



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática de los árboles como bioindicadores de
la contaminación atmosférica por metales pesados**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Florez Segura, Angel Alfredo (ORCID: 0000-0002-1899-3552)

Franco Salazar, Alex Oscar (ORCID: 0000-0001-7431-1467)

ASESOR:

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio Gilberto (ORCID: 0000-0002-8200-4640)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a nuestros padres, por habernos apoyado en este largo trayecto, y de manera especial a quienes nos forjaron como las personas que somos en la actualidad, mucho de nuestros logros se los debemos a ustedes.

Agradecimiento

Agradecemos a nuestros padres, por sus consejos y palabras de aliento, por apoyarnos de manera económica. Además, a nuestro asesor por el tiempo, paciencia en la elaboración de esta investigación.

Índice de contenidos

Carátula	
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III.METODOLOGÍA.....	18
3.1. Tipo y diseño de investigación	19
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	19
3.3. Escenario de estudio	19
3.4. Participantes.....	19
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.6. Procedimiento	20
3.7. Rigor científico.....	22
3.8. Método de análisis de datos.....	22
3.9. Aspectos éticos	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES.....	34
REFERENCIAS.....	36
ANEXOS	47

Índice de tablas

Tabla 1. Principales antecedentes del uso de los árboles como bioindicadores	7
Tabla 2. Estándares de calidad ambiental para aire.....	9
Tabla 3. Factores porque algunas especies son mejores que otras.....	25
Tabla 4. Analizar las especies presentes en el Perú con mayor potencial	29
Tabla 5. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.	48

Índice de figuras

Figura 1. Anatomía de un árbol	11
Figura 2. Partes de una hoja	12
Figura 3. Procedimiento de recolección de datos.....	21
Figura 4. Los contaminantes captados por las hojas y la corteza de los árboles .	27

Resumen

En este estudio se analizó los principios de aplicación de los árboles como bioindicadores en presencia de metales pesados, presentes en el aire. Para ello se realizó una revisión sistemática haciendo una búsqueda de artículos científicos en bases de datos como Scopus y Sciencedirect, además se tomaron en cuenta algunos criterios de inclusión: antigüedad (2016-2021), e idioma (inglés y español); se lograron obtener 37 artículos. Se identificaron a tres factores por el cual algunas especies arbóreas son mejores que otras como bioindicadores, estas fueron, características de corteza, hojas y ramas. Además, se determinó que los metales pesados son los contaminantes más acumulados por los tejidos de los árboles, y que las especies con gran potencial como bioindicadores en el Perú son el *Morus alba*, *Ceiba* y *Ficus benjamina*. El análisis expuesto nos indica que la aplicación de los árboles es una opción considerable para monitorear la calidad del aire. Se sugiere investigar especies arbóreas nativas como bioindicadores en el Perú.

Palabras claves: Bioindicador, Contaminación del aire, partículas y metales pesados.

Abstract

This study analyzed the principles of application of trees as bioindicators in the presence of heavy metals present in the air. For this purpose, a systematic review was carried out by searching scientific articles in databases such as Scopus and Sciencedirect, and some inclusion criteria were taken into account: age (2016-2021) and language (English and Spanish); 37 articles were obtained. Three factors were identified by which some tree species are better than others as bioindicators, these were bark, leaves and branches characteristics. In addition, it was determined that heavy metals are the most accumulated contaminants in tree tissues, and that the species with great potential as bioindicators in Peru are *Morus alba*, *Ceiba* and *Ficus benjamina*. The above analysis indicates that the application of trees is a considerable option for monitoring air quality. It is suggested to investigate native tree species as bioindicators in Peru.

Key words: Bioindicator, air pollution, particulate matter and heavy metals.

I. INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XX, la contaminación del aire ha ido empeorando por el crecimiento social a causa de satisfacer el requerimiento poblacional por medio de actividades como son la industrialización y el transporte (Sharma et al. 2020).

La contaminación por metales pesados es ocasionada principalmente por fuentes estacionarias o móviles, como el tráfico vehicular, actividades industriales, la quema de residuos, centrales eléctricas, las industrias, el desgaste de los neumáticos, la corrosión, el desgaste del revestimiento de los frenos (Janta y Chantara 2017).

Los metales son tóxicos y poseen características como la persistencia, bioacumulación, alta toxicidad, pueden permanecer en los ecosistemas por largos periodos de tiempo; en cuanto a la exposición de estos metales está asociada a enfermedades como el cáncer, la entrada al organismo es por la vía dérmica, por ingestión e inhalación (Rodríguez, 2017).

La calidad del aire viene disminuyendo por los contaminantes presentes en el aire con las concentraciones de anhídrido sulfuroso, dióxido de carbono, óxido de carbono, ozono, material particulado (Chen et al. 2014). La generación del material particulado provienen de los motores, la combustión, la corrosión de los metales, la abrasión mecánica y del sistema de los frenos, donde la composición de estos elementos es altamente tóxica, entre otros compuestos dañinos que comprende desde micro a nanopartículas en la cual puede llegar a órganos vitales del ser vivo como es el corazón, daños a los pulmones y al cerebro (Chaparro et al. 2020).

Lima metropolitana cuenta con una red de estaciones para el monitoreo de la calidad ambiental, sin embargo, solo se obtiene información de esos puntos fijos y no se puede obtener información de otros lugares ya que no cuentan con estas estaciones lo cual limita la posibilidad de monitorear estos contaminantes, es importante el monitoreo ya que de ello depende saber las zonas o distritos con niveles de concentración más elevada de estos contaminantes (Garcia 2016).

