are also non-vascular plants used as bioindicators.

Keys Words: Trees bioindicators- Pollution- *Meliaazedarach*-
Robiniapseudoacacia-Mitigation.

INTRODUCCIÓN

En general las personas no valoran la existencia de la vegetación en la ciudad y mucho menos conocen sus beneficios (Rangel Mora, 2004). Los árboles, son una pieza fundamental, haciendo a las ciudades habitables en términos ambientales, ya que de ellos depende la vida en la tierra purificando el aire, y aportando oxígeno esencial para la vida, entre otras funciones. La ciudad es el lugar donde habitamos y tenemos el derecho y la responsabilidad de participar en su mejoramiento continuo y la forestación es una estrategia dentro de un marco integrado para lograrlo (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Los árboles son organismos muy versátiles ya que pueden realizar muchas funciones y poseen la capacidad de sobrevivir a una amplia gama de condiciones de manera eficaz y eficiente. La efectividad del arbolado urbano en la calidad ambiental está en función de varios factores, como el área verde por habitante (Mahecha Vega *et al.*, 2010). El artículo 13, capítulo 3 de la Ley de ordenamiento territorial y uso del suelo, determina que “los espacios verdes o libres públicos de un núcleo urbano serán dimensionados en base a la población potencial tope establecida por el Plan de Ordenamiento para el mismo, adoptando un mínimo de diez metros cuadrados (10 m²) de área verde o libre por habitante” (Decreto-Ley 8912/77, poeia de Bs. As.). Otros aspectos, como la conectividad entre las mismas, esto es la continuidad del arbolado en las calles y avenidas, que se conectan y articulan con el espacio verde circundante de la ciudad, garantizando la sostenibilidad de la estructura ecológica y biológica; la capacidad de las especies para absorber o transformar agentes contaminantes del aire ya que cada especie posee distintas facultades, y el diseño y plantación de las especies ya que si este no es adecuado, no solo no cumpliría la función para lo cual se la emplea, sino que también puede intensificar los resultados contrarios (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

La urbanización y la industrialización han generado y dispersado en el medio ambiente la presencia de diversas sustancias nocivas y que, por su grado de peligrosidad, ponen en riesgo la salud humana y de la vegetación, por ello es útil el empleo de líquenes, cultivos agrícolas, plantas ornamentales, y especies arbóreas como bioindicadores (Alcalá *et al.*, 2008).

Distintos estudios citan algunas especies de árboles ornamentales consideradas como bioindicadoras. En Valencia, España se citan *Brachychiton populneum* “Brachichito”, *Celtis australis* “Almez” y *Quercus ilex subsp. ilex* “Encina” (Ferriol *et al.*, 2014). En Chihuahua (México) se utilizaron 4 especies de hojas caducas: *Melia azedarach* “Paraíso”, *Fraxinus* spp.

“Fresno”, *Morus*spp. “Mora”, *Plátanusoccidentalis*“Plátano” y *Cupressusarizonica* “Ciprés de Arizona” de hojas perennes (Alcalá *et al.*, 2008).

En la ciudad de Córdoba (Argentina) se realizó un estudio que reveló el efecto de la contaminación ambiental en la anatomía de las hojas de *Ligustrumlucidum* “siempreverde”; esta especie posee una sensibilidad significativa ante la contaminación del aire, manifestándolo con síntomas reconocibles (Bruno *et al.*, 2007).

En Río Cuarto, provincia de Córdoba, en los últimos años, se observa llamativamente una reducción y deformación foliar en algunas especies arbóreas, *R.pseudoacacia* “acacia blanca”, *M.azedarach*“Paraíso” y *Acer negundo* “Acer”. Estos signos podrían estar manifestando la presencia de algún factor contaminante en el suelo, agua o aire.

Para ampliar y encontrar fundamentos sobre este tema y la problemática vinculada, se desarrolló el presente trabajo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar e identificar especies vegetales empleadas como indicadoras para la detección de la contaminación ambiental en las ciudades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Investigar cuales son las especies arbóreas más relevantes para mitigar los problemas de contaminación según tipo de contaminantes.
- 2 Relevar los métodos posibles para detectar problemas de contaminación ambiental.
- 3 Investigar otras especies como posibles indicadoras y mitigadoras de la contaminación.
- 4 Investigar cuales son las especies arbóreas presentes como posibles indicadores de contaminación ambiental en nuestra ciudad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El clima en la Ciudad de Río Cuarto, provincia de Córdoba es templado subhúmedo con estación invernal seca, con un régimen de precipitaciones monzónico, con un promedio anual de 700/800 mm. La ocurrencia de accidentes orográficos dados por el relieve determina altas intensidades de precipitación, granizo y la frecuencia de vientos constantes de direcciones variable y de alta intensidad (Seileret *al.*, 1995).

El campo de estudio está referido al problema de contaminación especialmente del aire, las formas de mitigación de la misma, el uso de bioindicadores, los métodos para detectar la contaminación y el uso de árboles y de otras especies que pueden utilizarse como indicadoras. Para ello, se planteó un trabajo monográfico, basado en búsqueda bibliográfica a través de páginas de Internet. Se recurrió a buscadores virtuales disponibles en el Sitio Web de la Biblioteca Central de la UNRC, Biblioteca electrónica de Ciencia y Tecnología, Scopus, Scielo (Scientific Electronic Library Online), Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal). También se realizó la búsqueda en libros, revistas y otros links de interés.

Para responder a los primeros tres objetivos específicos, se planteó la metodología 1:

1- Se realizó una lectura minuciosa de aquellas publicaciones y/o trabajos pertinentes al tema propuesto, analizando y extrayendo los aspectos más relevantes. Si bien se planteó la lectura de documentos de los últimos 10 años, también fueron usadas referencias bibliográficas de mayor antigüedad, cuando se consideraron como un aporte importante a la investigación, lo que fue plasmado en los antecedentes.

Para responder al objetivo específico 4, se planteó la metodología 2, 3, 4 y 5:

2- Se realizó un relevamiento fotográfico en la ciudad de Río Cuarto de aquellos árboles con signos que se supone estén afectados por algún tipo de contaminación de acuerdo a descripciones obtenidas de la bibliografía consultada.

3- Se elaboraron entrevistas, las cuales fueron enviadas a personas calificadas en la temática, de la ciudad de Río Cuarto, de otras ciudades de Argentina y de otros países. Algunos de los entrevistados, autores de las publicaciones analizadas fueron contactados por correo electrónico y otros por telefonía móvil. Se realizaron dos tipos de entrevista, una destinada al Responsable del Área de Espacios Verde de la ciudad de Río Cuarto y la otra destinada a personas con experiencia en especies bioindicadoras, de otras ciudades y países.

La entrevista realizada al Responsable del área verde de la ciudad de Río Cuarto, se basó en las siguientes preguntas:

1. ¿Conoce cuáles son las especies presentes en el arbolado urbano de la ciudad de Río Cuarto?
2. ¿Cuáles son las que aparecen con mayor frecuencia?
3. ¿Qué criterios se usan para la elección de las mismas?
4. ¿Ha observado alguna anomalía en el desarrollo de alguna especie en particular que se repita con frecuencia?
5. En caso de ser afirmativa la pregunta anterior:¿Qué especies son? ¿Qué síntoma expresan? ¿Tiene conocimiento acerca de cuál es el motivo que lo genera?
6. ¿Tiene conocimiento de las especies bioindicadoras?
7. ¿Sabe dónde se usan y con qué fin?
8. En caso de tener conocimiento, ¿se ha tenido en cuenta esta característica a la hora de seleccionar las especies para la planificación urbana?

La entrevista realizada a personas calificadas de otras provincias y del extranjero fue la siguiente:

1. ¿Tiene conocimiento sobre la presencia de árboles u otras especies que actúan como bioindicadoras de la contaminación ambiental? ¿Cuáles?
2. ¿Cuál es la función y la importancia de las mismas?
3. ¿Tiene conocimiento acerca del empleo de las mismas en su ciudad? En caso de ser afirmativa la pregunta anterior, ¿Qué especies utilizan?
4. ¿Cuál es el tipo de contaminante detectado?
5. Una vez identificado el inconveniente, ¿se plantean medidas para mitigar ésta problemática?
6. ¿Se conoce o se presume cuál/cuáles son las fuentes que generan dicha contaminación?
7. ¿Conoce antecedentes de otros países que tengan en cuenta a las especies bioindicadoras en la planificación del arbolado de su ciudad?
8. ¿Tiene conocimiento acerca de las medidas de mitigación utilizadas en caso de haber detectado algún problema de contaminación?

9. ¿Podría recomendar alguna fuente bibliográfica que profundice esta temática?

4- Se utilizó como información, el relevamiento de las especies arbóreas de la ciudad de Río Cuarto (Sommaet *al.*, 2017) a fin de poder detectar cuáles podrían ser útiles como bioindicadoras y/o mitigadoras de contaminación y analizar la posibilidad de incorporar otras especies que sean utilizadas en diferentes lugares del mundo y que se adapten a las condiciones ambientales de la ciudad.

5- También se usó la información publicada en la Ordenanza 558/17 del Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto que establece las especies recomendadas, prohibidas y permitidas para colocar en veredas y avenidas de la ciudad (Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto, 2017).

ANTECEDENTES

Importancia y beneficios de los árboles

A medida que el desarrollo urbano ha ido avanzando, ha sido necesario contemplar junto con su expansión, la planificación e incorporación de especies arbóreas a fin de mejorar las condiciones ambientales, estéticas y en algunos casos cubrir los requerimientos de combustible y alimentación.

Los árboles forman una parte fundamental del paisaje, presentando múltiples beneficios (Fig. 1). Estos pueden crecer, desarrollarse y dominar en una gran diversidad de ambientes en el planeta a excepción de los polos e islas árticas y antárticas y extremos desiertos. Lamentablemente en los últimos tiempos se han destrozado áreas forestadas por falta de conocimiento y manejo inadecuado, trayendo consecuencias graves como erosión, desertificación, pérdida de la biodiversidad, entre otros (Cané, 2008).



Figura 1. Beneficios de los árboles

Los árboles son los organismos vivos más grandes, resistentes y longevos que habitan en el planeta y ofrecen gran cantidad de beneficios directos e indirectos principalmente servicios ambientales y ecológicos que contribuyen al bienestar del ciudadano (Rivas Torres, 2015). “La única razón factible de que el ser humano se ensañe en contra de la vegetación es que no conozca el valor que implica su existencia y la ductilidad de funciones que cumplen” (Rangel Mora, 2004). Anexo 3

Entre los beneficios que ofrecen los árboles, están los económicos, ya que reducen el consumo de energía hasta en un 30% refrescando en verano y permitiendo el paso de luz en invierno en el caso de las especies caducas al producir sombreado en las edificaciones en los

meses cálidos. En el estado de California se realizó un estudio en el que se evidenció una reducción en la necesidad de energía eléctrica para residenciales en 6,9% del total. Si están correctamente ubicados, aumentan el valor de las propiedades entre un 5-20% (Rivas Torres, 2015; International Society of Arboriculture, 2002; Mahecha Vega *et al.*, 2010 y Lell, 2006).

Los árboles pueden generar beneficios en la salud y en el bienestar de la sociedad (Mahecha Vega *et al.*, 2010). Si la distribución es adecuada, pueden amortiguar los sonidos molestos, para ello hay que diseñar barreras de 6 a 16 metros combinando especies de distinto porte, de follaje denso, permanente y con distintas formas, colocadas cerca de la fuente emisora. Cuando las ondas sonoras atraviesan una masa de vegetación, pierden intensidad y esa pérdida va a estar en función a la composición, arreglo y densidad contribuyendo además a absorber olores desagradables (Mahecha Vega *et al.*, 2010, Rivas Torres, 2015 y Rangel Mora, 2004). Mejoran la salud física, emocional y mental, son pedagógicos, su presencia ayuda a la liberación de las tensiones febriles producto de distintas situaciones que se viven en las calles de una ciudad, a través de la diversificación de los paisajes, generan sensaciones de placer, frescura, belleza, recreación (Rangel Mora, 2004 y Mahecha Vega *et al.*, 2010). El verde hace que el nivel de estrés se vea reducido, induciendo calma y tranquilidad. En los hospitales se ha observado una pronta recuperación de sus pacientes luego de una cirugía cuando desde sus habitaciones se observan árboles (International Society of Arboriculture, 2002 y Rivas Torres, 2015), mejoran el comportamiento de los niños con problemas de atención y al brindar espacios de recreación, disminuyen la violencia juvenil (Rivas Torres, 2015).

Se estima que un árbol con área foliar de 1000 m² libera aproximadamente 1,5 kg de O₂ por día, cubriendo el requerimiento de 5 personas. Filtra, retiene e inmoviliza micro-partículas nocivas para el sistema respiratorio, que promueven el desarrollo de alergias y otras que son cancerígenas (Lell, 2006). Mejoran la condición del aire, reteniendo y/o alterando contaminantes a través de distintos mecanismos, uno de ellos es la fotosíntesis, donde sus hojas absorben el CO₂ a través de los estomas, luego lo incorpora a los cloroplastos, donde junto con la luz en un proceso de cadena de electrones y el ciclo de fijación de carbono, transforman el CO₂ y el agua en glucosa, fructosa, sacarosa y almidón, utilizándolo para formar su propia estructura, como fuente de energía (Mahecha Vega *et al.*, 2010); y en otras funciones de las plantas donde el carbono es almacenado en su biomasa (International Society of Arboriculture, 2002; Mahecha Vega *et al.*, 2010), además de ser depositado en el suelo, o pasa a formar parte de los productos que de ella se obtienen, guardándolo tanto tiempo como vida útil tenga el mismo (Linares, 2013), mientras que el O₂ es liberado a la atmósfera (Rangel Mora, 2004). Un diámetro de 77 cm consume 3 toneladas métricas de carbono aproximadamente (Mahecha Vega *et al.*, 2010), un m³ de hojas de un árbol, produce

aproximadamente 1 kg de O₂/h, a través del proceso de la fotosíntesis (Rangel Mora, 2004); Además, retiene y absorbe contaminantes gaseosos como el SO₂ y el NO₂ y distintas partículas que se encuentran en suspensión a través de los estomas (Mahecha Vega *et al.*, 2010), O₃, CO, de este modo, contribuye a mejorar la salud del ciudadano ya que reduce la contaminación ambiental que provoca infecciones, enfermedades respiratorias y de la piel, y problemas psicológicos (International Society of Arboriculture, 2002). Muchos contaminantes se encuentran en altas concentraciones dentro del aire urbano, y son el producto de múltiples actividades como ser la industrial, los vehículos, el transporte, las actividades agrícolas, quema de desechos, entre otras (Rivas Torres, 2015), y una vez dentro de las plantas, se difunden por los espacios intercelulares y pueden ser absorbidos por agua y formar ácidos o reaccionar en las superficies internas de las hojas (Mahecha, 2010; Rangel Mora, 2004), reduciendo de este modo, la concentración de CO₂ y otros gases nitrosos y sulfurosos, de allí que asuman el nombre de “sumideros de carbono” (Rivas Torres, 2015). Es a través de todos estos procesos que las plantas reducen los gases que aumentan el efecto invernadero (Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, 2007 y Mahecha Vega *et al.*, 2010) y por ende, el calentamiento global (Mahecha Vega, *et al.*, 2010).

Las partículas que se encuentran en suspensión como polvo, arena, cenizas, polen, humo, son capturadas por el tallo y las hojas, filtrando el aire que pasa por sus copas, adquiriendo por ello la denominación de “pulmones verdes” (Rivas Torres, 2015 y Mahecha Vega *et al.*, 2010) y son envueltas posteriormente por el agua que se encuentra en estado gaseoso, producto de la evapotranspiración de las hojas, y posteriormente, son lavadas por las precipitaciones, incorporándose al suelo (Mahecha Vega *et al.*, 2010). Es decir que mitigan el impacto ambiental generado por el desarrollo humano, aminoran el efecto de contaminación atmosférica urbana generada por el tránsito vehicular, la calefacción de las viviendas y los procesos industriales a través de la intercepción y absorción estomática principalmente, mejorando de este modo la calidad del aire (Ferriole *et al.*, 2014) y restaurando los suelos dañados (Alcalá *et al.*, 2008).

El equipo de la Universidad del Departamento de Física y Astronomía de Leicester encontró que los árboles mejoran la dispersión de los contaminantes de la ciudad, al aumentar la turbulencia, reducen la concentración ambiental generada por el tránsito vehicular, por ende hay una menor exposición al hombre y hay situaciones en que los árboles pueden reducir la calidad del aire atrapando la contaminación, pero a nivel global producen una reducción de la contaminación a la altura de los peatones por lo anteriormente descrito (Jeanjean y Leigh, 2015).

Además generan beneficios estéticos, ya que aportan calidad al paisaje (Mahecha Vega *et al.*, 2010), el color verde neutraliza los efectos de contaminación visual generada por la mala arquitectura, el sobredimensionamiento de avisos publicitarios, entre otras cosas, y su colorido, reduce la monotonía enriqueciendo el paisaje (Rangel Mora, 2004). Generan una percepción del ambiente más natural, lo que ocasiona una mejor valorización de los ambientes, creando atractivos visuales por forma, color y tamaño, textura, brillo y dinámica. Los cambios estacionales rompen la monotonía cotidiana del lugar, pueden ocultar espacios u objetos desagradables, generan barreras vivas que separan espacios, crean ambientes aislados, tranquilos y dan privacidad. Generan valores simbólicos culturales, siendo usados como indicadores de eventos históricos, son recreacionales en parques, lugares para juegos, deporte y esparcimiento (Mahecha Vega *et al.*, 2010), realzan vistas, pueden suavizar líneas rígidas de la arquitectura o complementarla, dándole belleza al paisaje (International Society of Arboriculture, 2002, Rivas Torres, 2015), ayudan a naturalizar los ambientes urbanos. La diversidad que existe en la forma de las distintas especies, otorga a los arquitectos, paisajistas, o técnicos, una gran variedad de opciones para planificar y diseñar el arbolado urbano. La densidad, textura y color de las hojas, son determinantes en la composición paisajista, al igual que la forma, color y textura de su corteza o tronco (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Manejando la distancia y la alineación entre los árboles, podemos lograr un “efecto túnel”, si hacemos que las copas se toquen. También se pueden intercalar distintas especies para hacerlo más interesante, otro efecto que podemos lograr manejando la densidad es el claroscuro realizando agrupaciones de árboles contrastando con áreas libres y el encerramiento o cobijo se logra rodeando un lugar. Los colores cálidos como el amarillo, el rojo o el naranja aportados por el follaje o la floración, generan la atracción del espectador y alegran el lugar, mientras que los colores fríos como verde oscuro, se suelen utilizar para los lugares lúgubres y sombríos. El perfume de las hojas, flores o frutos les dan una característica muy particular a un lugar (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Como beneficio ambiental además de producir O₂ también son de gran interés, la capacidad de crear ambientes aislados y tranquilos, actúan como reguladores al provocar cambios microclimáticos fuertes, ya que controlan la radiación solar, el viento, la humedad y la evapotranspiración. Su efectividad está en función de diferentes factores como la densidad del follaje, la forma de las hojas, patrones de ramificación y la distribución de especies (Mahecha Vega *et al.*, 2010, Rangel Mora, 2004, y Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, 2007).

Las altas temperaturas consecuentes del calor reflejado por el pavimento y los edificios (“islas de calor”), son reducidas por la sombra de sus copas, generando “islas de

frescor”, a través de la transpiración, crean frescura y resguardan de la radiación excesiva (Rivas Torres, 2015 y International Society of Arboriculture, 2002), al disminuir la radiación, ya sea absorbiéndola o desviándola a través de sus hojas (International Society of Arboriculture, 2002), las especies caducifolias cumplen esta función durante los meses cálidos, mientras que en invierno, al perder sus hojas permiten un incremento en el paso de la radiación, proporcionando un mayor calentamiento (Mahecha Vega *et al.*, 2010). Produce un ahorro en consumo de energía y reducen la pérdida de calor en forma de radiación desde el suelo y los materiales superficiales por las noches, actuando como sombrilla entre el aire frío nocturno y los materiales calientes que irradian calor en los meses fríos (Lell, 2006 y Mahecha Vega *et al.*, 2010), con lo que las heladas y el rocío son menos usuales debajo de la copa de los árboles (International Society of Arboriculture, 2002); se ha comprobado que los espacios verdes pueden disminuir la temperatura local hasta 10°C y la general 1°C (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

La copa del árbol absorbe del 15 al 35% de la energía lumínica que le llega, deja pasar un 30 a un 50% y difunde o refleja un 30 o 40%, esto está en función de la densidad y textura de la cubierta vegetal (Lell, 2006).

Al transpirar agua, pueden alterar la velocidad del viento (Lell, 2006; International Society of Arboriculture, 2002), si el diseño y las especies utilizadas son adecuadas, actúan como barreras verdes que obstruyen, desvían, filtran, y/o mitigan el impacto del viento (Mahecha Vega, 2010; International Society of Arboriculture, 2002 Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, 2007), mientras más denso sea su follaje, mayor va a ser la influencia como cortaviento (International Society of Arboriculture, 2002). Por otro lado, los árboles pueden crear áreas protegidas, reduciendo la velocidad de los vientos, e interfiriendo así el reemplazo del aire húmedo y frío por aire seco y caliente (Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, 2007).

La radiación que impacta sobre la copa, hace que se evapore el agua que está sobre las hojas y aumenta la transpiración, esto baja la temperatura de las hojas, de la vegetación y del aire. El proceso de evapotranspiración consume energía, enfriando el aire que se encuentra bajo su influencia y consecuentemente eleva la humedad relativa de su entorno (acondicionadores naturales); se estima que una ha de vegetación puede transpirar 17.000 l de agua en un día soleado de verano y un árbol aislado puede transpirar 400 l de agua/día en verano (Lell, 2006 y Mahecha Vega *et al.*, 2010); el enfriamiento que produce es equivalente a 5 aires acondicionados de 2.500 kcal/h trabajando 20 h/día (Lell, 2006). Reducen la evaporación de la humedad del suelo, haciendo que la humedad debajo del dosel sea más alta (Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, 2007). Indirectamente, al

disminuir la temperatura del aire, pueden por un lado, mejorar su condición ya que muchos contaminantes se reducen al menguar la temperatura y por el otro, al reducir el consumo de energía, indirectamente contribuyen a una menor producción de la misma y por ende una menor liberación de contaminantes atmosféricos (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Los árboles actúan como pilotes o anclas que disminuyen el efecto de la erosión, es decir, que sus raíces se entrelazan y forman una especie de red que frena las moléculas de suelo que es arrastrado por las corrientes de agua, por lo tanto, cuando son colocados en cuencas hidrográficas o en áreas con pendiente, además de darle una valorización estética, le dan estabilidad a sus márgenes y por el otro lado, las copas de los árboles disminuyen el impacto de la gota de lluvia sobre la superficie, reduciendo el planchado y aumentando la infiltración. Mejoran la hidrología urbana al reducir los daños por inundaciones, los costos de tratamientos de agua de lluvia, los problemas de calidad y velocidad del agua y el volumen de escorrentía durante una tormenta, reteniéndola y deteniéndola (Rivas Torres 2015, Rangel Mora, 2004 y Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, 2007). Regulan la humedad en los suelos, deteniendo el agua del escurrimiento excesivo, permitiendo de este modo una mejor infiltración y reduciendo la erosión, y por consiguiente, la sedimentación (Rangel Mora, 2004 y International Society of Arboriculture, 2002). Estudios realizados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, expresan que las áreas arboladas, reducen de un 5 a un 35% el escurrimiento. Un árbol maduro intercepta 1000 l de agua/año reduciendo el escurrimiento y abasteciendo de agua limpia al subsuelo, mejoran la permeabilidad por el sistema radical, mantillo y materia orgánica incorporada, reduciendo por ende la compactación (Rivas Torres, 2015).

Las especies coníferas, son más eficientes en la retención de agua, haciendo que, del agua precipitada, llegue el 60% al suelo mientras que en las latifoliadas, lo hace en un 80%, haciendo en el primer caso, que el agua descienda más lentamente y por consiguiente le da más tiempo para que infiltre y disminuya el escurrimiento superficial y la erosión (Departamento Técnico Administrativo Medio Ambiente, 2007). Para esto, las copas deben ser amplias, de mediana y alta densidad, porte medio y bajo, y las raíces extendidas y en profundidad y no deben ser alelopáticas, para permitir el crecimiento de vegetación debajo de su dosel (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

En Beijing, República Popular China, le han dado gran importancia a esta temática, fomentando a través de la educación, la importancia de la plantación de árboles, como un elemento necesario para la salud nacional; a finales del 2007, la tasa de arborización en la zona urbana era superior al 40%. En Asia Central Soviética, la ciudad de Tashkent, capital de Uzbekistan, luego de la destrucción de la ciudad por un terremoto en 1966, fue reconstruida

basándose en un modelo arquitectónico moderno, combinado con jardines y árboles para refrescar las calles durante los meses cálidos. En Colima, México, fomentaron la concientización sobre el valor de los árboles en el medio urbano, y para ello editaron una guía pública para la plantación de árboles, alcanzando un aumento del 20% en el arbolado de la ciudad. En la ciudad de Milton Keynes, Reino Unido, fomentaron la arborización urbana, basados en la revalorización que genera en las propiedades, Bogotá invirtió en tecnología de punta como ser la tomografía sónica, que emite ondas sonoras y a través del reflejo de las mismas que se produce en el tronco, nos permite conocer su estado sin provocarles daño alguno, otro instrumento es el resistógrafo, que permite determinar la resistencia mecánica de las fibras del tronco y ramas; el analizador infrarrojo de gases mide el intercambio de gases durante el proceso de respiración, determinando así, la captura de gas carbónico de cada especie. Además se tuvo en cuenta la interacción de tres aspectos para la elección de las especies, el primero fue la función de la arborización en el medio urbano, el segundo fue la caracterización de cada especie, explicitando sus exigencias, restricciones y factores condicionantes y la tercera fue el uso de cada especie posible comparando sus exigencias con las características del destino. En Windsor, Canadá, cambiaron el día del árbol, por el mes del árbol, han invertido en concientización y educación, reduciendo de este modo el vandalismo contra el arbolado urbano, logrando que la sociedad participe del mismo (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

La salud de la sociedad está directamente relacionada con distintas características del medio donde vive conformando un socio-ecosistema, interactuando con factores bióticos y abióticos, como por ejemplo el aire que respiramos, el agua y el alimento que consumimos, de la calidad estética y paisajística del entorno y del nivel de estrés de la sociedad. Por lo tanto, es necesario considerar a la silvicultura urbana como un tema importante para el bienestar de las sociedades (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Cuando hablamos de silvicultura, nos estamos refiriendo a la ciencia forestal encargada de la producción de árboles para la generación de bosques y las actividades de mantenimiento y manejo. Con respecto a este último es importante detallar que va a depender de la función de acuerdo al contexto en que se encuentre. Mientras que la silvicultura urbana hace referencia a la planificación, teniendo en cuenta la dinámica de la ciudad, las necesidades, y sus características, el ordenamiento y plantación de la vegetación leñosa abarcando la ciudad y su periferia. Este concepto surge de la necesidad de abordar la temática de plantación de manera técnica, por lo tanto, una buena plantación y un manejo inteligente redundan en un ambiente urbano de buena calidad (Mahecha Vega *et al.*, 2010) (Anexo 2).

Las ciudades poseen una sobrecarga de elementos e información, que termina saturando nuestra capacidad de atención y de poder percibir lo que nos rodea. Un conjunto de factores como los ruidos, la contaminación del aire, las edificaciones que nos alejan de lo natural, generan estrés, lo cual es totalmente contrario a los objetivos por los cuales el hombre decide edificar, ya que su fin es mejorar la calidad de vida, pero por lo antes mencionado, se dificulta este objetivo; sin embargo, los árboles pueden ser una buena herramienta para lograrlo. Una frase de Montesquieu dice “primero las personas hacen las leyes, luego las leyes hacen a las personas” algo similar ocurre con el desarrollo urbano “primero las personas construyen la ciudad y los edificios y luego la ciudad construye a las personas, determinando su manera de pensar, sentir y actuar” (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

La arborización, forma parte de un sistema que ayuda al equilibrio del desarrollo urbano para preservar el medio, es por ello que la intervención en una pequeña parte del mismo, lo afectará en su totalidad, ya que está todo integrado. Se debe hacer un buen estudio de su funcionamiento, las interacciones y sus dinámicas para poder conocer las causas de los problemas y lograr posibles soluciones exitosas, ya que la distribución de árboles debe ser adecuada, porque de lo contrario terminaría provocando un efecto opuesto al buscado, empeorando la situación. Por lo antes mencionado, es importante que la sociedad sea concientizada con respecto a la importancia del árbol para poder apreciarlo, amarlo, cuidarlo, gestionarlo y darle su justo valor (Linares, 2013). La ciudad es el lugar donde habitamos y tenemos el derecho de participar en su mejoramiento continuo y la forestación de la misma es una estrategia dentro de un marco integrado para lograrlo (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

En España, el programa “El árbol es vida” que promueve plantaciones generará un ahorro de derecho de emisión equivalente a 150.000 Tm CO₂/ año o 2,2 millones de toneladas de CO₂ en un periodo de 40 años, creando mano de obra desde la producción, plantación, mantenimiento y trabajos posteriores, entre otros objetivos. Utiliza para llevarlo a cabo, la colaboración público-privada a través de donaciones y brindándoles a su vez beneficios fiscales, para lograr promover la cultura de los árboles, fomentando su uso y lograr una plantación de 10 millones de árboles (Linares, 2013).

También en Colombia, realizaron un plan denominado “Bogotá positiva” en el que intentan desarrollar una ciudad en la que sus habitantes gocen de una buena calidad de vida, donde se reconozcan y garanticen los derechos humanos y ambientales (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Contaminación urbana

Hace 200 años (antes del inicio de la revolución industrial) la concentración de CO₂ en la atmósfera era de 270 ppm, posteriormente los niveles ascendieron hasta alcanzar 360 ppm como consecuencia de la quema de combustibles fósiles y la deforestación (Lell, 2006).

La contaminación actual, expresada en distintas áreas como ser visual, auditiva, del aire, agua, suelo, están repercutiendo en gran medida en la salud física y emocional del ser humano (Rivas Torres, 2015). Este suceso también afecta a los árboles y es reflejado en los mismos por el efecto que en ellos produce, como ser obturación de estomas, reducción de la fotosíntesis y del crecimiento, y modificaciones en la estructura de la hoja (Bruno *et al.*, 2007).

Los gases contaminantes que podemos encontrar en el medio donde habitamos son el monóxido de azufre (SO) y el dióxido de azufre (SO₂) que dañan los suelos y la vegetación existente; el óxido nítrico (NO) reacciona con el ozono (O₃) para formar dióxido de nitrógeno (NO₂), el cual es tóxico, carece de color y contribuye a la formación de smog. Otros contaminantes como el óxido nitroso (N₂O), el ozono troposférico (O₃) y las partículas en suspensión son considerados como los más nocivos para la salud (Mahecha Vega *et al.*, 2010). Por último, podemos mencionar otros elementos que frecuentemente están en el ambiente tales como los metales pesados y compuestos químicos orgánicos, como el benceno y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (Anzeet *et al.*, 2007).

La contaminación atmosférica se expresa en términos de microgramos del contaminante por metros cúbicos de aire (µg/m³) o en partes por millón (ppm) para los gases. Las PM₁₀ —partículas menores de 10 micras— y las PM_{2,5} —menores de 2,5 micras— son las más conocidas por los efectos negativos sobre la salud humana, vegetal y el deterioro que ocasionan a las construcciones y el mobiliario, siendo el límite internacional admitido de 50,00 µg/m³ (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Las especies vegetales, presentan distinto grado de reacción ante los diferentes contaminantes del medio, siendo algunas más tolerantes y otras más sensibles a los mismos. El SO₂, los gases nitrosos los halogenuros de H₂ y otros contaminantes atmosféricos, penetran en las plantas a través de intercambio gaseoso, niebla, lluvia y depósito de polvo sobre la superficie. Cuando la concentración que ingresa al mismo es elevada, esto es, mayor a 1 ppm (parte por millón) de SO₂, pueden provocar la muerte en el corto plazo en la zona afectada y hasta la muerte total del individuo, pero cuando la concentración es menor, como ser 0,05-0,2 ppm SO₂, suelen presentar perjuicios crónicos, manifestando una inhibición de la fotosíntesis,

pero por sobre todo, obstruyen el cierre de las células oclusivas en el caso que la transpiración lo requiera. Daña el mecanismo de succión de agua perjudicando la economía total del agua, las hojas se caen, se secan los brotes, reduce la producción y el crecimiento de manera significativa y los anillos del leño son más estrechos (Larcher, 1977).

Un estudio realizado por el Ministerio de Ambiente de Ecuador, revela que la contaminación del aire en zonas urbanas, es un problema que se presenta a nivel mundial, y esto es consecuencia de la producción industrial, el uso intenso de vehículos, la tecnología obsoleta en la producción, escasa calidad en el saneamiento, y falta de planificación en el crecimiento urbanístico, entre otros (Ochoa Jiménez *et al.*, 2015); por otro lado, la quema informal de basura a cielo abierto (), la infraestructura urbana y el cambio de uso en los suelos, son las principales causas antropogénicas que generan una mayor concentración de metales pesados en el ambiente (Anzeet *et al.*, 2007; Alcalá *et al.*, 2008).

El protocolo de kyoto, permite que quienes se hayan adherido al mismo, puedan utilizar la contabilización del carbono almacenado en todos sus reservorios, esto es en árboles, suelo, plantas y en productos de madera durante su vida útil, para compensar parte de sus emisiones (Linares *et al.*, 2013).

La calidad del aire en una ciudad es un factor que influye en la condición de vida de las personas que en ella habitan. Los espacios verdes son fuente de absorción de CO₂ del aire para formar hidratos de carbono necesarios para su estructura y demás funciones de las plantas y por otro lado, son productores de O₂, amortiguan el impacto del calor, absorben diversos contaminantes como el O₃, CO, y SO₂, sus hojas filtran el aire que respiramos, removiendo el polvo y las partículas, las que posteriormente son arrastradas hacia el suelo por el agua de las lluvias (International Society of Arboriculture, 2002; Ochoa Jiménez *et al.*, 2015).

Bioindicadores

Los bioindicadores son organismos o comunidades, que dependen del medio en el que se desarrollan, y que por ello, al verse modificado el mismo, reaccionan rápidamente alterando su presencia o ausencia, densidad, morfología y/o funcionamiento, o por su capacidad de acumular sustancias polutantes. Las modificaciones ambientales son como estímulos para estos organismos y su reacción nos indica los tipos de cambios ocurridos y el nivel de intensidad de cambio ambiental. Al tratarse de organismos vivos, nos pueden advertir sobre posibles riesgos al ecosistema y al hombre (Anzeet *et al.*, 2007; Aguirre *et al.*, 2012).

La capacidad de respuesta de un bioindicador depende de su composición genética (favoreciendo o no la adaptación frente a distintos cambios), del estado de desarrollo fenológico en que se encuentra (hay etapas en que son más o menos sensibles), y de las distintas condiciones ambientales, ya que no siempre es acumulativo el efecto, sino que también puede haber sinergismo o efectos potenciadores por la combinación de distintos factores (Aguirre *et al.*, 2012). También depende del tiempo que se encuentre expuesto a determinados contaminantes, de la concentración de los mismos, de su volumen absorbido en función del tiempo, de las distintas especies, ya que no todas responden de igual modo y del estado fisiológico del individuo (Bruno *et al.*, 2007).