Una de las desventajas de las estaciones meteorológicas es que necesitan circuitos para controlar los procesos de carga y descarga ya que pueden ser propensos a explosiones, además de ello son más costosas que otras tecnologías (Yáñez 2020)

Mientras que, el sondeo de las imágenes satelitales proporciona una amplia cobertura espacial y alta resolución espacial, las estaciones satelitales tienen menor precisión que las estaciones fijas en tierra, por lo que se considera que son complementarias a las mediciones realizadas por estaciones fijas en tierra (García 2016).

Por otro lado, el uso de bioindicadores es una técnica novedosa para determinar la contaminación atmosférica, debido a su bajo costo de accesibilidad y su gran rango de alcance para obtener resultados (Birke, Rauch y Hofmann 2018).

Es por ello, que la importancia de los bioindicadores radica en su eficiencia para la captación de contaminantes atmosféricos, son eficaces para determinar concentraciones de contaminantes tanto de origen edáfico como atmosférico además de ello tienen la gran ventaja de ser de larga vida lo que posibilita que se repitan muestreos posteriores (Sawidis et al. 2011).

Así mismo, las plantas actúan como bioindicadores, ya que muestran los efectos peligrosos del medio ambiente en los seres vivos, así mismo distinguen la acumulación de sustancias tóxicas y contaminantes (Cuevas 2016). La corteza de los árboles retiene los contaminantes por más tiempo sin afectar la salud del árbol, la razón de suficiente acumulación y retención de metales pesados se debe a la porosidad estructural que presentan su corteza (Sawidis et al. 2011). Las plantas pueden absorber y acumular metales pesados mediante la superficie de sus raíces y hojas, las hojas son útiles debido a que tienen una alta densidad de distribución, además de ello las eficiencias de diversas especies de plantas son esenciales para desarrollar diseños de plantaciones que mitiguen y mejoren la calidad del aire urbano (Liang et al. 2017).

En el Perú hay pocas investigaciones basadas en el uso de árboles como bioindicadores ya que mayormente se han investigado con hongos, bacterias y líquenes para determinar la contaminación atmosférica de un área.

La formulación del problema general: ¿Cuáles son los principios de aplicación de árboles como bioindicadores en presencia de los metales pesados?, los problemas específicos son: ¿Cuáles son los factores por el cual algunos árboles son mejores bioindicadores que otros?, ¿Cuáles son los contaminantes más captados por las hojas, ramas y la corteza de los árboles?, ¿Cuáles son las especies presentes en el Perú con potencial de aplicación como bioindicadores de la contaminación atmosférica por metales pesados?

El presente trabajo tiene como justificación aportar teóricamente sobre la aplicación de árboles como bioindicadores de contaminantes atmosféricos, ya que en nuestro país la información respecto a este tema es muy escasa o casi nula, además de ello se puede decir que, a diferencia de otras investigaciones esta tiene un enfoque netamente sobre el uso de árboles.

Es por las investigaciones anteriormente mencionadas que se plantea el siguiente objetivo general, analizar los principios de aplicación de los árboles como bioindicadores en presencia de metales pesados, y el objetivo específico, identificar los factores por el cual algunos árboles son mejores bioindicadores, determinar cuáles son los contaminantes más captados por las hojas, ramas y la corteza de los árboles, Identificar las especies presentes en el Perú con potencial de aplicación como bioindicadores en la contaminación atmosférica.

II. MARCO TEÓRICO

En el pasado, se han realizado diferentes investigaciones acerca de árboles que actúan como bioindicadores de contaminación ambiental, en el Perú existen pocas investigaciones referidas al tema, pero en el extranjero ya tienen experiencia sobre este tipo de investigaciones. Un resumen de dichas investigaciones se puede observar en la Tabla 1.

La contaminación atmosférica es una alteración de los niveles de pureza del aire, causando preocupación por su composición y su relación con la salud (Abrutzky et al. 2014). Según el Decreto Supremo 074-2001-PCM, la contaminación atmosférica es una sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el aire genera riesgos a la salud y bienestar humano (Soto Gomez 2015).

Los contaminantes se clasifican en dos clases: Los primarios: donde el foco emisor es identificable y son emitidos directamente en el ambiente. Los componentes suelen ser azufre (SO_2 , SO_3 , H_2SO_4 , H_2S), óxidos de carbono (CO , CO_2), óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 , N_2O), metales pesados (Ni , Cr , Zn , Hg , Sn , Pb , etc.) y material particulado (PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$) (Amable et al, 2017) y Secundarios: aquellos formados debido a las reacciones químicas originadas de forma natural en la atmósfera. Uno de los procesos que las forman es la contaminación fotoquímica (también conocida como smog fotoquímico) y gases de efecto invernadero (producidos debido a su espectro de absorción de la radiación infrarroja) (Fernández 2017).

En la tabla 1 se presenta información de los antecedentes del uso de los árboles como bioindicadores, en donde se subdivide en especies, contaminantes, mecanismo y en la conclusión se presentan los valores captados.