Para que una especie sea considerada un buen bioindicador debe poder tolerar las condiciones térmicas y de precipitaciones del lugar bajo estudio, tener baja tolerancia y elevada sensibilidad ante variaciones del medio ambiente, expresándolo a través de cambios morfológicos, bioquímicos y estructurales ocurriendo de forma homogénea en todos los individuos de la misma especie que se encuentran presentes en el lugar afectado, cuya magnitud debe estar en función del grado de perturbación del ambiente (Ferriole *et al.*, 2014). Algunos cambios que pueden producirse son la defoliación, caída de estructuras reproductivas, pérdida de pigmentos fotosintéticos, disminución del contenido en pigmentos carotenoides y proteínas, aumento de la concentración de metales pesados en los tejidos, reducción del área foliar, alteraciones en la epidermis foliar y la reducción del tamaño y número de los estomas. De este modo, la planta puede reducir la absorción de contaminantes y optimizar la captura de CO₂, pero a su vez, también puede generar obstrucción y reducción de la fotosíntesis. La magnitud de estas modificaciones, debe estar en función del grado de perturbación del aire (Ferriole *et al.*, 2014).

Se utilizan diferentes organismos que reaccionan rápidamente ante determinados cambios ambientales, de este modo podemos detectarlos y tomar medidas antes de que afecten a la salud del hombre. En ocasiones son sensibles a exposiciones cortas y situaciones extremas y que no son detectables a través de muestreos específicos (Aguirre *et al.*, 2012).

Cuando hablamos de biomonitores, hacemos referencia a organismos, partes de estos o una comunidad de ellos, que a diferencia de los anteriores (los bioindicadores), nos permiten “cuantificar” la calidad atmosférica a través de la comparación de rangos o en relación a un nivel considerado de “background” (Anzeet *et al.*, 2007), y establecen una relación cuantitativa entre los daños observados y el grado de contaminación, siendo utilizados como una herramienta de registro, control y seguimiento (Aguirre *et al.*, 2012). Muestran una respuesta proporcional en su relación comportamiento-concentración de polutante y/o tiempo de

exposición. Las evaluaciones pueden hacerse hacia un contaminante específico, o bien, pueden estar dirigidas a un grupo de sustancias polutantes (Anzeet *et al.*, 2007).

Los bioindicadores, biomonitores y bioensayos en laboratorio son usados a nivel mundial como un complemento de diagnóstico de contaminación para monitoreo y gestión de entidades ambientales junto con los métodos físico-químicos, ya que estos últimos, indican el efecto de la concentración de contaminantes sobre organismos vivos. Además, este método, puede adaptarse a distintas condiciones económicas y climáticas (Anzeet *et al.*, 2007).

Las especies vegetales actúan como bioindicadores, sean plantas vasculares o no vasculares; también los líquenes son organismos reveladores de la contaminación ambiental (Anzeet *et al.*, 2007). Estas especies son importantes para las políticas de planificación urbana (Anexo 1), no solo por el hecho de ser indicadoras de la calidad ambiental, sino que también cumplen la función positiva de restaurar el medio (Alcalá *et al.*, 2008).

Los árboles y otras plantas vasculares bioindicadoras de la contaminación ambiental.

Métodos para su detección

Cada especie vegetal se encuentra distribuida sobre la tierra siguiendo normas naturales, indicando una estrecha relación entre el ambiente y sus características y requerimientos, es decir que su distribución no es azarosa, sino que sigue un orden natural (Aguirre *et al.*, 2012), esto permite determinar un ambiente por el solo hecho de que la misma se encuentre presente o no, o por la manifestación de distintos síntomas como ser marchitamiento, clorosis, pudrición, crecimiento exuberante, cambios en la coloración, falta de fructificación, etc., siendo por ello, muy buenos indicadores de la calidad de los ecosistemas. A modo de ejemplo, podemos decir que hay especies vasculares que son tolerantes a suelos alcalinos, ácidos, salinos, ricos en hierro, inundados, de climas fríos, secos, plantas ruderales (prefieren suelos con abundante materia orgánica en descomposición, escombros de casas viejas u otros residuos), especies que soportan contaminación con aguas servidas, biorremediadoras de agua, pioneras aptas para recuperar taludes, llamadoras de agua y/o protectoras de vertientes (especies que por su sistema de raíces tan extenso, pueden buscar agua a grandes profundidades y llevarla hacia la superficie). Estas especies vegetales, debido a su rápida reacción al ambiente son una excelente herramienta para proyectos de biorremediación (Aguirre *et al.*, 2012).

En la ciudad de La Paz, Bolivia, se emplearon árboles y arbustos para evaluar la infusión de elementos particulados que se encuentran depositados en las hojas. Con la técnica de biomonitorio pasivo, se evaluaron las hojas de *Acacia melanoxylon* “acacia australiana” y *Hedera hélix* “hiedra”. Los aspectos que consideraron para su elección, fueron que las mismas, debían estar ampliamente distribuidas en todas las zonas de la ciudad, que sean especies perennifolias, que sus hojas posean una superficie fácil de medir, lisas y sin resinas, debían ser resistentes a las influencias de sales en el suelo, polvo, gases e insectos defoliadores. Otra especie utilizada pero caducifolia fue *Populus balsamífera* “álamo bálsamo”. Se tomaron muestras de las hojas en distintos puntos de la ciudad, guardándose en bolsas herméticas y se las llevó a laboratorio para su posterior análisis, midiéndose el contenido de plomo (Pb) y cadmio (Cd), que fue expresado por gramo de peso seco de hoja. De esta manera se analizó el contenido de metal de la biomasa vegetal absorbidos por el suelo y depositado en las hojas, más el polvo presente en la contaminación del aire depositado sobre ellas, es decir se mide la influencia de la contaminación del aire y a la vez, los metales absorbidos por el suelo y depositados en las hojas del árbol (Anzeet *et al.*, 2007).

Un estudio realizado en la ciudad de Chihuahua (México) determinó que la vegetación es un elemento potencial para la restauración del medio ambiente dentro de zonas urbanas, para fundamentar esto, se utilizaron cinco especies arbóreas como indicadores de calidad ambiental y a través de la técnica ICP-OES (espectrometría óptica con plasma acoplado inductivamente) se determinaron las concentraciones expresada en mg/l de los siguientes metales pesados, Ni, Cu, Co, V, Ti, Pb y Cd en las hojas de los árboles. Ajustando la técnica a un programa de Minitab, se pudo probar las interacciones entre los factores especie, sitio y temporada (Alcalá *et al.*, 2008)(Figs. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10). Algunos metales pesados en pequeñas dosis pueden ser esenciales, como el caso de Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni y Mo, pero si los mismos elevan su concentración pasan a ser tóxicos, en otros casos su presencia no es necesaria por no presentar funciones biológicas como el caso de Cd, Hg o el Pb (Alcalá *et al.*, 2008). Las plantas distribuyen estos elementos de diferentes maneras y los posicionan en distintos puntos, principalmente lo hacen en tallos y raíces, también pueden acumular y almacenar otros metales en forma no tóxica para distribuirlos y usarlos en el lugar y momento que lo deseen. Se utilizaron 4 especies de hojas caducas: *M.azedarach* “paraíso sombrilla”, *Fraxinus.spp.* “fresno”, *Morusspp.* “morera”, *P.occidentalis* “plátano occidental o sicomoro” que tienen la capacidad de concentrar V, Ti y Pb y una de hojas perennes: *C.arizonica* “ciprés de Arizona”, siendo este último, el que tiene mayor capacidad de acumular Ni, Co, Ti, V y Pb. Ello se detectó en zonas residenciales durante el otoño y en zonas industriales en primavera, pudiendo explicarse por un mayor tiempo de permanencia de las hojas. Se tomaron muestras de hojas entre 1,6 y 3 m de altura de árboles ubicados en

proximidades de calles o avenidas principales y como testigo, se empleó material ubicado fuera de la mancha urbana. Como resultado general, se pudo observar que hay una relación significativa entre los factores especie, temporada y sitio de localización con las concentraciones de los distintos metales(Alcalá *et al.*, 2008).

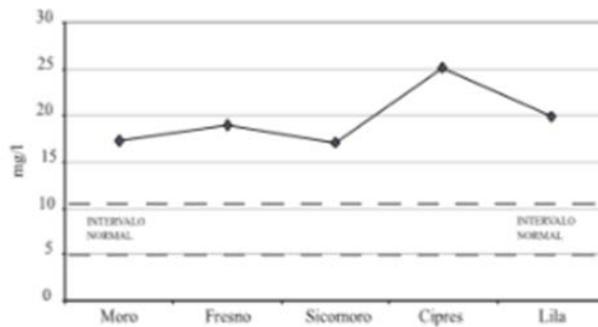


Figura 2. Concentración de Plomo asociado al factor especie ($P < 0,026$) (Alcalá *et al.*, 2008).

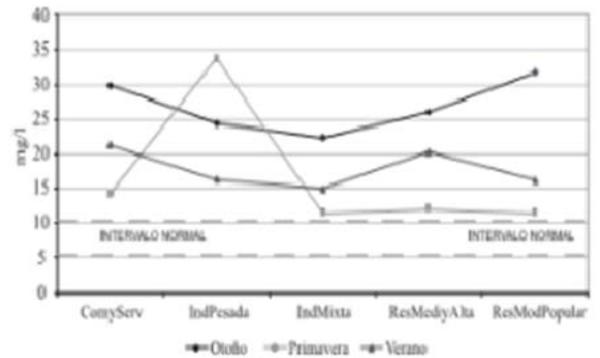


Figura 3. Concentración de Pb correspondiente a la interacción de los factores temporada-sitio ($P < 0,001$) (Alcalá *et al.*, 2008).

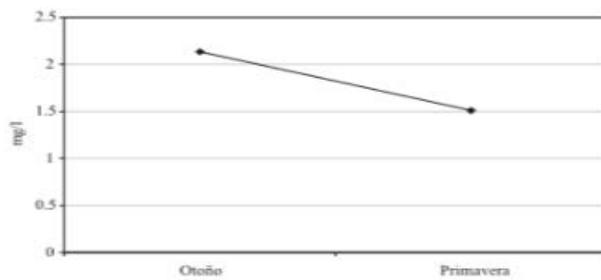


Figura 4. Concentración de Vanadio asociado al factor temporada ($P < 0,027$) (Alcalá *et al.*, 2008).

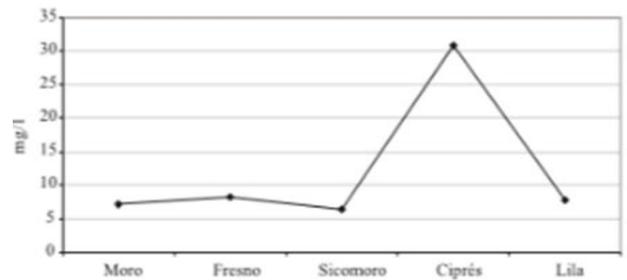


Figura 5. Concentración de Titanio asociado al factor especie ($P < 0,001$) (Alcalá *et al.*, 2008).

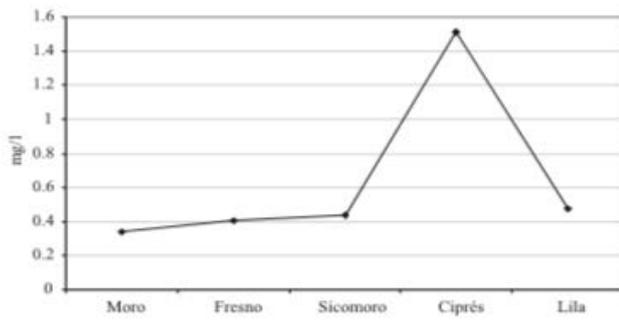


Figura 6. Concentración de Cobalto asociado al factor especie ($P < 0,001$) (Alcalá *et al.*, 2008).

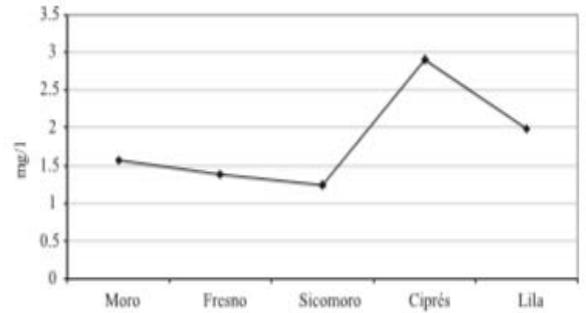


Figura 7. Concentración de Vanadio asociado al factor especie ($P < 0,005$) (Alcalá *et al.*, 2008).

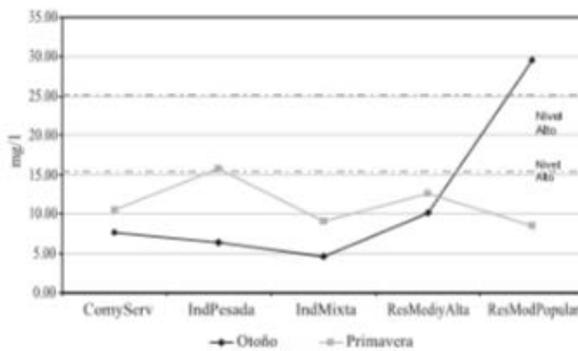


Figura 8. Concentración de Cobre correspondiente a la interacción de los factores temporada-sitio ($P < 0,012$) (Alcalá *et al.*, 2008).

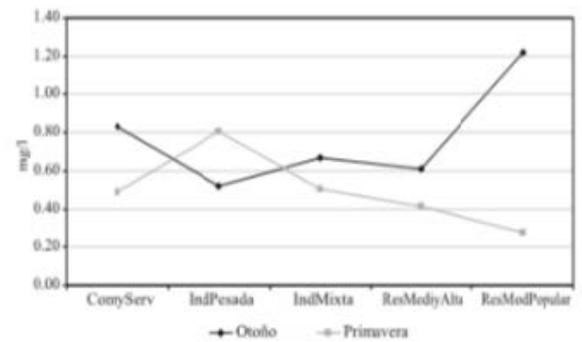


Figura 9. Concentración de Cobalto correspondiente a la interacción de los factores temporada-sitio ($P < 0,071$) (Alcalá *et al.*, 2008).

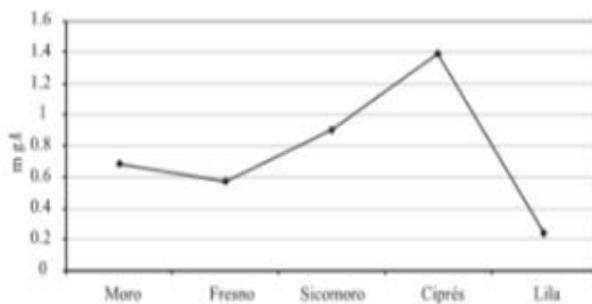


Figura 10. Concentración de Níquel, asociado al factor especie ($P < 0,037$) (Alcalá *et al.*, 2008).

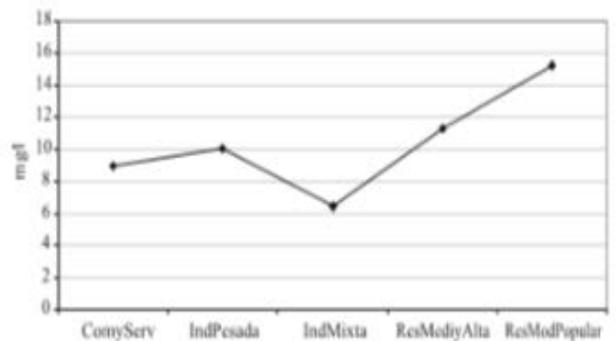


Figura 11. Concentración de Cobre asociado al factor sitio ($P < 0,080$) (Alcalá *et al.*, 2008).

La investigación de Alcalá *et al.* (2008) dejó en evidencia que hay una estrecha relación entre el sitio de evaluación, la temporada del año y la especie, variando la acumulación de metales pesados en función de las distintas combinaciones anteriormente nombradas.

Terekhina y Ufimtseva (2006) determinaron la presencia de metales pesados en especies urbanas como *Populusberolinensis* y *Tilia cordata*; Aksoy y Sahin (1999) encontraron resultados significativos en las hojas de *Eleagnus angustifolia* L. y Aksoy et al., 2000 en hojas de *R. pseudoacacia* L. (Alcalá et al., 2008).

Un estudio realizado en la ciudad de Córdoba reveló el efecto de la contaminación ambiental en la anatomía de las hojas de *L.lucidum* “siempreverde”, este ejemplar es originario de China, pero crece naturalizado en las sierras cordobesas y compite con las especies nativas. Para ello se examinó la epidermis realizando técnicas de raspado y la de peeling (Bruno et al., 2007) y se tomaron improntas in situ de epidermis adaxial y abaxial utilizando esmalte incoloro. Se pudo observar que en las áreas de mayor polución, la epidermis foliar posee mayor frecuencia de estomas y tricomas en el hipófilo, no variando significativamente en el epífilo, encontrando mayor índice estomático y una reducción del espesor del parénquima en empalizada en relación al esponjoso. La estructura del mesófilo se estudió en cortes transversales por hojas de tamaños similares e igual posición en la rama. Se compararon estadísticamente las variables epidérmicas obtenidas entre las poblaciones de las zonas polutas y no polutas. Este estudio puso de manifiesto que hay una modificación en la estructura foliar de aquellos ejemplares expuestos a la contaminación, provocada principalmente por los gases producidos por el tránsito vehicular. Como conclusión este último estudio agrega que cuando la epidermis está protegida por tricomas, la frecuencia de estomas se mantiene, ya que actúan como filtro, restringiendo el ingreso de partículas por los mismos, esto no ocurre en la especie analizada, ya que los mismos, si bien están presentes, pero son escasos, de tipo glandular y además están hundidos en el mesófilo, por lo que no actúan como barrera de protección y en consecuencia, la cantidad de estomas por mm² en ambientes contaminados, es mayor. Esta característica, también fue observada en *Lantana camara* L. “lantana”, *Tamarindus indica* “tamarindo” y *Ficus benghalensis* L. “baniano indiu”, y en *Trifoliumrepens* L. “trébol blanco”. También se pudo observar una reducción del parénquima en empalizada en ambientes polutos en hojas de *T.repens* y al igual que en *L.lucidum*, a diferencia de *F. benghalensis* que manifestó una reducción en el parénquima esponjoso (Bruno et al., 2007).

L. lucidum reúne las características apropiadas para ser considerado un buen bioindicador, ya que se encuentra distribuido abundantemente, es perennifolio, y posee una sensibilidad significativa ante la contaminación del aire, manifestándolo con síntomas reconocibles (Bruno et al., 2007).

La Figura 12 A pertenece a la especie *L. lucidum*, presentando mayor densidad estomática en la epidermis foliar de la cara abaxial, correspondiente a ejemplares expuestos

aambientes polutos, donde en algunos casos, estos se encuentran obstruidos por partículas sólidas y la Fig. 12 B representa a los ejemplares presentes en ambientes no polutos. En cambio, el número de células epidérmicaspropiamente dichas, no varió significativamente. En la Fig. 12 C se observa el pie hundido del tricoma de la epidermis foliar de la cara abaxial (se presentan en mayor número en el hipófilo de los ejemplares de zonas polutas que en las no polutas; no variando significativamente en el epífilo) y en la Fig.12 D se aprecia la cabezuela glandular pluricelular, de un ejemplar de zonas polutas.Las Figs. 12 E y 12 F muestran la reducción del parénquima en empalizada en un corte transversal por lámina foliar de ejemplares de áreas contaminadas y no contaminadas, respectivamente (Bruno *et al.*, 2007).

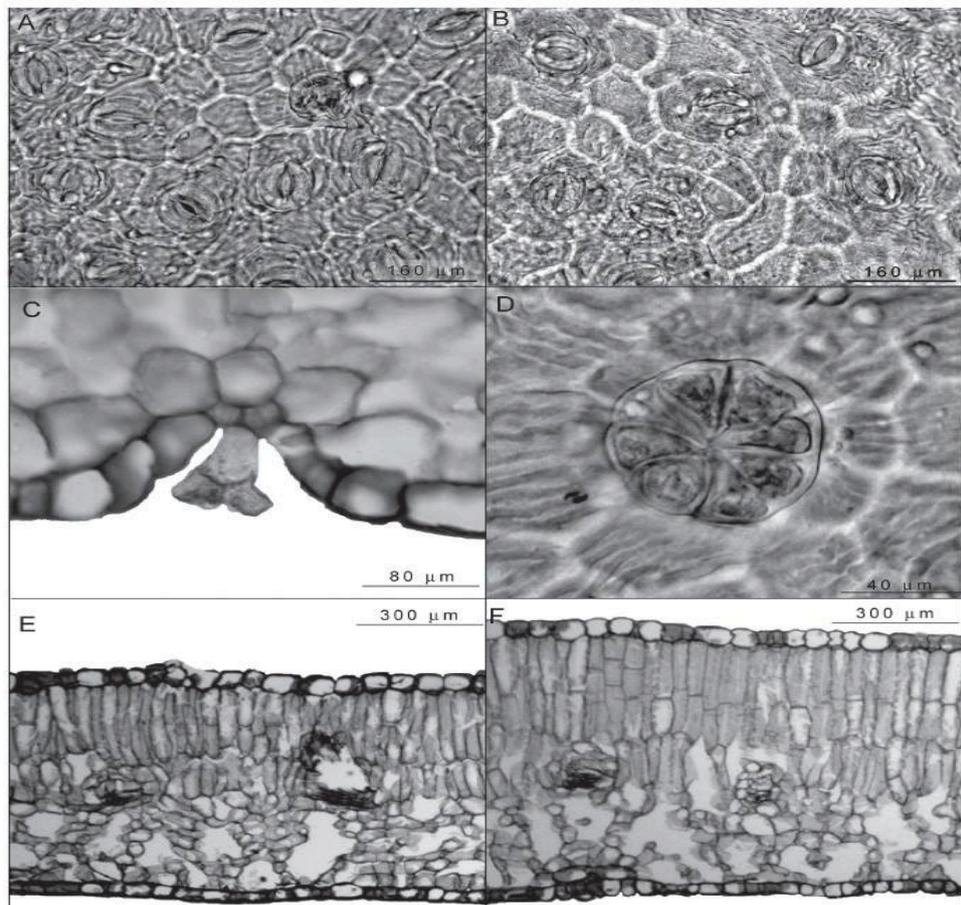


Figura 12. *L. lucidum*: A y B epidermis foliar cara abaxial en vista superficial de ejemplares polutos y no polutos respectivamente. C y D: tricoma de la epidermis foliar cara abaxial, en corte transversal y vista superficial respectivamente, de ejemplar poluto, se observa en C el pie hundido y en D la cabezuela glandular pluricelular. E y F: Cortes transversales por lamina foliar de ejemplares de áreas contaminadas y no contaminadas respectivamente, se observa reducción de parénquima en empalizada (Bruno *et al.*, 2007).

Según Ferriole *et al.* (2014), los árboles ornamentales tienen la capacidad de mitigar la contaminación presente en la atmósfera a través de distintos mecanismos, y como

consecuencia de esto, su metabolismo se ve perjudicado, perturbando su morfología y fisiología. Producto de la exposición, los estomas se ven afectados, alterándose su tamaño y densidad e incluso, pueden ocluirse. En Valencia, este autor realizó un estudio utilizando tres especies de árboles ornamentales, evaluando la densidad y longitud estomática, donde se observó que el *B.populneus*“Brachichito” fue la especie que sufrió mayores cambios, ya que en ambientes contaminados, la densidad estomática se redujo un 14% y la longitud de estomas aumento un 7.7 %, por lo tanto podemos considerar que es la que tuvo el mejor comportamiento como bioindicador (Ferriolet *al.*, 2014), mientras que en *C.australis*“almez” mantuvo la densidad estomática, pero manifestó una reducción en su tamaño del 2,4 % en ambientes contaminados, al ser tan pequeña la variación, no es significativa y le resta importancia a la especie como elemento bioindicador; por último *Q.ilexsubspilex*“encina”,mostró una reducción significativa en la densidad estomática, pero las variaciones no fueron homogéneas, y en cuanto ala longitud de estomas, se mantuvo (Fig. 13). Estos estudios coinciden con los resultados obtenidos por Paoletti y Grulke (2005) y Paolettiet *al.*,(2007) al exponer a la especie a ambientes con elevada concentración de CO₂.

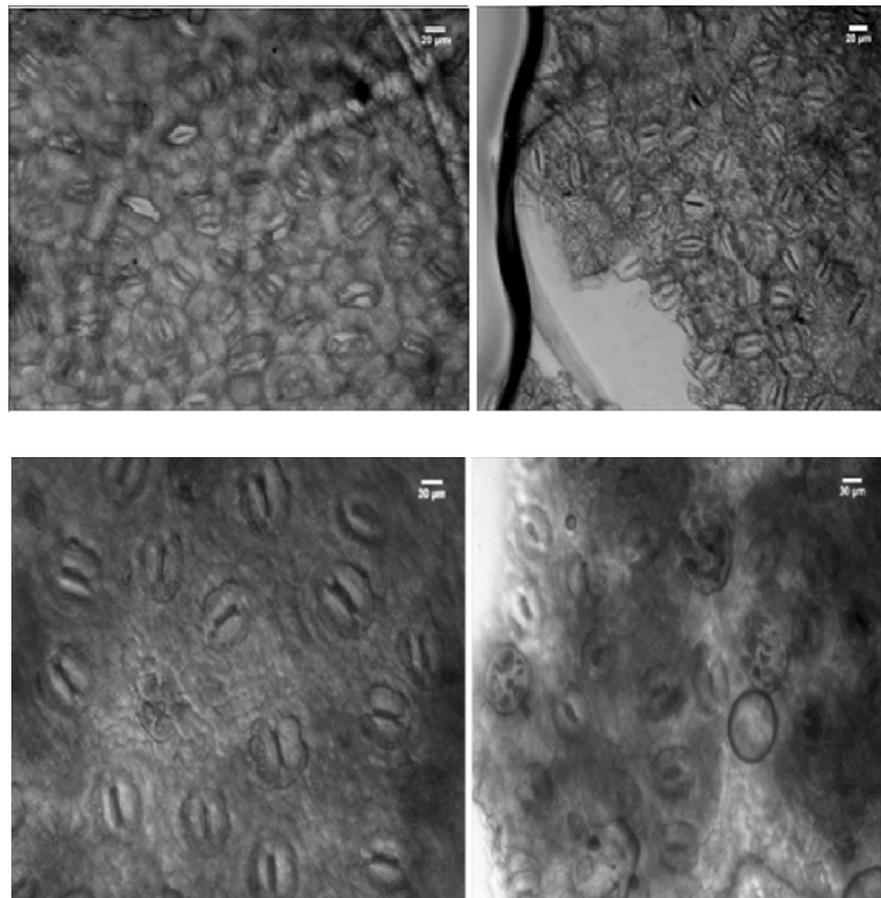


Figura 13. Epidermis con estomas de *C. australis*(arriba), *Q. ilex*(medio), y *B. populneus*(abajo). A la izquierda se ha representado el ambiente muy contaminado, y a la derecha el poco contaminado (Ferriolet *al.*, 2014).

Estas reacciones del aumento o disminución estomática, son un mecanismo de defensa de las plantas para ajustar la absorción de gases, disminuir el ingreso de contaminantes y eficientizar el ingreso de CO₂ (Ferriolet *al.*, 2014). Gostin (2009), coincide con lo anteriormente descrito y sugiere que es una estrategia para evitar daños en otras actividades fisiológicas.

Las ventajas del uso de bioindicadores como elementos para determinar la calidad medioambiental son, su bajo costo, alta disponibilidad y su rapidez (Al-Alawiet *al.*, 2007); mientras que entre las desventajas, podemos mencionar la variabilidad interespecífica como potencial bioindicador de algunas especies y la necesidad de cubrir ciertos requerimientos ecológicos como ser fertilidad, humedad, tipo de suelo, etc. La sensibilidad, también va a depender del nivel de contaminación, del tiempo de exposición y de la capacidad de la planta de absorber esos contaminantes (Ferriolet *al.*, 2014).

Dentro de los efectos morfológicos, bioquímicos y estructurales que se manifiestan en la planta, se pueden citar la defoliación, caída de estructuras reproductivas, pérdida de pigmentos fotosintéticos, disminución del contenido en pigmentos carotenoides y proteínas, aumento de la concentración de metales pesados en los tejidos, reducción del área foliar, cambios en la epidermis foliar (degradación de los tejidos y de las ceras, deformaciones, aparición de costras) y cambios en los estomas, y esta alternancia está en función de la especie. Al reducir el tamaño y número de los estomas, la planta puede disminuir la absorción de contaminantes y optimizar la captura de CO₂, pero a su vez, también puede aumentar su obstrucción y reducir la fotosíntesis (Ferriolet *al.*, 2014).

La presencia de SO₂, originado principalmente por la combustión de productos petrolíferos y la quema de carbón en centrales eléctricas y calefacciones centrales, genera en el vegetal áreas necróticas en los márgenes o zonas internervales de las hojas. Si la concentración de este gas es baja, no se manifiestan efectos visibles, sin embargo, pueden sufrir alteraciones fisiológicas tales como inhibición de la fotosíntesis, alteraciones en la respiración y en la absorción de agua, disminución del crecimiento, diversos efectos nocivos en la reproducción, etc. También es importante resaltar que los vegetales responden de manera diferente ante el mismo gas contaminante, un ejemplo de esto es la susceptibilidad a la exposición de SO₂ de las especies de *Pinus strobus* y *P. banksiana* y la resistencia de algunas de las especies de *Acer*, y entre ellas, el *A. negundo* (Deschamps *et al.*, 1997).

Otro factor contaminante que causa daños en la vegetación es la presencia de gas de cañerías producto de pérdidas, ya sean en suelo y/o en aire, provocando daños y la muerte de las especies arbóreas ubicadas en su proximidad. Un caso como este fue detectado en La Plata,

Argentina, donde las especies más afectadas fueron *T. cordata*, *T. tomentosa* *T. europaea* “tilos”, *Ulmus americana* “olmo”, y *Pópulusangulata* “álamo carolino” y en Buenos aires en *L. lucidum* “siempreverde”, manifestando síntomas como la muerte y desprendimiento de pelos radicales, cambio de color en raíces, pasando a un azul violáceo y luego a un rojo vinoso, muerte de hojas que quedan adheridas a las ramas, y el desprendimiento de la corteza de los troncos. En la misma provincia, se detectó, por la misma causa, la muerte de ejemplares de *Tipuanatipu* “tipa blanca” y algunos casos esporádicos de *M. azedarach*, observándose en este último ejemplar un desecamiento lento, con caída de hojas, hasta su muerte. Mientras que los *Platanus x Acerifolia* “plátanos” manifestaron resistencia (Deschamps *et al.*, 1997).

En las cercanías de Buenos Aires se detectó deformación de hojas y ramas terminales en *R.pseudoacacia* “acacia blanca”, manifestando el típico aspecto de “escoba de brujas” por la exposición de productos químicos procedentes de una fábrica del lugar y daños en el follaje de *Myoporumlaetum* “transparente, mióporo”, por la acción de gases del escapes de automotores (Deschamps *et al.*, 1997).

En Misiones, Argentina, se observó una fuerte clorosis en follaje y posterior caída de acículas en *P. ellioti* y *P. taeda*, como consecuencia de la exposición a S, efluente gaseoso procedente de una planta productora de pasta celulósica, combinado con un alto tenor de humedad ambiente. Luego del análisis se pudo determinar una reducción en el pH del follaje, pasando de un 6,5 (valor normal) a un 4,5 (Deschamps *et al.*, 1997).

Si bien los pesticidas utilizados en la agronomía, forestación y la horticultura, están destinados a suprimir o matar a organismos específicos, este hecho, a veces no concuerda con la realidad, ya que se ha detectado contaminación ambiental cuando el manejo es incorrecto o las condiciones de aplicación son inadecuadas y aun tomando las precauciones correspondientes, se han observado malas consecuencias (Wayne *et al.*, 2005).

Los insecticidas y los fungicidas están formulados para minimizar el daño a las plantas, mientras que los herbicidas tienen por función matar a las mismas. En los casos en que los aplicadores no están capacitados, se suelen usar mayores cantidades que las recomendadas, generalmente debido a equipos calibrados incorrectamente, por pulverizaciones aplicadas sin intencionalmente en la zona de las raíces de las plantas leñosas o por el rocío de los herbicidas en suspensión que se desplaza fuera del área tratada (Wayne *et al.*, 2005).

La dificultad que los diagnosticadores pueden enfrentar en el intento de solucionar el daño a los árboles, se ve ejemplificada en la compleja relación entre el daño por herbicidas con el declive de los árboles frondosos en las Grandes Llanuras de Canadá y los Estados Unidos.

En esa región, el daño a los árboles por rocío y vapor de herbicidas de tipo hormonal ocurre aun en lugares alejados por varios kilómetros de los campos de agricultura, en los cuales estos químicos son aplicados (Wayne *et al.*, 2005).

Los herbicidas que a menudo causan lesiones a las plantas leñosas no dirigidas, se clasifican en dos grupos en cuanto a su propósito previsto. Ambos se encuentran dentro de los mimetizadores de auxinas del crecimiento, están destinados a matar malezas de hoja ancha, son sistémicos, se mueven vía simplasto y son de residualidad baja; uno de ellos son los ácidos fenoxiacéticos (2,4-D, 2,4-DP, MCPA, MCPP y compuestos relacionados) y el otro, a los derivados de ácido benzoico, principalmente, Dicamba. Los productos químicos en este grupo pueden ingresar a las plantas por uno o más de los tres modos, enumerados en orden decreciente de frecuencia: deriva en el momento de aplicación; volatilización del producto aplicado y posterior deriva, como ocurre con los herbicidas volátiles en clima cálido; y absorción por las raíces. Las plantas afectadas indirectamente, reciben dosis subletales y superan los síntomas en 1 a 2 años, los mismos se desarrollan de varios días a varias semanas después de la exposición o pueden aparecer en la primavera después de una exposición de otoño (Wayne *et al.*, 2005).

La dosis mínima perjudicial también varía con el genotipo de la planta, la etapa de crecimiento, la época del año y el estrés de la planta causado por otros factores. Los efectos son más perjudiciales en plantas tratadas o expuestas inadvertidamente durante el crecimiento en climas cálidos, la escasez de agua o el estrés por calor pueden aumentar los efectos tóxicos. Las plantas inactivas o aquellas en fase de reposo son menos sensibles. Los herbicidas también pueden provocar daños por factores secundarios, por ejemplo, algunos herbicidas reducen la resistencia al frío. La muerte atribuida a estos químicos puede ser causada en parte por daños por congelación y por patógenos fúngicos oportunistas que atacan los tejidos debilitados por una lesión por frío (Wayne *et al.*, 2005). Las plantas tienden a acumular herbicidas de los suelos tratados o contaminados, por lo que la concentración de un herbicida en el tejido vegetal puede ser varias veces mayor que la concentración en el suelo (Wayne *et al.*, 2005).