Tabla 1. Principales antecedentes del uso de los árboles como bioindicadores

Espece	Contaminantes	Mecanismo	conclusión	Autores
<i>Pinus sylvestris L.</i>	Azufre, Hierro, Magnesio, Cobre, Zinc, Niquel, Plomo, Cadmio y Cromo.	La corteza del árbol <i>Pinus sylvestris L.</i> , presenta como característica particular la porosidad lo cual facilita la adhesión de los contaminantes.	Valores máximos captados. Cottbus (Fe), 2096.6 mg kg ⁻¹ Cottbus (S), 1118 mg kg ⁻¹	Sut-Lohmann et al. (2020)
<i>Morus Alba</i>	Plomo, Cromo, Cobalto, Cobre, Cadmio, Niquel, Magnesio, Zinc y hierro.	La hoja de <i>Morus alba</i> es rica en tricomas y tiene ranuras que hacen que la superficie sea bastante rugosa para la deposición y adherencia de partículas.	Zinc y Hierro presentan valores máximos en ambas partículas, Zn (8,58 mg/m ³ en PM10 y 5,87 mg/m ³ en PM2.5) Hierro (2.65 mg/m ³ en PM10 y 1.91 mg/m ³ en PM2.5).	Sharma et al. (2020)
<i>Pinus Eldarica Medw</i>	Pb, Mn, Fe, Cu, Al, Mg, Na y K.	La corteza de <i>Pinus Eldarica Medw</i> posee propiedades escamosas las cual retiene a los contaminantes y también secreta resina en la cual los contaminantes son adheridos.	Las mayores concentraciones fueron. Pb (1712 ppm) Mn (1732 ppm) Cu (357 ppm)	Kousehlar y Widom (2019)
<i>P. eldraica y F. excelsior</i>	Cu, Zn y Pb.	La corteza de las hojas de <i>P. eldraica</i> y <i>F. excelsior</i> presentan rugosidad y atrapan a los contaminantes mediante deposición seca y húmeda.	<i>P. eldraica</i> (sin lavar) max En hojas 110 mg kg ⁻¹ Zn En corteza 95.8 mg kg ⁻¹ Pb <i>F. excelsior</i> (sin lavar) max En hojas 110 mg kg ⁻¹ Pb En corteza 113.3 mg kg ⁻¹ Pb	Solgi, Keramaty y Solgi (2020)

Especie	Contaminantes	Mecanismo	conclusión	Autores
<i>Pinus halepensis</i> .	As, Cd, Cu, Hg, Pb y Ni	El <i>Pinus halepensis</i> como bioindicador es muy bueno gracias a la xilema y la floema para la retención de estos metales pesado en la corteza ya que esta es escamosa y también fisuradas.	El <i>pinus halepensis</i> capto Hg (2.67 mg kg-1), As (0.04 mg kg-1), de Cd (0.36 mg kg-1). Los demás contaminantes son en menores contaminantes y lo consideran micronutrientes para el árbol.	Rodríguez Martin et al. (2018)
<i>Quercus ilex L.</i>	Cr(VI)	Las ramas del árbol y la corteza fueron los mecanismos por el cual los autores analizaron el cromo hexavalente ya que una de las características es que tiene grietas la cual capta los contaminantes en el exterior.	Las concentraciones obtenidas en las ramas del <i>Quercus ilex L.</i> Fue de (0.4 - 74.4 mg/g) indicando la contaminación de un rango 4 años y después en el cierre de la planta fueron más bajas las concentraciones.	Drava et al. (2017)
<i>Cinnamomum Camphora</i>	Nitrógeno	Se usaron como indicadores de la contaminación de nitrógeno las ramas, corteza y hojas del <i>Cinnamomum Camphora</i> ya que la característica de este árbol es rugoso y fisurado.	La deposición del nitrógeno atmosférico en un año fue de 20.6 kg y el nivel promedio es de 22.2kg en la década de 2000. Se usaron 1,57% para todos los árboles, 1,41% para los árboles de hoja perenne y 1,79% para las frondosas.	Xu et al. (2018)
<i>Tipuana tipu, Caesalpinia pluviosa, Ligustrum sp. y Tibouchina granulosa</i>	Al, S, Fe, Mn, Cu, Zn, PM 2.5	Las cortezas de los árboles tienen las mismas características son escamosas ya que son utilizadas para la determinación de la acumulación de los contaminantes ya sea PM 2.5 y metales pesados.	Las cortezas de los árboles captaron 75.33% de la contaminación atmosféricas de las diferentes zonas vehiculares. Las concentraciones fueron de Al (470.87 µg g-1), Mn (35.28 µg g-1), Fe (775 µg g-1), Cu(6.14 µg g-1), Zn(81.97 µg g-1).	Carvalho-Oliveira et al. (2017)

El metal pesado es aquel elemento químico cuya densidad es mayor a 5 gr/cm³, o cuyo número atómico es mayor a 20. Es pesado también debido a la toxicidad que genera cuando supera cierto umbral de concentración. Las emisiones de este tipo de metales hacia la atmósfera se pueden dar por fuentes naturales (sedimentos de la corteza, cenizas volcánicas, ciclos biogeoquímicos) o también por fuentes antrópicas (quema de combustibles fósiles, uso de pesticidas, minería, fundición de metales, producción de energía, etc (Riquelme 2015).

Elementos como Fe, Al, Cu, Zn, etc., pueden ser parte de la composición de material particulado, por ejemplo, en la producción de cemento existe el proceso de calcinación, en él se emite material particulado que proveniente de las chimeneas de hornos logra contener elementos como los antes mencionados (Chui, Acosta y Roque, 2017). El material particulado puede variar de acuerdo con su origen, volumen, forma, formación y composición química. Usualmente se les caracteriza teniendo en consideración sus propiedades físicas y químicas. Las primeras influyen el transporte y depósito de las partículas en diferentes sistemas, como el respiratorio. Las segundas determinan en qué forma se darán las reacciones en la salud o bienestar (Suclla 2019).

En la tabla 2 se muestra los estándares de calidad ambiental para el aire de acuerdo con el Ministerio del Ambiente quien aprobó el reglamento de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el aire (Peruano 2017), en ella se observa los parámetros correspondientes con los criterios de evaluación y método de análisis.

Tabla 2. Estándares de calidad ambiental para aire

Parámetros	Periodo	Valor(ug/m ³)	Criterios de evaluación	Método de análisis
Benceno	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (método automático)
Dióxido de nitrógeno	1 Hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material particulado 2,5 micras	24 Horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación Inercia/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	

Material particulado 10 micras	24 Horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación Inercia/filtración (Gravimetría)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso total	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción de vapor Frio (CVAAS) O Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frio (CVAFS) O Espectrometría de absorción atómica zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de carbono	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1.5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0.5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de hidrogeno	24 Horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE= no exceder

Fuente: El Peruano, (2017)

La retención de contaminantes en el árbol se relaciona a la corteza, follaje y hojas:

La corteza es un indicador de la contaminación del aire que registra datos de varios años, porque está expuesto a la contaminación atmosférica por un largo plazo por medio de la deposición húmeda (Birke, Rauch y Hofmann 2018 y Sut-Lohmann et al, 2020)

Respecto a la corteza, la corteza interior es la parte donde se manifiesta el flujo de los iones metálicos que están dentro del árbol, en cuanto a la capa exterior muerta es donde se acumulan los contaminantes del aire (Harju et al. 2002).

La corteza de los árboles con superficie rugosa, como lo es la corteza del pino, es una trampa muy eficaz para las partículas atmosféricas en comparación con las cortezas lisas, debido a que la superficie es porosa y genera mayor eficiencia en la retención de metales pesados (Kousehlar y Widom 2019)

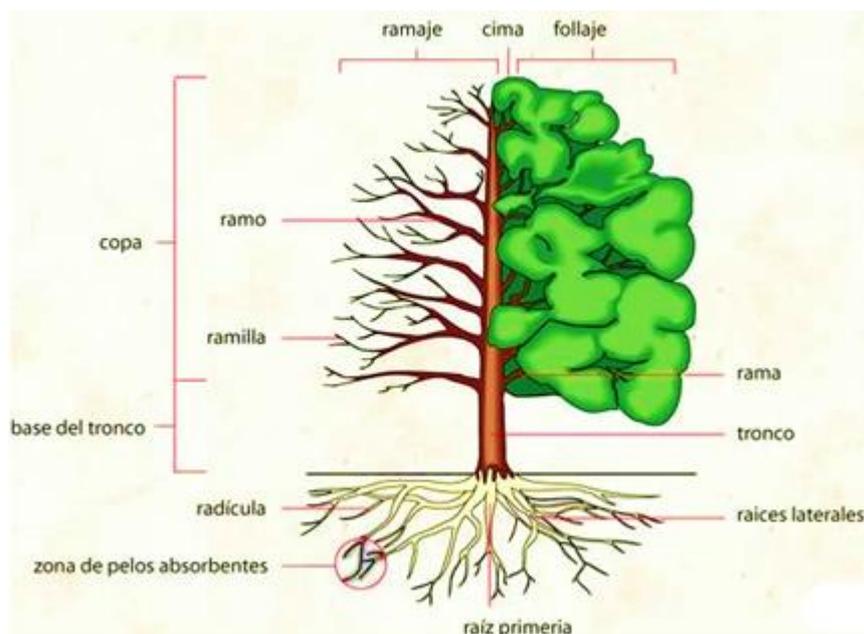


Figura 1. Anatomía de un árbol

El follaje de las plantas que vienen a ser el conjunto de hojas son las partes más utilizadas para determinar las concentraciones de metales pesados, pues la planta los absorbe durante la fotosíntesis a través de sus estomas. Esta absorción en hojas no causa un daño permanente al árbol. Se puede estimar durante cuánto tiempo se depositó un metal pesado en particular, tomando en cuenta la edad del árbol. Sin embargo, considerando el hecho de que los árboles se encuentran en todas partes de una ciudad y sobreviven más que otros indicadores, los árboles brindan más información sobre el aumento de la contaminación atmosférica por metales pesados desde el pasado hasta el presente (Turkyilmaz et al. 2019).

En la figura 2 se puede observar cada parte de una hoja simple y una compuesta, entre ellas el peciolo, el limbo, el foliolo, etc.

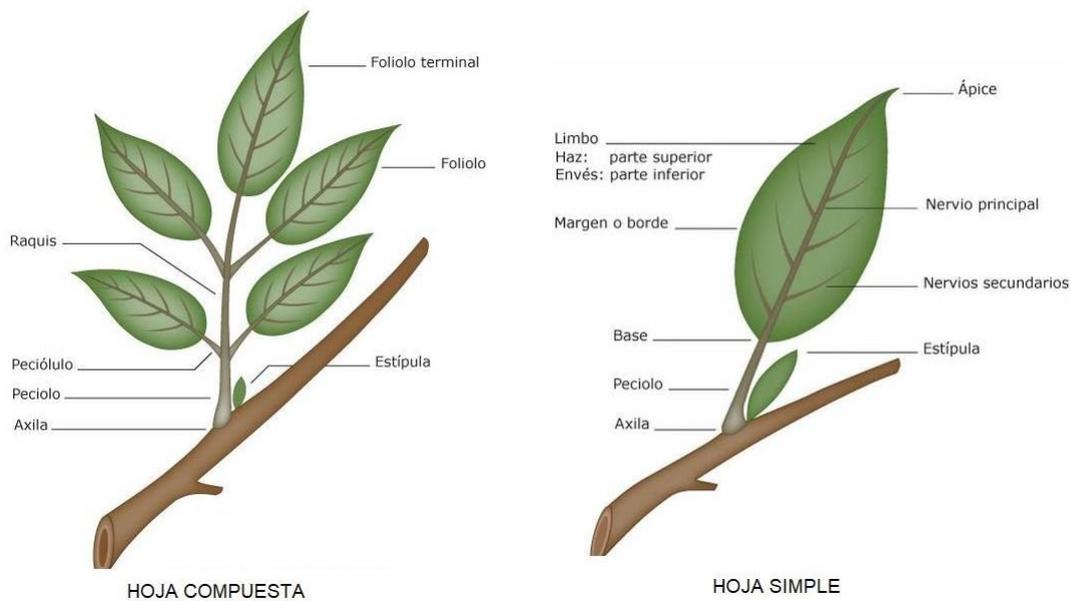


Figura 2. Partes de una hoja.