Los síntomas varían en función del tipo de producto químico, en el caso de los hormonales (derivados del ácido benzoico y fenoico) aplicados en territorios para controlar las poblaciones de malezas, a menudo dañan árboles y arbustos. Estos químicos causan crecimientos aberrantes, hojas “ahuecadas” (superficie convexa, ya sea, por arriba o por debajo); doblamiento anormal de ramitas verdes, pecíolos, raquis o principales venas de las hojas; crecimiento helicoidal de las puntas de los brotes, venas anormalmente prominentes; venación alar paralela en plantas que normalmente tienen venas diseminadas en las hojas; mal desarrollo del tejido intervenal de la hoja (resultando en hojas considerablemente más

estrechas); márgenes de las hojas con ondulaciones o rulos; y en caso extremos, muerte de los brotes. Otros síntomas adicionales incluyen hojas anormalmente fuertes o con aspecto de cuero, fallo parcial en el desarrollo de la clorofila, brotes hinchados, brotes que tardan en romper en primavera, pérdida de dominancia apical, lenticelas alargadas, color púrpura anormal en tallos que usualmente son verdes, lesiones en la corteza del tallo y crecimiento reprimido de las raíces, formación de callosidades.

El color púrpura de los tallos, inducido por los herbicidas Fenoxi, ha sido observado en *Fraxinus* spp., *A. Saccharum*, *Juglans*, *Quercus palustris*. Las coníferas son relativamente tolerantes a los herbicidas Fenoxi, pero sus brotes pueden enrularse y sus agujas caerse como respuesta a dosis dañinas. En el caso particular del Dicamba, son absorbidos por las raíces de plantas leñosas, causan una drástica supresión del crecimiento, ahuecamiento de las hojas, doblamiento y espirales en las puntas de los brotes, crecimiento amarillentos, follaje amarillado o ennegrecido (dependiendo del tipo de planta), defoliación, y algunas veces, la muerte de la planta. Algunas plantas leñosas son tan sensibles a los herbicidas Fenoxi, que usualmente muestran, al menos, suaves síntomas de daño foliar si estos químicos son utilizados en cualquier lugar de los alrededores. *A. negundo*, *Vitis* spp. y *Cercis Canadensis*, son entre todas las especies, las más sensibles y se convierten en útiles indicadores si se sospecha de daño en otras plantas por uso de herbicidas Fenoxi; las Triazinasy los derivados de Uracilo causan clorosis; el Amitrol provoca decoloración a blanco o rosado blanco, y los de contacto, especialmente el Paraquat, causan necrosis localizada; la Atrazina y la Simazinacausan clorosis marginal e internerval en plantas frondosas y el color amarillento de las agujas de coníferas a partir de su base. La Simazina, a veces causa efectos residuales indeseados después de su aplicación en suelos de vivero, la absorción de las raíces, se ve mejorada por las micorrizas; los compuestos de urea sustituida, como el Diurón, causa clorosis venal, o en dosis altas, clorosis general y muerte; el Picloram en dosis bajas puede causar la flexión o curvatura anormal de los brotes jóvenes, y en dosis más altas causa el oscurecimiento foliar y la muerte. Los herbicidas de pre y pos emergentes y no selectivos, tienden a detener el crecimiento y causan clorosis de hojas nuevas y viejas.

La mayoría de estos productos químicos ingresan a las plantas por aplicaciones no dirigidas a través de las raíces o se transportan a las plantas por partículas de polvo en suspensión. Síntomas similares a estos pueden ser causados por enfermedades, insectos, el exceso o déficit de agua o calor, deficiencia de nutrientes, productos tóxicos no formulados como herbicidas. Por lo que para detectar la causa de una lesión se debe hacer un análisis más preciso (Wayne *et al.*, 2005).

Los herbicidas que ocasionan problemas a árboles y arbustos, son: Amitrol, Dichlobenil, Glifosato, Paraquat, Picloram y compuestos sustitutos de la urea tales como Diuron. Estos químicos son rociados en las plantas objetivo, o aplicados en los suelos para que sean absorbidos por las raíces. Son utilizados para controlar la vegetación a los costados de las rutas, carreteras, tapiales, cercas, vallas eléctricas y lugares similares. Aquellos químicos aplicados al suelo, tienen efectos residuales, por lo tanto, una mala aplicación de los productos puede causar daños permanentes. Como ejemplo, árboles de más de un siglo de *A. Saccharum* y *Picea Abies*, destruidos por Picloram que fue aplicado en las plantas leñosas alrededor de las tumbas en un cementerio. Los herbicidas fenoxídicos y Dicamba son los que más comúnmente dañan los árboles y arbustos que no son frondosos. *R. pseudoacacia* es una planta considerada de sensibilidad intermedia a estos herbicidas y *U. americana* es una planta sensible (Wayne *et al.*, 2005). Este grupo de herbicidas alteran el balance hormonal normal de las plantas que regula los procesos como la división y elongación celular, la síntesis de proteínas y la respiración. Los daños se intensifican en periodos de alta humedad en el suelo y alta temperatura (Rosales Roble y Sánchez de la Cruz, 2006). Los herbicidas de contacto, tales como el Paraquat, que matan hojas y brotes suculentos, pero no las partes leñosas, causan lesiones oscuras o marrones, similares a las pústulas de algunos hongos. La corteza verde de algunos tallos de árboles en viveros, por ejemplo *Gleditsia triacanthos*, *Laburnum anagyroides*, *Quercus* spp., *Styphnolobium japonicum* y *Tilia* spp. pueden desarrollar estrías marrones o corteza marrón quebradiza después de la fumigación con herbicida de contacto (Wayne *et al.*, 2005).

En especies de *A. saccharum* y *P. abies* “abeto noruego” provocó la muerte por efecto de Picloram. *Pinus strobus*, cuando fue plantado en un suelo contaminado por Simazina, mostró síntomas de clorosis, defoliación y posteriormente su muerte; muerte de ramas, detenimiento del crecimiento de brotes y hojas, muerte de puntos de crecimiento se observó en *Pinus thunbergii* (pino negro japonés) lesionado por una mezcla de 2,4-D y MCPP aplicado al césped adyacente al comienzo de la temporada; en *Q. rubra* por 2,4 D (Fig. 14), el herbicida ingresó al árbol por las raíces, las hojas ya formadas presentaban pecíolos y nervaduras de longitud normal, pero los tejidos internervales no se desarrollaron y las nervaduras se curvaron, las hojas que están en una etapa temprana de crecimiento se atrofian, distorsionan y amarillean, esta característica es común todos los años en varias especies, en particular *A. negundo*, *C. occidentalis* y *U. pumila*, observándose además la muerte regresiva de las ramas y la muerte prematura de los árboles. Los típicos síntomas foliares causados por 2,4-D, son comunes cada año, en varias especies, notablemente en *A. negundo*, *C. occidentalis*, y *U. pumila*. La muerte repentina de las ramas y la muerte prematura de árboles frondosos en

setos, cinturones verdes y parcelas de árboles, son muy comunes y sucede a menudo. *C. occidentalis* y *U. pumila* son las especies más severamente afectadas (Wayne *et al.*, 2005).



Figura 14. Lesión de *Q. rubra* por 2,4 D. El árbol tomó contacto con el herbicida por las raíces. Las hojas formadas tienen pecíolos y venas de longitud normal, pero los tejidos internervales no se desarrollaron y las venas se curvaron (Wayne *et al.*, 2005).

Tolerancia relativa de las plantas a los herbicidas Fenoxi, Dicamba y Glifosato

-Plantas tolerantes a los herbicidas Fenoxi: *Abies* spp., *A. macrophyllum*, *A. rubrum*, *A. saccharinum*, *Catalpa*, *Crataegus*, *Fagus grandifolia*, *Juniperus*, *J. Virginiana*, *Nyssa sylvatica*, *Pinus*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pyrus communis*, *Quercus virginiana*, *Rhododendron maximum*, *R. occidentale*, *Taxodium distichum*, *Thuja occidentalis* y *Tilia americana*.

-Plantas de sensibilidad intermedia a Fenoxi: *Acer saccharum*, *Aesculus*, *Alnus rubra*, *Berberis*, *Carya*, *Eleagnus angustifolia*, *Fraxinus americana*, *F. pennsylvanica*, *F. quadrangulata*, *Gymnocladus dioica*, *Ligustrum*, *Liquidambar styraciflua*, *Morus*, *Picea pungens*, *P. balsamifera*, *P. deltoides*, *P. tremuloides*, *Prunus*, *Quercus alba*, *Q. kelloggii*, *Q. nigra*, *Q. palustris*, *Q. rubra*, *Rhododendron*, *R. pseudoacacia*, *Syringa vulgaris*, *Taxus*, *Tsuga*, *Ulmus alata* y *U. americana*.

-Plantas sensibles al herbicida Fenoxi:*Acer ginnala*, *A. negundo*, *A. platanoides*, *Aesculus hippocastanum*, *Ailanthus altissima*, *Albizia julibrissin*, *Amelanchier* spp., *Arbutus menziesii*, *Betula*, *C. occidentalis*, *C. canadensis*, *Cladrastis lutea*, *Cornus* spp., *Forsythia* spp., *Fraxinus latifolia*, *G. triacanthos*, *Juglans* spp., *Liriodendron tulipifera*, *Malus pumila*, *Phellodendron amurense*, *Platanus* spp., *P. deltoides* subespecie *monilifera*, *Q. velutina*, *Rhododendron canescens*, *Rhus* spp., *Rosa* spp., *Salix* spp., *Sambucus* spp., *T. cordata*, *U. pumila*, *Vitis* spp. y *Wisteria sinensis*.

-Plantas tolerantes a Dicamba:*Juniperus virginiana*, *P. deltoides*, *Quercus velutina*, *Quercus virginiana* y *R. Canescens*.

-Plantas de sensibilidad intermedia a Dicamba:*Acer platanoides*, *A. rubrum*, *A. saccharinum*, *Aesculus*, *Carya*, *C. occidentalis*, *F. grandifolia*, *F. americana*, *F. pennsylvanica*, *Juglans nigra*, *Q. rubra*, *U. alata* y *U. americana*.

-Plantas sensibles a Dicamba:*A. negundo*, *A. saccharum*, *A. altissima*, *A. rubra*, *Amelanchier*, *Berberis*, *Betula*, *Catalpa*, *C. canadensis*, *Crataegus*, *G. triacanthos*, *Juglans*, *Juniperus*, *L. styraciflua*, *L. tulipifera*, *M. pumila*, *N. sylvatica*, *P. pungens*, *P. glauca*, *Pinus echinata*, *Platanus occidentalis*, *P. deltoides* subespecie *monilifera*, *P. tremuloides*, *P. menziesii*, *Q. alba*, *Q. palustris*, *Rhododendron maximum*, *R. pseudoacacia*, *Syringa*, *Taxus cuspidata*, *Thuja occidentalis*, *Tilia americana* y *Tsuga canadensis*.

-Variación en las respuestas de las plantas ante el Glifosato

En orden decreciente de tolerancia podemos mencionar en primer lugar a las especies coníferas, en menor medida los frondosos siempreverdes, y por último, los árboles y arbustos caducifolios. Las coníferas son más sensibles en la primavera, que en verano y son insensibles durante el período de latencia, ya que no absorben Glifosato durante su período de inactividad. La tolerancia relativa de las Angiospermas leñosas, también varía y está basada en la habilidad de las plantas para absorber el herbicida mediante las raíces y tallos, según el comportamiento en las diferentes estaciones del año. Las plantas caducifolias expuestas al Glifosato en primavera tienden a trasladar menos herbicida a sus tallos y raíces que si la exposición se hubiera dado en el final del verano o comienzo del otoño. Consecuentemente, la exposición durante la primavera induce síntomas en las puntas de los brotes, pero las plantas se recuperan rápidamente. En cambio, la exposición durante el otoño resulta en un daño sistemático y se hace evidente al siguiente año. Los brotes de estas plantas son deformes, cloróticos, en forma de racimos apretados, y con un crecimiento leve (Wayne et al., 2005).

Plantas herbáceas y no vasculares bioindicadoras de la contaminación ambiental.

Métodos para su detección

El Instituto de Ecología de Bolivia estudia desde 1992 la aplicabilidad de las plantas como bioindicadores de la calidad del aire en el ambiente urbano especialmente en las ciudades de La Paz y El Alto, utilizando para ello distintos métodos de biomonitoreo pasivo y activo. Entendiéndose por biomonitoreo pasivo a la utilización de especies que se encuentran presentes en el medio a evaluar, y en oposición se denomina biomonitoreo activo cuando la especie utilizada es introducida y/o en sistemas de exposición controlada (Anzeet *al.*, 2007).

En este caso se contempló que las especies a emplear debían ser aptas para grandes amplitudes térmicas extremas y a su vez, sensibles a la contaminación atmosférica, por lo que es importante saber diferenciar el origen de los síntomas que manifiestan los organismos, es decir, si son causadas por variables ambientales y/o inducidas por calidad de aire. Se utilizó como biomonitores activos a *Raphanussativus* “rábano” especie indicadora de la calidad integral del aire, a *Loliummultiflorum* “raigrás anual” como acumuladora de metales pesados, y como biomonitores pasivos se utilizó la cartografía de líquenes sobre la corteza a través de una rejilla de relevamiento de 1/10 m² en cada árbol ornamental determinando la presencia o ausencia de especies sensibles y tolerantes, combinado con el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) para evaluar la calidad del aire y poder así, realizar una zonificación del área evaluada en diferentes niveles de contaminación y a *Tradescantia cerinthoides* “tradescantia” para biomonitoreo de la genotoxicidad del aire.

Se utilizó *L. multiflorum* var. *Lemaes* una especie robusta que puede usarse durante todo el año para evaluar la acumulación de metales pesados, a diferencia de otras variedades, esta muestra una respuesta más homogénea y además, su uso está estandarizado. Se empleó un método de exposición controlada, observándose la reacción a través de la degradación de clorofila “a”, como consecuencia de los contaminantes gaseosos, oxidándose a feofitina “a”, obteniéndose el índice de feofitinización (IF= feofitina/clorofila). Se cuantificó la concentración a través de espectrofotometría, mientras mayor era el índice, mayor era la contaminación. Como indicador de acumulación se analizó la concentración de Pb y Cd en las hojas en laboratorio para posteriormente evaluar la calidad del aire en la ciudad de La Paz. Asimismo es utilizado para la detección de Hierro (F) y SO₂ ya que posee la capacidad de acumular F y S en sus tejidos (Anzeet *al.*, 2007).

Lolium spp., *R. sativus* y *Vicia* spp. son especies cultivadas en condiciones controladas de poca contaminación atmosférica hasta lograr su desarrollo óptimo y luego son colocadas en

macetas en los postes de luz a 2 metros de altura, con un techito para evitar la influencia de los rayos UV (Anzeet *al.*, 2007).

Las hojas y el hipocótilo de *R.sativus cv Cherry Belle* “rábano o rabanito” son utilizados como bioindicadores ya que cumple con todas las características típicas de un buen bioindicador. Es una especie que tolera grandes altitudes, resiste las heladas invernales y posee un rápido desarrollo, es sensible a diferentes contaminantes atmosféricos, siendo más estudiados aquellos causados por el O₃, ya que ante su exposición, se observa una reducción de biomasa. Esta especie es resistente a plagas, posee un bajo costo de los análisis y presenta buena respuesta a situaciones de contaminación atmosférica. También se utiliza *V. faba cv Pairumani* “haba” para el mismo fin, ambas son plantas económicas, de fácil germinación, rápido crecimiento y soporta las bajas temperaturas de invierno, por lo que es apta para mediciones durante todo al año. Esta última además es sensible al SO₂ y al O₃, pero es sensible al ataque del hongo fitoparásito *Botrytis fabae* (Anze, 1996a). Se evaluó el área foliar dañada por clorosis y/o necrosis, deficiencias en el crecimiento y la biomasa fresca y seca de las plantas. (Anzeet. *al.*,2007).

Se utilizaron dos clones de *T.repens* “trébol blanco”, uno resistente y otro tolerante a O₃, propagados a través de esquejes para mantener la homogeneidad genética. Los daños causados por el gas fueron medidos en su biomasa y alteraciones foliares como clorosis y necrosis (Anzeet *al.*, 2007) (Fig. 15)



Figura 15. Daño típico por ozono en *T. repens*. Clon sensible (Anzeet *al.*, 2007).

Para la evaluación de efectos genotóxicos se utilizó *T.pallidassp.purpurea* “purpurina” las que frente a la exposición de radiación y de contaminación en aire, aguas y suelos (Anzeet *al.*, 2007), producen micronúcleos, por efecto

de mutágenos ambientales, en las células madre de los pólenes (Fig. 16). Esta variedad, necesita de temperaturas mayores de los 15°C para desarrollar su inflorescencia, a diferencia de ello, *T. cerinthoides* es más robusta y desarrolla inflorescencias durante todo el año, pero no se cuenta con información bibliográfica que fundamente que reacciona del mismo modo que *T. pallida* (Anzeet *et al.*, 2007).

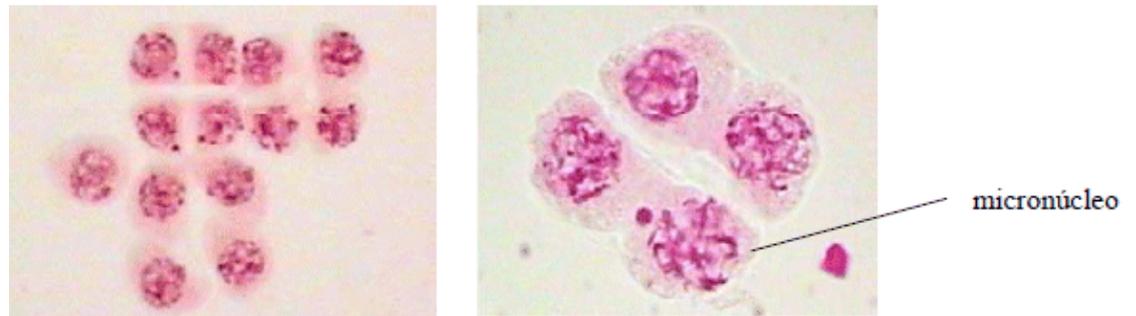


Figura 16. Tétradas tempranas (izq), tétrada con un micronúcleo (der)
(Anzeet *et al.*, 2007).

Algunas especies de líquenes son utilizadas como bioindicadores (Aguirre *et al.*, 2012) ya que al obtener la mayor parte de sus nutrientes de este medio, son muy sensibles ante variaciones en la composición del aire por la contaminación. Los líquenes crecen en una gran variedad de ambientes y viven durante periodos considerables de tiempo, sumado a esto, son organismos poiquilohídricos, es decir que carecen de mecanismos para regular el contenido hídrico y prevenir la desecación, de este modo, su talo queda permanentemente expuesto a los contaminantes presentes en el aire (Ochoa-Jiménez *et al.*, 2015). Por otro lado, esta característica les permite mantener sus funciones vitales como ser la fotosíntesis y la respiración frente a la sequía, por medio de células pequeñas sin vacuola central que se contraen ante estas situaciones, y una vez que se hayan vuelto a hidratar, retoman su actividad metabólica y crecimiento normales (Larcher, 1977).

Los líquenes, presentan distintos niveles de tolerancia dependiendo de la especie y se producen cambios en la diversidad y frecuencia de las comunidades en función de la contaminación atmosférica, siendo estos parámetros inversos, es decir que mientras mayor sea la contaminación, menor es la diversidad y frecuencia de especies. Estos estudios permitieron realizar programas para mejorar las condiciones de la calidad de aire de la ciudad (Ochoa-Jiménez *et al.*, 2015).

Anzeet *et al.*, (2007) analizaron el comportamiento de tres especies de líquenes, *Usneasubfloridana*, *Stereocaulonramulosum* y *Hypotrachinaphyscioides*, como biomonitores activos, fueron extraídos de una zona no contaminada, sometiénolas a pruebas controladas de

laboratorio para evaluar cambios en la producción de CO₂, como consecuencia de cambios en la respiración debido a una exposición a concentraciones conocidas de SO₂ utilizando para ello el método de Rovalo y Rojas. El método de cartografía de líquenes es muy económico y rápido, pero presenta como limitante la necesidad de expertos entrenados en el reconocimiento de las especies en el campo. Se evaluó sobre los cambios morfológicos producidos como clorosis y necrosis y la respiración a través de métodos volumétricos. La vegetación aumenta la humedad del aire, adsorbiendo y absorbiendo parcialmente los contaminantes, mejorando la condición ambiental para los líquenes.

En Ecuador se observaron cambios en la composición de líquenes en función de la contaminación atmosférica, usando el índice de pureza atmosférica (IPA), y el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) y PERMANOVA, determinándose con estos últimos, las especies presentes en función de la contaminación. Se pudo determinar que los menores valores de IPA, estaban relacionados a zonas de mayor tránsito vehicular y de menor área verde (Ochoa-Jiménez *et al.*, 2015).

Dentro de las micropartículas presentes, el NO, el SO₂, CO y el O₃, son las principales liberadas por el tránsito vehicular y producen daños en la comunidad de líquenes afectando su morfología, fisiología y diversidad y en la vegetación en general (Deschamps, *et al.*, 1997; Ochoa-Jiménez *et al.*, 2015). Estos son extremadamente sensibles a la presencia del SO₂, sobre todo los líquenes foliosos y los dendroides. Concentraciones de 1/100 que solo ocasionan perturbaciones a las plantas, son suficientes para interferir en la respiración de líquenes, su catabolismo de la clorofila e inhibir el crecimiento (Larcher, 1977).

Relevamiento fotográfico

Las siguientes imágenes, pertenecen a árboles de *R. pseudoacacia* y *M. azedarach* obtenidas en el año 2017 en distintos puntos de la ciudad de Río Cuarto (Figs. 17 a 34). Estas especies presentaban una reducción foliar en las láminas del estrato inferior.



Figura 17. Ramificación de *R. pseudoacacia* con hojas normales y reducidas, ubicado en calle Belisario Roldán al 400



Figura 18. Folíolos normales (izquierda) y reducidos (derecha), de *R. pseudoacacia*, correspondiente a un ejemplar de la Figura 17.



Figura 19.*M. azedarach*. Calle Roma 2400



Figura 20.Detalle de hojas afectadas pertenecientes al ejemplar de la figura 19



Figura21. *R. pseudoacacia*. Hojas del estrato inferior de la copa con reducción de foliolos.
Calle José M. Estrada 500



Figura22. Hojas normales y reducción foliar en la misma ramificación del estrato inferior de la copa correspondiente al ejemplar de la figura 21.



Figura 23. *M. azedarach*, ubicado en GdorGuzmán 1100



Figura 24. Reducción foliar de *M. azedarach* correspondiente al ejemplar de la figura 23.



Figura 25. *M. azedarach*. Calle P. Goyena 1500-1600 (Zona Este de la ciudad de Río Cuarto)



Figura 26. Reducción de hojas de *M. azedarach* correspondiente al ejemplar de la figura 25.



Figura 27. *M. azedarach*, calle Belisario Roldan (Frente a un colegio debarrio Alberdi)



Figura 28. Hoja normal (izquierda) y reducción foliar (derecha) delejemplar de la figura 27.



Figura 29. *R. pseudoacacia*, campus UNRC



Figura30. Hojas normales y reducidas de *R. pseudoacacia* en la misma ramificación del ejemplar de la figura 29.



Figura31. Aspecto general de *M. azedarach*, Campus UNRC



Figura 32. Hojas normales y reducidas de *M. azedarach*, en la misma ramificación delejemplar de la figura 31.



Figura 33. Folíolos normales y reducidos de *M. azedarach*. Campus UNRC



Figura 34. Folíolos con desarrollo normal y reducido de *M. azedarach* en la misma ramificación, ubicado en medio de dos colegios del barrio Alberdi, distanciados del mismo, uno a 100 m al norte y el otro 100 m al sur

Estas imágenes guardan una relación por su similitud a lo descrito por Deschampset al.(1997) con respecto al síntoma de “escoba de bruja” manifestado en los ejemplares de *R. pseudoacacia*, producto de la exposición a productos químicos. Para tener certeza de ello, deberían realizarse análisis foliares en laboratorio.

Entrevistas

El objetivo de las entrevistas a personas calificadas fue indagar sobre sus conocimientos acerca de la función que cumplen las especies bioindicadoras y si estos aspectos se tienen en cuenta para la planificación del arbolado urbano, sobre los síntomas observados en las especies presentadas, los agentes causales y las formas de manejo.

A partir de la entrevista realizada en forma personal al Ingeniero Agrónomo FrancoCerolini, responsable del área de espacios verdes de la Municipalidad de Río Cuarto, se presenta la siguiente síntesis:

Las especies presentes en el macrocentro de nuestra ciudad, se obtuvieron recientemente a través de un relevamiento llevado a cabo por la cátedra de Espacios Verdes de la FAV de la Universidad Nacional de Río Cuarto. Se determinó que las más frecuentes son, fresno europeo, acacia bola, acacia visco, acer, aguaribay, álamo carolino, ciruelo de flor, crespón, fresno americano, jacarandá, ligustro áureo, ligustro verde, mora híbrida, olmo, palmera, paraíso, plátano, sófora y tilo. También se observó el estado fitosanitario mismas y se registró la frecuencia de las especies, ubicándose en primer lugar al fresno americano (*F. excelsior*), seguido por el crespón (*Lagerstroemia indica*) y en tercer lugar el ligustro áureo (*L. lucidumfor. aureovariegata*).

Los criterios utilizados para la elección de las especies, surge de una mesa de debate denominada “Concejo del arbolado” integrada por miembros del Colegio de Agronomía, participación de Ingenieros Agrónomos de la UNRC, personal de la Municipalidad y del vivero La Minga. Se planteó un listado de especies y las características a tener en cuenta para la elección de las mismas. Se elaboró una lista con las especies recomendadas, las no recomendadas y las prohibidas lo que se plasmó en la nueva ordenanza (medidas y sanciones para los vecinos que actúen de forma inapropiada en el manejo de los árboles).

Los aspectos que se tuvieron en cuenta para determinar las especies a emplear fueron, en primer medida, el ancho de vereda, la zona fitogeográfica en la que estamos ubicados, aspectos propios del árbol como las características de crecimiento y el tamaño

final del mismo, característica del sistema radical (no deben ser invasoras, ni presentar raíces superficiales), de madera dura, ser especies caducifolias que permitan disminuir la radiación en primavera-verano y el paso de la misma en estaciones de bajas temperaturas. También se tuvieron en cuenta factores estéticos, de circulación (por ejemplo que sean de tronco desnudo), que brinden buena sombra, de tallo único (evitar arbustos). Se valoraron a las especies autóctonas por su rusticidad en cuanto a las enfermedades, tolerancia a las heladas, y bajos requerimientos de agua. Se recomienda a los vecinos la plantación de pezuñas de vaca, jacaranda, lapacho, especies que si bien son autóctonas de nuestro país, no pertenecen a nuestra región fitogeográfica, pero tienen una relativa adaptación.

Algunas especies presentes, mostraron algunos inconvenientes como, la presencia de plátanos en el centro, que si bien tienen un alto valor como ornamentales y buen desarrollo, no son aptas para dimensiones reducidas de veredas. El siempreverde (especie perennifolia) está prohibido por poseer un sistema radical que se expande en los primeros centímetros de suelo, por ser invasiva, y llegar a un tamaño final considerable. El paraíso y el siempreverde, levantan las veredas, presentan hidrotropismo positivo, ya que dirigen sus raíces hacia el agua y al encontrar fisuras en las cañerías antiguas de material, penetran en su interior y producen roturas, creciendo dentro de las mismas llegando incluso a aparecer en los inodoros de las viviendas. En estos casos antes de la extracción del árbol, se procede a la inspección de las raíces, se cava y se observa si las mismas son de anclaje o si son secundarias, en este último caso, las podan y salvan el árbol, como es el caso de los jacaranda y lapacho, que desarrollan raíces profundas y superficiales secundarias, por lo que se pueden podar sin generar debilitamiento del árbol.

En cuanto a las características que deben tener las especies a plantar, es que tengan una altura de 1,8 m, un diámetro de 5 cm de tronco y al menos cuatro ramificaciones.

La principal anomalía que se identifica en los árboles es la pudrición de los tallos desde adentro hacia afuera ocasionada por causas antrópicas y en el 80 % de los casos por podas incorrectas, que se realizan en general para disminuir la altura de los árboles (realizadas por los vecinos), principalmente en *R. pseudoacaciavar*. *Umbraculifera*, “Acacia bola” y en *F. americana* “fresno americano”. Al no respetar la zona de unión cuello-arruga, ocurre un retraso en la cicatrización, pudiendo generar pudriciones internas que debilitan la madera provocando la caída de ramas y en casos extremos, la caída prematura de los ejemplares.

Acacia bola es una especie susceptible a ser colonizada por hongos y bacterias ante una poda mal realizada; lo que genera árboles enfermos, con pudrición del tronco. Al cortar

las yemas apicales, se activan yemas laterales que emiten ramas chuponas, de crecimiento vigoroso, que por su propio peso y tamaño, se quiebran con facilidad.

M. azedarach es afectada por un micoplasma que produce “amarillamiento del paraíso”; cuando la copa presenta un 50% del síntoma en sus copas, deben ser extraídos. Esta enfermedad es transmitida por una chicharrita del orden cicadélido que ocasiona el amarillamiento del follaje, ramas con forma de “escoba de bruja”, muerte de ramas y de árboles. El Olmo, también manifiesta una enfermedad en las hojas que adquieren un color gris; si bien no es una especie muy abundante ni recomendada para el arbolado urbano debido a su alta capacidad de germinación y rebrote de cepa, características que la sitúan como una especie invasora. Las demás especies, no presentan problemas fitosanitarios. Otro inconveniente es el empleo de especies susceptibles al frío que no toleran condiciones de temperaturas bajas y heladas intensas, que pueden ocurrir en nuestra zona geográfica.

Respecto al conocimiento de las especies bioindicadoras, si bien el entrevistado manifestó estar al tanto, no fue una característica contemplada al momento de planificar el arbolado urbano de nuestra ciudad.

Según el entrevistado, el Área de Espacios Verdes de la Municipalidad de Río Cuarto, parece estar más organizada en relación a periodos anteriores; se han revisado expedientes antiguos, actualizando aquellos que aún no se han resuelto, sin dejar de lado los reclamos presentes. Se cuenta con un sistema de multas que llega a los \$60.000 por manejos inadecuados del arbolado urbano, con la posibilidad de anular la misma, si se compra un determinado número de árboles, los que posteriormente van a ser usados para reforestar distintas áreas de la ciudad. La ley provincial 7874/08 de Mendoza, fue usada como modelo para redactar la Ordenanza 558/17 del Concejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto, ya que si bien cuentan con un régimen hidrológico inferior (400 mm anuales), su apropiada planificación y diseño de ciudad, les permite tener un desarrollo de los espacios verdes de importante consideración.

Otra de las entrevistas a personas calificadas, fue realizada a la Ingeniera Agrónoma Ángela Villademoros, especializada en arboricultura, entomología y ambiente, de la cual surgieron aportes muy valiosos como fuentes bibliográficas y experiencias personales relacionadas a la temática de los bioindicadores.

Todas las especies vegetales en mayor o menor medida muestran cambios, anomalías en su crecimiento o pueden tolerar diferentes niveles de contaminación. Algunas de ellas como por ejemplo el “paraíso”, *M. azedarach* es altamente sensible a la presencia de herbicidas hormonales y otras sustancias químicas volátiles, manifestando en su follaje una

reducción o estrechamiento de la lámina foliar (hoja de helecho), y posteriormente en etapas más avanzadas o de más alta contaminación, la brotación de múltiples yemas (escobas de bruja). Otros casos como algunas coníferas cercanas a áreas industriales pueden manifestar un engrosamiento de sus ramas.

En cuanto a la función y la importancia de las mismas es la de tolerar, indicar o ser capaces de metabolizar en mayor o menor medida algunos contaminantes ambientales en sus hojas. Las que manifiestan síntomas pueden utilizarse como plantas indicadoras. Con respecto al empleo de esta característica en Rosario, no hay conocimiento de que hayan sido usadas directamente para tal fin, pero si, del registro de contaminación del aire por monitoreo y en algún momento se realizó un trabajo complementario sobre las hojas de *Tilia x Moltkei* "tilo", emplazados en el área más céntrica para evaluar material particulado sobre el follaje (Principios años 90), detectándose la presencia de particulados procedentes en mayor medida de industrias y en menor medida de combustión de motores y transporte urbano. Una vez identificado el inconveniente y el origen del mismo, se procedió como medida mitigatoria a regular los medios de transporte y a la planificación de la forestación del centro y microcentro de la ciudad.

Con respecto a su conocimiento acerca del empleo de bioindicadores en la planificación de otras ciudades, expreso que bien no conoce de su uso en paisajismo, pero sí de estudios de follaje para determinar contaminantes o la observación del desarrollo en troncos o ramas de líquenes, que son indicadores de aire puro. Su utilización en las cortinas o filtros alrededor de las industrias, permite detectar rápidamente emisión de contaminantes.

Otros aportes de interés que surgieron a partir de la comunicación fueron que *M. azedarach* "Paraíso", es una planta indicadora, el síntoma denominado "hoja helecho" se detectó en Rosario y en su zona de influencia, hace más de 15 años y como consecuencia básicamente de la aplicación de herbicidas hormonales, fue la primera especie en la que comenzó a identificarse esta sintomatología. Hace muchos años atrás, se identificaban problemas por la utilización de 2,4 D en su zona, aún antes de que surgiera la soja transgénica, ya que se usaba para malezas de hoja ancha en cultivos de trigo, entre otros, y además se aplicaba, aunque en menor medida y combinado con otros herbicidas hormonales, en césped para controlar malezas de hoja ancha.

Hay una serie de especies vegetales que son afectadas con determinadas sustancias altamente volátiles, resultado de procesos químicos ocurridos en plantas industriales. En Rosario hay empresas que liberan a la atmósfera SH₂ y HCl, debido a que no se realizan los protocolos correspondientes para el tratamiento de la contaminación ambiental; manifestando distintas alteraciones, como ser engrosamientos o fasciaciones que se dan en

coníferas, hoja helecho (lámina afinada) o caída de hojas (cuando la concentración en el ambiente es muy elevada), estas características varían en función de la especie afectada.

Una característica que sirve para considerar que las alteraciones son producto de las causas mencionadas en el párrafo anterior, es que se dan en forma masiva, manifestándose en todos los individuos y no en uno o dos, como ocurre en caso de enfermedades, o de ataques de plagas. También puede ser por un aumento de las napas freáticas, que si bien no tiene que ver con la contaminación, pero si, con un cambio en el ambiente.

Además, se realizaron contactos con personas de distintos países de Latinoamérica pertenecientes a distintas instituciones las que se mencionan a continuación:

- Universidad Mayor de San Andrés, Cochabamba, Bolivia.
- Universidad de Nariño y Universidad de Quito, Ecuador.
- Área de bosques. Quito, Ecuador
- Universidad del Sagrado Corazón, Santurce, Puerto Rico
- Departamento de Ciencias Naturales de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNRC
- Cátedra de Morfología Vegetal, de la FCEFYN, de la Universidad Nacional de Córdoba.

Algunas de las personas contactadas solo brindaron información bibliográfica,

Censo de especies del arbolado urbano de Río Cuarto

En la ciudad de Río Cuarto (pcia de Córdoba) se realizó un relevamiento que abarcó 768 cuerdas. Las variables censadas de interés para el presente trabajo fueron: especies presentes, su frecuencia y estado sanitario. Fue llevado a cabo por 16 estudiantes en estado avanzado de la carrera de Ingeniería Agronómica, quienes previamente se instruyeron en un curso de capacitación denominado “Fundamentos y técnicas para censar e inspeccionar el arbolado urbano”. Los resultados de este estudio permitieron identificar la presencia de 66 especies arbóreas vegetales, de las cuales, solo 36 poseen las características aptas para el arbolado urbano (Sommaet *al.*, 2017).