Además, la translocación de los metales en las plantas depende de la absorción por las raíces y de la acumulación en los órganos externos de las plantas, como su corteza y su follaje. El hierro y el plomo se consideran como elementos inmóviles debido a la baja translocación del suelo a las hojas, mientras que el cromo y el cobre cuentan con una movilidad intermedia. Muchos oligoelementos como el cromo, el hierro, el cobre y el plomo se acumulan en las raíces de las plantas y se translocan a los órganos externos (Sawidis et al. 2011).

Para monitorear la calidad de aire se basa en medir las partículas de los contaminantes ya sea directamente en el aire o depositados, en donde se describe la distribución de los contaminantes en la zona (Birke, Rauch y Hofmann 2018).

Para medir la carga del contaminante en diferentes sitios en una ciudad se calcula con un índice de calidad del aire con datos obtenidos de la corteza exterior. El índice de bioacumulación es calculada con los datos obtenidos de la corteza interior del árbol, indicando el tipo de contaminante en el ambiente y por la absorción del árbol (Birke, Rauch y Hofmann 2018).

En los siguientes párrafos se detallará las técnicas usadas para determinar

la presencia y concentración de contaminantes atmosféricos en las hojas, corteza y ramas de los árboles como bioindicadores, entre las técnicas esta la fluorescencia de rayos x, espectroscopia de absorción atómica y espectroscopiapor imágenes de microscopio electrónico de barrido.

La técnica de fluorescencia de rayos X, es una técnica multielemental, utilizada ampliamente en varios países debido a las ventajas que posee, es rápida y económica, tiene como finalidad el análisis químico elemental, cualitativo, semicuantitativo de los elementos, se basa en la irradiación de una muestra por un haz de rayos X, con una intensidad baja y por la detección de los rayos X secundarios emitidos por la muestra (Telleria et al. 2014). La técnica FRX es necesaria para evaluar la presencia de elementos químicos de gran interés como lo son el Pb, Zn, Cu, etc (Chui et al. 2009). En un estudio las hojas de *Nerium oleander L.* se analizaron 13 elementos aplicando dicha técnica, en ella los espectros se obtuvieron con un sistema portátil diseñado, este estaba equipado con un tubo de rayos x con un ánodo de plata y un detector de deriva de silicio, y un modelo XR-100 SDD; se determinaron bajo dos condiciones experimentales, la primera bajo 15 KV, 100 μ A y un tiempo de 300 s y la segunda para una excitación más alta de los elementos se utilizó 35 KV, 100 μ A, 500s y un filtro TiO₂; finalmente los espectros se procesaron con el software PyMCA (Python Analizador multicanal) (Santos et al. 2019). Asimismo, fue utilizado para determinar elementos derivados del tráfico vehicular acumulados en la corteza del árbol en estudio, encontrando como elementos Al, S, Fe, Mn, Cu y Zn en dicha investigación se utilizó un tubo de objetivo Rh de baja potencia a un voltaje de 5 a 50KV, 1 a 100 μ A; la radiación que se emitió fue captada por un detector de Si; los espectros fueron recogidos durante 240 y 400s (Carvalho et al. 2017).

Otra de las técnicas empleadas es la espectroscopia de absorción atómica que viene a ser una de las técnicas más empleadas para la determinación de metales en una amplia variedad de modelos. Consta del secado de la muestra a una temperatura promedio de (80-180 °C), la calcinación de la muestra para la eliminación de la materia orgánica y la atomización

(Mendoza Magaña, Rodrigo Rivas y Villalobos Alfaro 2017; Kousehlar y Widom 2019).

De acuerdo con Mendoza, Rodrigo y Rivas (2017) para determinar metales utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica Ice 3000, para el análisis se requirió de la preparación de las soluciones de blanco para fijar el cero de absorbancia en el equipo, con esto se obtuvo la absorbancia para los metales plomo y níquel, posterior a ello se procedió a la cuantificación; se activó el enfriador Neslab ThesmoFlex900 y la tarjeta GFS, además de la computadora dando inicio a un software SOLAAR V11.03. para el análisis de tipo de horno de grafito, se alineó el tubo de grafito configurando la óptica; se ubicó la solución en el auto muestreador y se dio inicio al análisis.

La espectroscopia de absorción atómica es una técnica que es extremadamente sensible y específica debido a que las líneas de absorción atómica son considerablemente estrechas y las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento. La sensibilidad de la absorción atómica por atomización de llama está en el orden de los ppm y tiene una enorme aplicación en cuanto a las determinaciones cualitativas y cuantitativas de metales pesados (Gallegos, Vega y Noriega 2012). Esta técnica analiza las hojas que fueron dejadas sin lavar y secadas al 40°C mediante un instrumento Perkin Elmer 2380 Atomic Absorption espectrómetro con un horno de grafito HGA-400 (Sawidis et al. 2012).