Como se observa en la figura 33, del total de árboles censados, el 68% se encuentra en buen estado, el 18% en estado regular, 8% en estado malo, 2% en estado seco y 4% en estado riesgoso, considerándose como tal a aquellas especies que en el corto plazo pueden generar accidentes en personas, vehículos y/o viviendas (Sommaet *al.*, 2017).

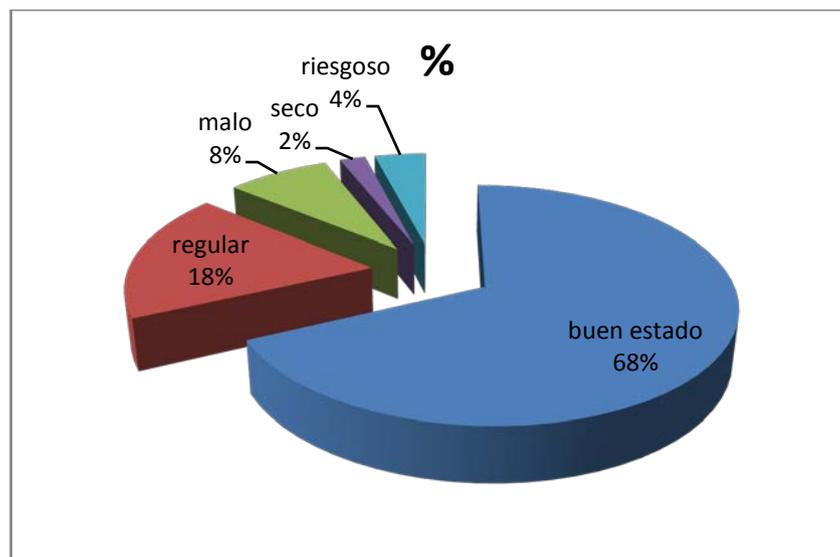


Figura 35. Estado del arbolado urbano en el sector macro centro de Río Cuarto
Fuente: Sommaet al.,2017

Ordenanza 558/17 del Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto

Las especies recomendadas para calles con veredas de 1,5 a 2,5 m de ancho son: *Acer buergerianum* “Arce tridente”, *Albizia julibrissin* “Acacia de Constantinopla”, *Bahuinia forficata* “Pezuña de vaca”, *Caesalpinia gilliesii* “Lagaña de perro”, *Cercis siliquastrum* “Árbol del amor”, *Kageneckia lanceolata* “Durazno del campo”, *Lagerstroemia indica* “Crespón”, *Malus spectabilis* “Manzano de adorno”, *Prunus ceracifera* for. *atropurpurea* “Ciruelo de flor”, *Prunus persica* for. *duplex* “Duraznero de flor”, *Rupechtia apetala* “Manzano de campo”, *Senegalia visco* “Viscote”, *Senna corymbosa* “Sen del campo”, *Vachellia caven* “Espinillo”(Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto, 2017).

Las especies recomendadas en calles y avenidas con veredas de 2,5 a 5 m de ancho son: *Celtis ehrebergiana* “Tala”, *Cercidiumpraecox* “Chañar, chañar-brea” “Brea”, *F. excelsior* “Fresno europeo”, *F. excelsior* f. *aurea* “Fresno dorado”, *Fraxinus ornus* “Fresno de flor”, *Geoffroea decorticans* “Chañar”, *Handroanthus albus* “Lapacho amarillo”, *Handroanthus pulcharrium* “Lapacho amarillo”, *Handroanthus simpetiginosus* “Lapacho rosado”, *Jacarandá mimosifolia* “Jacarandá”, *L. styraciflua* “Liquidambar”, *Parkinsonia aculeata* “Cina cina”, *Schinopsis marginata* “Horco quebracho”, *Schinus fasciculatus* “Moradillo”, *Schinus molle* “Aguaribay”, *T. cordata* “Tilo”(Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto, 2017).

Las especies no recomendadas para el arbolado urbano son: *Cedrus atlantica* for. *aurea*, *Crataegus azarolus*, *Crataegus oxyacantha*, *C. macrocarpa* for. *lutea*, *Populus alba*,

P. indica var. *italica* “Alamo negro”, *Rosa rubiginosa* “Rosa mosqueta”, *Rubus fruticosus* “Zarzamora”, *Rubus ulmifolius* “Zarzamora”, *T. occidentalis* “Tuya”(Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto, 2017).

Las especies prohibidas en el arbolado urbano son *A. negundo* “Arce”, *L. lucidum* “Siempre verde”, *M. azedarach* “Paraiso”, *R. pseudoacacia* “Acacia blanca”, *S. japonicum* “Acacia de japon”, *U. pumila* “Olmo”, *Morus alba* “Mora”, *G. triacanthos* “Acacia negra”, *M. azedarach* var. *umbraculifera* “Paraiso sombrilla”, *Tamarix gallica* “Tamarisco”, *Tamarix ramosissima* “Tamarisco”, *Tamarix chinensis* “Tamarisco” (Consejo Deliberante de la ciudad de Río Cuarto, 2017).

Una de las especies permitida en el arbolado urbano de Río Cuarto y que puede ser usada como indicadora de la presencia de metales pesados, es el *Fraxinus* spp.; por otro lado, las especies *L. lucidum*, *M. azedarach* y *R. pseudoacacia*, son consideradas prohibidas en nuestra ciudad, sin embargo, distintas bibliografías, las consideran útiles como indicadoras de contaminación ambiental; estudios realizados en Córdoba fundamentan la importancia de *L. lucidum* como bioindicadora (Bruno *et al.*, 2007; Alcalá *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

El uso de organismos bioindicadores, es una estrategia interesante para diagnosticar el problema de contaminación de una ciudad y en base a ello, tomar las medidas necesarias para corregirlo, teniendo como ventaja que muchas de las especies citadas se encuentran presentes en nuestra ciudad, por lo que solo sería necesario identificar y estudiar los métodos para su diagnóstico.

Si bien *L. lucidum* está prohibida en el arbolado urbano de la ciudad de Río Cuarto podrían usarse los ejemplares existentes, aprovechando sus cualidades como bioindicadores. El uso de esta especie podría considerarse en áreas donde no genere inconvenientes, o bien utilizar otras especies de comportamiento similar, para evaluar y mitigar el grado de contaminación de tránsito vehicular.

B. populneus “braquiquito”, si bien es una especie poco abundante en nuestra ciudad, se han encontrado ejemplares con buenos crecimientos por lo que podría considerarse su plantación debido a su condición de bioindicadora.

Especies como *M. azedarach*, *Fraxinus* spp., *Morus* spp., *P. occidentalis* y *Cupressus arizonica*, pueden guardar dentro de su estructura distintos tipos de metales que resultan tóxicos para el ambiente, sin embargo alguna de ellas como *M. azedarach* presenta problemas sanitarios serios por lo que debería descartarse su empleo en el arbolado urbano.

Antecedentes de sensibilidad en *M. azedarach* frente a la pérdida de gas de cañerías, y la sintomatología de escoba de bruja en *R. pseudoacacia* por productos químicos concuerda con lo observado en ejemplares de la ciudad de Río Cuarto. Al ser especies que expresan la presencia de distintos contaminantes, sería interesante profundizar en su estudio.

Si bien es difícil evaluar los daños causados por rocío y vapor de herbicidas hormonales, debería considerarse su estudio teniendo en cuenta que nuestra ciudad se encuentra rodeada de un importante sector agrícola y hortícola donde la aplicación de estos productos es habitual pudiendo ser la causa de los síntomas observados en los árboles.

Teniendo en cuenta la alteración foliar en gran parte de los ejemplares de *R. pseudoacacia* en Río Cuarto, debería profundizarse el estudio de esta especie para identificar el agente causal.

A. melanoxylon y *P. balsamífera*, si bien poco representativas en nuestra ciudad, podrían incorporarse al arbolado por su condición de ser resistentes a insectos, polvo y gases.

P. elliottii y *P. taeda*, están recomendados como bioindicadores para determinar zonas de mayor concentración de compuestos azufrados, por lo que podrían emplearse en cortinas rompevientos en áreas periurbanas.

Las plantas no vasculares, también representan un buen potencial como especies indicadoras de la calidad del aire, presentando como ventaja que pueden encontrarse naturalmente en el medio o en caso de ser necesario, pueden sembrarse sin mayores inconvenientes, y obtener resultados a muy corto plazo.

El empleo de Bioindicadores es una herramienta de seguimiento y control de contaminación, accesible, de bajo costo, alta disponibilidad, y rapidez, adaptándose a diferentes condiciones económicas y climáticas, por tales motivos, el no considerar su empleo, sería ignorar la posibilidad de utilizar una herramienta para mejorar en parte la calidad de vida de nuestra sociedad. Podría incorporarse como requisito a la hora de elegir una especie para el arbolado urbano.

Si bien la contaminación es un problema a nivel mundial, seguramente las medidas que se tomen a nivel local no van a solucionar este inconveniente, pero sí pueden mejorar las condiciones. Por un lado, se pueden utilizar estrategias para disminuir la emisión de contaminantes y por el otro, reducir los gases presentes, mediante el arbolado urbano, de áreas industriales y destinar espacios públicos distribuidos en la ciudad y en la periferia con concentración de especies arbóreas, que actúen como pulmones verdes.

La calidad de vida está afectada por el ambiente en que nos desarrollamos, por lo tanto, debemos crear y promover una cultura que sea más consciente de ello. Si bien la urbanización y la industrialización son útiles y necesarias para el desarrollo de una sociedad, su crecimiento debe ir acompañado en igual medida de árboles. Por lo que es fundamental considerar la planificación del arbolado urbano en las ciudades con una mirada más holística, considerando no solo el factor estético sino también funcional teniendo en cuenta la multiplicidad de beneficios que brindan.

Cuidar el medioambiente es una tarea conjunta, no solo de las autoridades que nos representan, sino también de todos y cada uno de los integrantes de una sociedad; para este objetivo es necesario emplear políticas locales que refuercen esta ideología, contemplando la difusión, expresándole a la sociedad la importancia en el cuidado y transmitiendo los beneficios de lograr una ciudad verde, obteniendo como resultado un cambio de cultura que cuide aquello que también le pertenece.

La incorporación de actividades educativas y recreativas orientadas a la producción y al cuidado del arbolado urbano en los colegios de la ciudad, podrían producir un cambio cultural en los niños y jóvenes generando un sentido de pertenencia hacia el lugar donde vivimos, y de este modo, concientizar sobre la responsabilidad de cada uno para mejorar el ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUIRRE Z. Y C. AGUIRRE. 2012. Las plantas vasculares como indicadores de la calidad de los ecosistemas. Disponible en: <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/las-plantas-indicadores-de-la-calidad-de-los-ecosistemas-revista-ecologia-forestal1.pdf>. Consultado: 23/06/2017.
- ALCALÁ J., M. SOSA, M. MORENO, C. QUINTANA, G. QUINTANA, S. MIRANDA Y A. RUBIO. 2008. Metales pesados en vegetación arbórea como indicador de la calidad ambiental urbana: ciudad de Chihuahua México Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-73292008000100002. Consultado: 27/09/2017.
- ANZE R., M. FRANKEN, M. ZABALLA, M. R. PINTO, G. ZEBALLOS, M D L Á. CUADROS, Á. CANSECO, A. DE LA ROCHA, V. H. ESTELLANO, S. DEL GRANADO. 2007. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1995-10782007000100005&script=sci_arttext. Consultado: 23/06/2017.
- BRUNO G., L. STIEFKENS, M. HADID, I. LISCOVSKY, M. T. COSA Y N. DOTTORI. 2007. Efecto de la contaminación ambiental en la anatomía de la hoja de *Ligustrum lucidum* (Oleaceae). Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S18512372200700020009. Consultado: 12/08/2017.
- CANÉ L. 2008. Árboles que se cultivan en Argentina. 1ª ed. El jardín en la Argentina S.A. Buenos Aires, Argentina. 14-19 p
- CONCEJO DELIBERANTE DE LA CIUDAD DE RÍO CUARTO. 2017. ORDENANZA 558/17. Disponible en: http://www.riocuarto.gov.ar/files/documentos/1525712067_Ordenanza%20558-17%20especies.pdf. Consultado: 28/09/2018
- DECRETO-LEY 8912/77. Ley de ordenamiento territorial y uso del suelo, provincia de Bueno Aires. En: <http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-8912.html>. Consultado: 23/08/2018

- DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO MEDIO AMBIENTE, ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. 2007. Beneficios de los árboles en ambientes urbanos. Disponible en: <http://www.ambientebogota.gov.co/documents/10157/2066438/Beneficios+de+los+%C3%A1rboles+urbanos.pdf>. Consultado: 21/06/2017
- DESCHAMPS J., J. WRIGHT, S. BLUMENFELD, D. COZZO, H. LAURÍA, H. PEREDO, J. VIZCARRA SÁNCHEZ. 1997. Patología forestal del cono sur de América. 1ª ed. Orientación grafica editora S.R.L. Buenos Aires, Argentina. Cap. 10. Pág. 165-176
- FERRIOL M., S. MUÑOZ, H. MERLE, A. GARMENDIA, y C. LÓPEZ. 2014. Papel de los árboles ornamentales como bioindicadores de la contaminación atmosférica urbana www.jiho14.eu/actas/292Papel.pdf
- INTERNATIONAL SOCIETY OF ARBORICULTURE. 2002. Beneficios de los árboles. Champaign, Illinois, USA Disponible en: http://www.isahispana.com/portals/0/docs/treecare/benefits_of_trees_spanish.pdf. Consultado: 26/06/2017.
- JEANJEAN A. Y LEIGH R. 2015. Pollution dispersion in cities improved by trees, research shows Disponible en: <http://www2.le.ac.uk/offices/press/press-releases/2015/september/pollution-dispersion-in-cities-improved-by-trees-research-shows>.
- LARCHER W. 1977. Ecofisiología vegetal. Ed. Omega. Barcelona, España. Pág. 152-154.
- LELL, J. 2006. Arbolado urbano. Implantación y cuidados de árboles para veredas. 1ª ed. Orientación grafica editora S.R.L. Buenos Aires, Argentina. Cap. 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9. Pág. 1-99.
- LINARES, M. L., DEL CASTILLO PARRA, B., POVEDA PORTILLA, G., MARTINEZ PARRA, M., REGUERA GONZÁLEZ, A., PRADOS EDWARDS, J. y SANJUANBENITO BONAL. J. 2013. El árbol es vida. Disponible en: <https://www.congresoforestal.es/index.php?men=71>. Consultado: 23/06/2017.
- MAHECHA VEGA G., E., F. SÁNCHEZ HURTADO, J. A. CHAPARRO GUERRA, H. G. CADENA CARREÑO, G. TOVAR CORZO, L. A. VILLOTA OJEDA, G. MORALES LIZCANO, J. A. CASTRO ALVARADO, F. BOCANEGRA POLANÍA, M. A. QUINTERO. 2010. Arbolado urbano de Bogotá Disponible en:

<http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/126778/Arbolado1.pdf>. Consultado: 21/06/2017.

OCHOA-JIMENEZ D.A, CUEVAS-AGILA A., PRIETO M., ARAGÓN G., BENITEZ A. 2015. Cambios en la composición de líquenes epífitos relacionados con la calidad del aire en la ciudad de Loja (Ecuador). Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15446/caldasia.v37n2.53867>. Consultado: 25/08/2017.

RANGEL MORA M., 2004. Arboricultura urbana. Universidad de los Andes. Venezuela. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/17240>. Consultado: 15/08/2017

RIVAS TORRES D., 2015 Beneficio de los Árboles Urbanos.México. Disponible en: http://www.rivasdaniel.com/Pdfs/Beneficios_Arboles_Urbanos.pdf . Consultado: 15/08/2017.

ROMERO H., X. TOLEDO, F. ÓRDENES Y A. VÁSQUEZ. 2001. Ecología urbana y gestión ambiental sustentable de las ciudades intermedias chilenas. Temuco, Chile. Disponible en: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/FAU_Mod1/Romero,%20H.,%20Toledo%20X.,%200A.%20V%20Elsquez%20y%20Ordenes%20F.%202001..pdf. Consultado: 07/07/2017.

ROSALES ROBLE R. y R. SANCHEZ DE LA CRUZ. 2006. Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. (INIFAP). Folleto técnico 35: 7-11, ISBN: 968-800-666-1. Rio Bravo, México. Disponible en:<http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/686/34.pdf?sequence=1>. Consultado: 17/12/18.

SCAVONE C., 2011, La arborización urbana, Asunción, Paraguay, Disponible en: <http://www.abc.com.py/articulos/la-arborizacion-urbana-274211.html>. Consultado: 02/09/2017.

SEILER, R., R. FABRICIUS, V. ROTONDO Y M. VINOCUR, 1995. Agro climatología de Río Cuarto1974/93. Volumen 1. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC. P: 68.

SOMMA C., S. ESTÉVEZ, G. BRANDANA, 2017. Diagnóstico del arbolado urbano de un sector de la ciudad de Río Cuarto. Informe Catedra de Espacios Verdes de la

Facultad de Agronomía y Veterinaria de la U.N.R.C. y la Subdirección General de Espacios Verdes, Secretaria de Obras Públicas, Municipalidad de Río Cuarto.

WAYNE A. S., H. L. HOWARD, 2005. Diseases of trees and shrubs. Enfermedades de árboles y arbustos. 2° ed. Comstock Publishing Associates. Págs. 472-475.