Una técnica también utilizada para determinar metales pesados es el uso de microscopio de barrido (espectroscopia de emisión de barrido por microscopio electrónico de barrido), con este método es posible obtener información de la morfología de las muestras, así como también las características superficiales, la aplicación de esta técnica es con el fin de obtener información sobre el mecanismo de captación del metal (Matouq et al. 2008). De acuerdo con Sawidis et al (2012) las imágenes de microscopia electrónica de barrido mostraron una aglomeración de contaminantes que consistían en componentes inorgánicos, esto mediante un equipo JEOL JMS-840A de 20 Kv microscopio de barrido acoplado con un dispersor de

energía micro analítico de rayos X y un software, en ella hubieron ciertas condiciones como la tensión de 20 Kv, corriente de sondade 45nA y el tiempo de 60s; las muestras fueron cubiertas con carbón usando un Jeol evaporador de vacío, es así que se estudió las superficies de las hojas.

Por otro último, la digestión es una etapa previa para utilizar algunas de las técnicas antes mencionadas, analiza el material particulado en la corteza de los árboles, estos métodos de digestión acida se emplean para la determinación de contaminantes como metales pesados; la digestión acida húmeda consiste en utilizar bases y agentes oxidantes, para asegurar la eliminación de materia orgánica. La vía seca es un proceso de calcinación llevado a cabo en la mufla, seguida de un tratamiento con las mismas sustancias, estas técnicas requieren de tiempo considerable de análisis (Chaparro G. et al. 2016) (Sut-Lohmann et al.2020). (Sharma et al. 2020). Nueve metales pesados enriquecidos en material particulado fueron analizados usando la digestión ácida; la muestra se colocó en un tubo de digestión y 10ml de HNO₃ concentrado, dicha mezcla se hierve y se enfría para luego pasar por un filtrado que luego analizarlo por espectroscopia de absorción atómica (Sharma et al. 2020).

De acuerdo con Rodríguez et al. (2018) que determinó metales enriquecidos en material particulado mediante espectroscopia de absorción atómica aplicando el equipo Graphite Furnace Atomic (GS-AAS). Por último, Xu et al. (2018) de igual manera para determinar metales en pm en muestras de corteza lavadas y liofilizadas (proceso de deshidratación) se conservaron en nitrógeno líquido y otra mitad en un desecador para luego analizarlas por un analizador elemental vario MACRO cube con una precisión analítica del 0.02%. De igual manera para determinar metal en pm en unas muestras de corteza estas pasaron por incineración y disueltas en agua pura y ácido cítrico, es en esta investigación donde se utilizó la digestión previa para determinar la muestra con un espectrómetro modelo Agilent 700; posterior de cada muestra con 500ng de Pb, este se aisló por cromatografía de extracción usando resina de intercambio aniónico, los tamaños de los isótopos de Pb se calcularon por espectrómetro de masas Thermo-Finnigan

Triton (Kousehlar y Widom, 2019).

En referencia a que partículas de pm se determinaron, de acuerdo con Sgrigna et al. (2020) para determinar la caracterización foliar de partículas en las hojas se realizó por imágenes de microscopía electrónica de barrido, el dispositivo de escáner Phenom ProX, además de un microscopio tron equipado con un analizador de rayos x, estos fueron los instrumentos para determinar pm; la obtención de imágenes por microscopía se realizó con una energía de electrones de 5KeV con la finalidad de limitar la carga de superficie; las imágenes obtenidas se usaron para contar las partículas, medir y observar la morfología de las hojas, además para distinguir el tamaño de partículas se aplicó un umbral de color a cada imagen usando un software que procesa imágenes, el resultado encontrado fue material particulado 2.5 y 10. Además, Sharma et al (2020) menciona que realizó un muestreo de tejido foliar cada tres veces al mes con equipos de alto volumen y bajo volumen Envirotech, APM 430 y Envirotech, APM 821, respectivamente; analizando primeramente por digestión ácida y luego por un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAS-630, en ella se observó la concentración de nueve metales en material particulado PM 2.5 y PM 10.

De acuerdo con Egas, Naulin y Préndez, (2018) la superficie de las hojas de las especies arbóreas estudiadas se metalizó y se analizó mediante el microscopio electrónico de barrido con un aumento de 2500X además de una sonda electrónica acoplada a un software AZtec para el análisis elemental correspondiente, en las muestras además de analizar la presencia de material particulado sobre la epidermis de las hojas, se presenciaron partículas ultrafinas ($<0.1 \mu\text{m}$). Asimismo, en un estudio para determinar material particulado, las muestras de hojas se analizaron recubriéndolas de oro para agrandar la productividad, luego se fotografió con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) con un voltaje de 3-5KV y un aumento de 2000; para extraer las partículas se usó el método de clasificación por objetos para imágenes de teledetección, se establecieron parámetros de color, forma; determinando así partículas PM 1, PM 2.5, PM

10 y partículas más grandes ($>10\mu\text{m}$) (Lin et al. 2017).

Por último, Sgrigna et al. (2016) determinó el tamaño y la composición de PM fijada en filtros de celulosa a través de la microscopía electrónica de barrido y espectroscopia de energía dispersiva de rayos x; se utilizó un microscopio Phenom ProX con un software Phenom pro suite, con factores de energía de electrones de 15KeV para obtener las imágenes; luego mediante la espectroscopia se identificó en las partículas a 26 elementos, los tamaños de las partículas encontradas oscilaron entre 0.1 y 10 μm con una dimensión promedio de $1.57 \pm 0.06 \mu\text{m}$.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es tipo básico, porque el procedimiento que se hará es de una búsqueda especializada sobre el tema, ya que este tipo de investigación tiene un enfoque donde se puede definir y expandir los conocimientos teóricos (TinocoCuenca, Cajas Palacios y Santos Jiménez 2018).