ANEXOS

ANEXO 1

Planificación y cuidados del arbolado urbano

Es fundamental una adecuada planificación territorial en cuanto a sus usos y densidades residenciales futuras para lograr una mejor calidad de vida de la ciudad y sus habitantes y que la misma sea sustentable (Romero *et al.*, 2001). Todo gobierno municipal debe reconocer que la arborización de la ciudad es un aspecto fundamental para su desarrollo, y la elección las especies a emplear, se debe hacer de modo criterioso (Scavone, 2011); considerando sus características y analizando el contexto en el cual van a ser utilizadas evitando tener que realizar posteriormente tareas que pueden resultar costosas y molestas, como por ejemplo, la necesidad de trasplantar especies prematuramente, podas, tratamientos fitosanitarios, obstrucción de cañerías, problemática de circulación peatonal y vehicular por ramas bajas, interferencia con el cableado aéreo por ramas altas (Lell, 2006), e inconvenientes con las conexiones de agua potable y aguas servidas (Scavone, 2011).

Al momento de seleccionar una especie para el arbolado de veredas, se pueden considerar cuatro aspectos, el primero de ellos el ecológico, el cual considera las interacciones bio-ambientales, intentando maximizar los efectos positivos y minimizar los negativos teniendo en cuenta las características ambientales del lugar y los requerimientos de cada especie. El segundo aspecto es el morfológico (Lell, 2006) como su porte final, el tipo de copa de acuerdo a la función que vaya a cumplir (sombra, cortina, ocultamiento, entre otras), la caducidad de sus hojas, la característica de sus raíces y la posibilidad de una poda racional (Scavone, 2011), las mismas deben ser adecuadas, ya que en caso contrario, pueden degenerar el árbol, afectando su fisiología y dificultando que cumpla con el objetivo para el cual se había implantado (Mahecha Vega, 2018). El tercer aspecto es la funcionalidad, es decir que cumplan con aquellos requisitos por los cuales fueron seleccionados como por ejemplo, brindar sombra, atrapar polvo, reparo, ocultamiento, entre otras y por último, pero no menos importante, el paisajístico el cual es necesario contemplarlo teniendo en cuenta los aspectos permanentes y temporales de cada especie. El ambiente al cual pertenecen originalmente los árboles es muy distinto al ambiente urbano donde van a ser introducidos, por lo cual deben adaptarse al mismo (Lell, 2006).

Para obtener los resultados deseados en el arbolado urbano, es necesario contemplar una adecuada planeación, selección, siembra, mantenimiento y renovación de los mismos, utilizando criterios de manejo y ordenamiento adecuados, y deben estar en armonía con el

desarrollo urbano, para potenciar los beneficios propios de cada especie, supliendo así, los requerimientos sociales y ambientales (Mahecha Vega et al., 2010).

El manejo silvicultural integra en forma general, un conjunto de acciones y actividades de producción, establecimiento, manejo y mantenimiento del arbolado urbano. En forma más específica podemos nombrar, la selección de la especie determinando cuáles son más adecuadas de acuerdo a sus características de requerimiento, tolerancia, tamaño, resistencias a eventos adversos. Se observa su conformación morfológica, siendo conveniente una distribución uniforme de sus ramas, su estructura y estado sanitario. Los contenedores de raíces deben ser por lo menos 10 veces el tamaño del diámetro del tronco, ya que si son más pequeños deforman las raíces, limitan su desarrollo e impiden una eficiente absorción de nutrientes. Si las raíces se encuentran enroscadas, es probable que se generen raíces superficiales creando inconvenientes en obras civiles. Si el diámetro del tronco es superior a los 10 centímetros, tarda 5 años en recuperarse y se dificulta la operación de transplante, ya que pierden gran parte del sistema radical (hasta el 90%). La propagación, puede ser de tipo sexual como es el caso de la multiplicación por semilla, pudiendo expresar variabilidad de características de la misma especie, y las plántulas que de allí se obtienen no muestran un equilibrio entre la parte aérea y radical, mientras que en las de tipo asexual, pueden ser de distintas maneras, siendo la más utilizada para los árboles, la propagación por estacas, y esto se emplea comúnmente en arboles jóvenes, de activo crecimiento y menor lignificación de los tejidos, el resultado de esto es una especie idéntica al ejemplar del cual se obtuvo el material. El traslado o transplante es un momento de mucho estrés para el árbol, algunas especies son más rústicas y otras más sensibles al mismo. Es conveniente que la orientación del ejemplar en el lugar definitivo sea la misma que la que poseía en el lugar de propagación y en el caso de que deba extraerse con un pan de tierra, debe guardar una relación 1:10 entre el diámetro del tronco y del bloque. La radiación no debe ser intensa ni el viento cálido, el hoyo debe ser de 1 m³ para ejemplares jóvenes y para ejemplares más grandes debe ser mayor, se debe remover el fondo para que las raíces puedan explorar con mayor facilidad, el riego luego del transplante es muy importante y se deben utilizar tutores de un tercio o la mitad de la altura del árbol hasta que se lignifiquen sus tejidos, finalmente es conveniente aplicar una capa de mulch alrededor del tronco de unos 2,5 metros y separados del mismo 20 centímetros. En cuanto a la poda es importante cuidar un árbol por lo menos los primeros tres años de vida, realizando cortes de bifurcaciones, ramas que obstaculicen el tránsito, ramas enfermas o dañadas y para guiar el tronco recto. Se debe lograr una copa equilibrada, y la frecuencia de corte no debe ser menor a 5 años, mientras que en arboles adultos se centra en mantener la forma y la limpieza, corregir problemas con la infraestructura urbana y fitosanitarios. Existen distintos tipos de podas,

como ser la de limpieza para eliminar ramas muertas o brotes vigorosos, y demás elementos que no forman parte del árbol; poda de formación, para eliminar deformaciones y darle como lo indica su nombre forma al árbol, se hace generalmente en las primeras etapas de su desarrollo; poda de equilibrio, se emplea cuando hay crecimiento irregular, o para renovar permitiendo el ingreso de luz y aire más equitativo; las podas de mantenimiento, que consisten en la eliminación de ramas muertas que son un riesgo para la sociedad y las podas de seguridad son similares a las anteriores solo que las ramas que se eliminan están vigorosas y activas y se emplean además para reducir la copa, reducir interferencias entre otras funciones (Mahecha Vega et al., 2010).

En cuanto a la nutrición, los arboles requieren para su desarrollo 16 nutrientes esenciales, Carbono, Hidrogeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Zinc y Cloro que los obtienen del suelo en su hábitat natural, pero estos, muchas veces no están presentes en el Arbolado urbano, causando un crecimiento más lento y una mayor susceptibilidad a problemas fitosanitarios. El fósforo y el potasio son importantes en el primer año de transplante para lograr un sistema radical desarrollado y fuerte, luego del primer año, se busca fortalecer el follaje y esto se hace principalmente con Nitrógeno (Mahecha Vega et al., 2010).

Para el ordenamiento forestal urbano es necesario tener en cuenta los aspectos técnicos que garanticen las condiciones vitales para el crecimiento y desarrollo de cada especie, logrando así potenciar sus características, evitar competencias y malformaciones físicas o el deterioro sanitario, como consecuencia de una inadecuada selección de especies y/o por ignorar sus requerimientos a la hora de su emplazamiento (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

También es importante considerar que los arboles al ser localizados en las ciudades, son sacados de su ecosistema y deben enfrentarse a factores antrópicos como ser las construcciones que obstaculizan su desarrollo tanto aéreo como subterráneo, contaminación, vandalismo, podas anti-técnicas de raíces o de su copa, y distintas condicionantes naturales, como ser la geología, hidrografía, hidrogeología, suelos, vientos, temperatura, humedad, precipitación, brillo solar, y la ocurrencia de heladas o sequias, pudiendo los mismos ser condicionantes para algunas especies y para otras no. Al estar expuestos los arboles a un ambiente totalmente diferente a su hábitat de origen, presentan un nivel de incidencia y severidad de plagas y enfermedades más elevado, ya que el control de las mismas que se da naturalmente en su lugar de origen, es mucho menor (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

En Bogotá realizaron un censo del arbolado urbano, donde se analizaron 43 variables, luego lo sistematizaron y esto les permitió tener un registro ordenado a través del

cual se puede tener acceso a información como ser, las especies ubicadas en un lugar geográfico determinado, su condición física, sanitaria, permitiendo determinar si es necesario algún manejo o su erradicación en caso de ser necesario. Esto facilita a la hora de tomar decisiones llevar una planificación, diseño, ejecución y mantenimiento del arbolado urbano más eficiente y ordenada, también permite hacer análisis comparativo de distintos tratamientos realizados, comportamiento histórico del ataque de plagas, etc. Este registro debe ir actualizándose con una frecuencia determinada. Cualquier intervención que se desee realizar, debe ser previamente notificada al ente correspondiente y esperar a su respuesta antes de realizar cualquier acción sobre los árboles, en caso de solicitar su erradicación, se deberá compensar con otro ejemplar o abonar el dinero correspondiente para su reemplazo (Mahecha Vega *et al.*, 2010).

Generalmente es aconsejable utilizar una sola especie por sector, para homogeneizar, facilitar las labores de mantenimiento, evitar visuales chocantes por malas combinaciones; aunque por otro lado es más riesgoso en el caso de manifestación de plagas y enfermedades facilitando de este modo su difusión (Lell, 2006).

Además, es necesario evaluar los requerimientos de cada especie en cuanto a la necesidad o tolerancia de luz, temperatura, vientos, humedad y tipo de suelo. En relación a la luz, si bien todas la necesitan poseen distinto grado de tolerancia o necesidad de la misma, pudiendo ser heliófitas (demanda plena exposición solar), umbrófilas o esciófitas (tolerantes a la sombra o requieren poca luminosidad respectivamente), algunas requieren poca luminosidad en sus etapas iniciales y plena luz en sus siguientes etapas (Mahecha Vega *et al.*, 2010). y otras poseen ambas características durante todo su desarrollo. Las especies utilizadas deben ser “amigables” con la luz solar, es decir que sus hojas caigan apenas sientan los primeros fríos otoñales y se recuperen rápidamente con la llegada de la primavera y lograr de este modo un ahorro energético.

Con respecto a la temperatura, los árboles son más sensibles a las mínimas durante sus primeros años de desarrollo y en cuanto al viento, es otro factor que afecta el normal desarrollo de los árboles; su velocidad es menor en la ciudad que en áreas periféricas debido a las edificaciones, pero por otro lado, estas repercuten generando temperaturas más elevadas causando movimientos de masas de aire ascendentes, mayores cambios en intensidad, dirección, turbulencias y ciclos. Los arboles de copa compacta, desvían la trayectoria de los vientos haciéndolos menos susceptibles a los mismos, en cambio, en los de copa abierta las láminas de aire ingresan a la misma traccionando sobre las ramas generando turbulencias, siendo por este motivo más susceptibles a la ruptura (Lell, 2006).

Con relación a la humedad, las especies pueden necesitar de altos o bajos requerimientos hídricos y otras pueden adaptarse a ambas situaciones, esto también varía en función de la etapa de desarrollo (Lell, 2006).

Otras recomendaciones y aspectos a tener en cuenta a la hora de seleccionar y ubicar una especie son: no colocar especies con frutos carnosos en lugares indeseables para evitar que produzcan lesiones por caer sobre las personas o daños sobre los vehículos, los árboles con follaje caducifolio mal ubicados suelen obstruir los desagües, considerar la fortaleza de las ramas para prevenir su caída, y para generar sombra son útiles los árboles de copa amplia, alta, buena textura y densidad de follaje, porte final, longevidad, requerimientos lumínicos, (Mahecha Vega et al., 2010).

Es conveniente utilizar especies que tengan cierta rusticidad y de este modo reducir el empleo de tratamientos terapéuticos. Para su elección hay que considerar las condiciones del medio donde van a ser utilizadas y tener en cuenta que el medio urbano resulta propicio para la difusión y latencia de enfermedades (Lell, 2006).

Como último factor a mencionar, dentro de los principales que afecta el desarrollo de los árboles es el tipo de suelos en el que cada especie presenta distintos requerimientos y/o tolerancias (Lell, 2006).

ANEXO 2

Plantación

La plantación es un aspecto muy importante a tener en cuenta y cuando hablamos de ella no hacemos referencia solamente a la labor de poner el árbol en su lugar, sino todas las etapas que van desde la obtención de la planta, traslado, preparación del lugar, trasplante, y cuidados posteriores hasta su establecimiento (dos años posteriores a la plantación aproximadamente). Si la separación entre árboles es muy excesiva, produce una sensación de aislamiento muy desagradable, por lo que es importante que los árboles se encuentren a una distancia óptima, ni muy cerca ni muy lejos uno de otro y esto va a estar en función del diámetro de la copa en estado adulto y su funcionalidad. Realizado el trasplante, su éxito va a depender de factores extrínsecos como ser el clima, el ambiente, la exposición e intrínsecos como ser el patrón de regeneración radical (P.R.R.), que está en función de la especie, estos ritmos, en general poseen un mínimo en invierno y un máximo a inicios de primavera, declinando durante esta última y con un incremento posterior a inicios de verano. Se debe tener en cuenta que las mayores pérdidas del arbolado se dan por falta de humedad durante el

primer año de implantado (Lell, 2006). Lo ideal es que al momento de la plantación tenga un porte mínimo de 1,5 m, siendo el indicado de 2 o 3 m (Mahecha Vega et al., 2010).

El momento más adecuado para la plantación es a fines de invierno, a la salida del reposo vegetativo, tanto para especies caducifolias como para las perennifolias, ya que si bien estas últimas no pierden sus hojas, disminuyen al mínimo su actividad fisiológica, evitando de este modo el riesgo de daños por heladas y aprovechando el máximo P.R.R. Pudiéndose realizar también en primavera, ya que las condiciones de temperatura y humedad son buenas y en verano, aunque se debe tomar laprecaución de hacerlo con un buen pan de tierra y aportando el riego necesario, teniendo en cuenta que la que la demanda hídrica en ese momento del año es alta. En caso de que por algún motivo sea necesario hacerlo en otoño, en especies caducifolias se realizan a raíz desnuda y luego de la abscisión foliar, y las especies perennifolias deben hacerse con un buen pan de tierra (Lell, 2006).

Otro punto a tener en cuenta, es el hoyo siendo necesaria la remoción de tierra y desmenuzamiento para lograr una buena superficie de almacenamiento de agua, buena aireación, y menor resistencia radical. El tutorado es conveniente hacerlo con varillas de 2,5 a 3 m. de alto por 7-8 cm de diámetro, enterradas unos 60-70 cm., las ataduras deben ser las llamadas de bastón para evitar el estrangulamiento y/o rozamiento. En casos donde hay problemas con el levantamiento de veredas por las raíces, se puede recomendar como estrategia, plantar a mayor profundidad o dejar una cazuela de mayor tamaño (Lell, 2006).

En cuanto a los riegos, el primero que se realiza luego de un trasplante, denominado “de asiento” tiene la función, además de hidratar, de favorecer el contacto raíz-suelo y debe ser con abundante agua para que el suelo se compacte. La frecuencia de los riegos posteriores va a estar en función de la época de plantación, se considera conveniente de 7 a 10 días en verano, y 15 días durante primavera verano, espaciándose más a medida que su sistema radical se va adaptando y desarrollando. Luego de la plantación es necesario reparar y reponer aquellos árboles que no han logrado sobrevivir, utilizando las mismas especies con características similares de variedad y tamaño para mantener la uniformidad (Lell, 2006).

ANEXO 3

Características generales de los árboles

La importancia de saber el tamaño final de los árboles, radica en evitar problemas posteriores en alumbrado y/o cableado, y en cuanto a la altura mínima, generalmente deben ser sin ramificaciones hasta los 2,5 m, y en el caso de tránsito pesado de 4 o 5 m, y también

debe contemplarse el ancho de la vereda, si son angostas (1,5-2,5m) el ancho de la copa no debe superar los 5 m., si son medianas (2,5-3,5 m) su copa no debe superar los 7 m y si son anchas (mayor de 3,5 m) sus copas pueden ser mayores a los 7 m (Lell, 2006). Para ordenar esta labor, fue diseñada una escala que agrupa a las especies en tres magnitudes en relación a su tamaño final, siendo de 1° magnitud todas aquellas especies que superan los 15 m, de 2° magnitud a los que miden entre 10 y 15 m y de 3° magnitud a los inferiores a 10 m (Cané, 2008).

Las especies pueden ser de crecimiento rápido, medio o lento, su sistema radical cumple la función de proveer a la planta agua, nutrientes, almacenan reservas y le da estabilidad, las raíces superficiales actúan como tensores y las profundas refuerzan el anclaje. Con respecto a las primeras, si son muy superficiales, pueden provocar ruptura en veredas y paredes (Lell, 2006).

Los árboles pueden ser de follaje persistente, no advirtiéndose a simple vista el recambio de hojas; de follaje caduco, los cuales pierden totalmente sus hojas como un mecanismo de defensa frente a los cambios climáticos extremos y los semipersistentes que es un intermedio entre los dos estados anteriores perdiendo parcialmente su follaje, la elección de una u otra característica va a estar en función del propósito por el cual se la emplea (Cané, 2008).

En general, los árboles responden a las heridas o infecciones utilizando tres vías para proteger los tejidos expuestos. Uno de los mecanismos o vías es el redireccionamiento metabólico que genera un fortalecimiento químico de la zona afectada produciendo oxidaciones (fenoles, terpenos, ácidos tánicos), por otro lado, se forma una nueva pared y el cambium modifica el tipo de células que produce; por último, el árbol continúa su crecimiento y origina tejido nuevo. El óptimo estado fisiológico de la planta favorece a una mejor reacción. Los tejidos de la albura, cuentan con sistemas de protección frente a hongos, por un lado, frente a un corte, los tejidos expuestos se necrosan y por el otro producen sustancias como taninos, lignina, suberina; sílice y resina en el caso de las coníferas que actúan como barreras de impermeabilización (Lell, 2006).