El diseño de investigación no experimental tiene como particularidad de ser flexible, interactivo y reflexivo. El cual se acerca a la realidad para poder explicarlas de una manera sistematizada (Tinoco Cuenca, Cajas Palacios y Santos Jiménez 2018).

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.

En la presente investigación se van analizar las categorías y subcategorías; las cuales van a estar clasificadas de acuerdo a los objetivos específicos y problemas específicos; se da a conocer los diferentes precursores que existen y son aplicadas en los diversos trabajos de investigación recolectados para la presente revisión bibliográfica. Se muestran en el Anexo 2.

3.3. Escenario de estudio

La presente investigación no cuenta con un escenario de estudio ya que no hay un entorno físico en el cual se realizó la investigación; al ser una revisión bibliográfica presentamos una revisión nacional e internacional de todos los artículos acerca de los árboles como bioindicadores de la contaminación atmosférica por metales pesados y material particulado.

3.4. Participantes

En la presente investigación los participantes son aquellas las fuentes de información, como artículos de revistas indexadas de ScienceDirect y Scopus; ya que estos buscadores y bases de datos, contienen miles de artículos que han pasado estándares de calidad de revisiones, por esa misma razón también se consideró artículos electrónicos indexados.

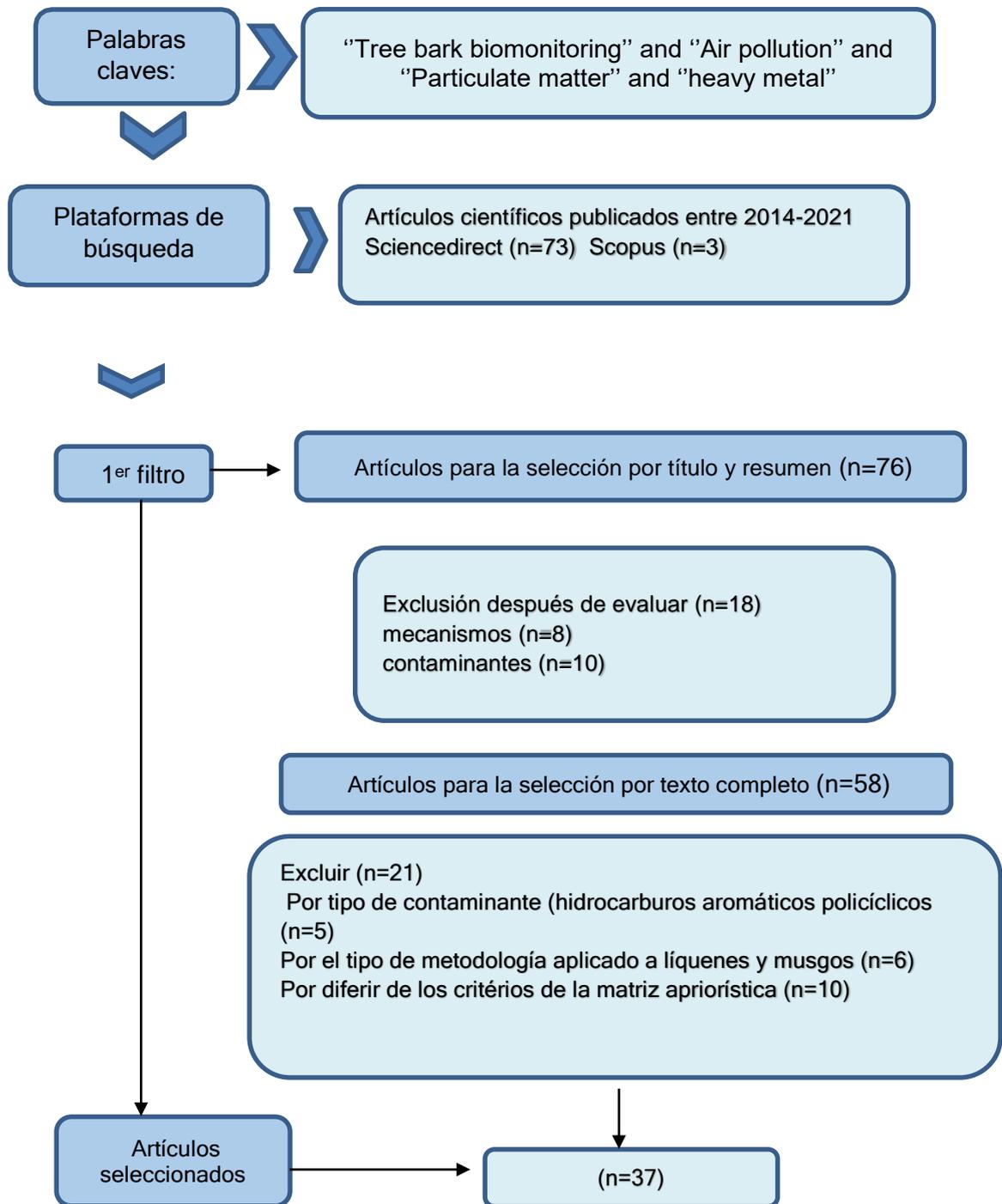
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente estudio se realizó una recolección de datos de diferentes investigaciones de artículos científicos de nivel internacional, los cuales se encuentran en el Anexo 1; quedando detallada la información sobre el contenido de datos generales del autor, año y lugar de publicación, el código de la fuente del artículo. Además, respecto al contenido se toma en cuenta, el árbol como bioindicador, en este caso *Pinus sylvestris L.*, *morus alba*, *Citrus aurantium*, *Olea europaea* y *Pinus brutia*, el tipo de contaminante captado por el mecanismo, el tipo de mecanismo en cuanto a la corteza del árbol, las ramas, las hojas. Por otro lado, resumiendo los métodos o procedimientos para el análisis de los contaminantes.

3.6. Procedimiento

Las etapas que se siguieron para la elaboración del presente estudio fueron: el muestreo de diferentes trabajos de investigación, en las cuales utilizamos palabras claves en relación al tema “heavy metal” and “bioindicator” and “tree” and “bark” and “particulate matter” and “urban air pollution”; en las bases de datos aprobadas (Sciencedirect y Scopus). En ellas se obtiene cierta cifra de artículos. Como primer filtro solo se tuvo en cuenta artículos científicos que se ubiquen a partir del año 2014, seguido a ello se eliminó los documentos duplicados y aquellos que no pertenezcan al idioma de inglés. Con respecto a artículos según título y resumen se excluye los cuales no presenten ninguna relación con el tema, siguiendo con los artículos según el texto completo, si siguen criterios de inclusión y exclusión. Entre los de exclusión, se eliminaron aquellos que se referían al tipo de contaminante y al tipo de metodologías aplicadas a líquenes y musgos y además que difiera de los criterios de la matrizapriorísticas.

Figura 3: Procedimiento de recolección de datos.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Rigor científico

La presente investigación cualitativa va garantizar que el trabajo es válido y confiable con los siguientes criterios para los rigores científicos:

A) La dependencia trata de la consistencia y confiabilidad de la investigación cualitativa, obteniendo información extraídos de diferentes estudios realizados que genera resultados permanentes Salgado (2007).

B) La credibilidad se refiere a la validez de los resultados, teniendo en cuenta la forma de comunicación y del punto de vista de los integrantes de la investigación en donde tienen un vínculo con la investigación Arias Valencia y Giraldo Mora (2011).

C) En la transferencia es la ampliación del conocimiento de los investigadores con respecto al tema de investigación, en donde serán capaces de recepcionar la información precisa del problema y de la investigación Castillo, Edelmira; Vásquez (2003).

D) Confirmación es la investigación cualitativa en donde tiene un apoyo de los antecedentes que es utilizada en la investigación, la presente investigación tomara los datos para usarlo de base para futuras investigaciones Soler y Enrique (2012).

3.8. Método de análisis de datos

En método del análisis de datos involucra el análisis formal de los artículos en la búsqueda de base de datos especializada. Para los fundamentos descriptivos se tienen en cuenta 2 aspectos importantes que es la identificación y la obtención Rubio Liniers (2004).

Para la presente investigación el análisis de información obtenida se dirige bajo tres (3) criterios de acuerdo a las categorías i) Factores que son mejores bioindicadores; ii) Contaminantes más captados por las hojas, ramas y las cortezas de los árboles; iii) Especies con potencial de aplicación, las subcategorías de cada una de ellas, que se presenta en la matriz apriorística (Anexo 2) Giraldo Prato (2011).

En relación con la primera categoría, factores que son mejores bioindicadores, se realizará el análisis del contenido respecto con los resultados de los artículos seleccionados. Como subcategoría se presenta a la corteza, a las hojas y ramas, en la cual se fundamenta de acuerdo a tres criterios de investigación, mostrando estas, las diferentes características de ramas, las diferentes características de cortezas y las diferentes características de las hojas.

Para la segunda categoría, contaminantes más captados por las hojas, ramas y corteza de los árboles, de los artículos seleccionados se fundamentará del porqué de las subcategorías como metales pesados, PM 2.5 y PM 10, mostrando los criterios zona de tráfico vehicular, zonas industriales y zonas urbanas.

Por último, de acuerdo a la tercera categoría, especies con potencial de aplicación, se procederá a precisar cada subcategoría relacionada, en esta se encuentran la *Ficus benjamina*, *Morus alba* y *Ceibo*, mostrando a sus respectivos criterios de acuerdo a nivel regional, de acuerdo a nivel distrital, de acuerdo a nivel internacional.

3.9. Aspectos éticos

Con el fin de garantizar la calidad de la investigación que lleva como título “Revisión sistemática de los árboles como bioindicadores de la contaminación atmosférica por metales pesados y material particulado” se han considerado los aspectos éticos: A) Respeto a la autoría, se citó debidamente al autor y se referencio según la norma ISO. B) Cumpliendo los principios y normas vigentes en la Universidad César Vallejo respecto a la investigación. C) Debido a los resultados que se describen, esta investigación se centra en compartir conocimiento de una recopilación de técnicas de información sobre los árboles como indicadores de la contaminación atmosférica. D) Se procede a la autorización y consentimiento de dicha información para beneficio de futuros investigadores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Factores por el cual algunas especies arbóreas son mejores que otras.

En la tabla 3 se presenta a corteza, hojas y ramas, junto con las características de las cuales algunas especies de árboles podrían ser mejores que otras para bioacumular contaminantes.

Tabla 3: Factores porque algunas especies son mejores que otras.

Factor	Características	referencias
Corteza	<ul style="list-style-type: none"> • La corteza del pino debido a su estructura áspera, tiene la capacidad de atrapar y acumular las partículas. • La porosidad de la corteza facilita la absorción de contaminantes. • La rugosidad de la corteza permite una acumulación y retención de los metales pesados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sut-Lohmann et al. (2020), Solgi, Keramaty y Solgi (2020) • Xu et al. (2019); Sawidis et al. (2011) • Janta y Chantara (2017), Kousehlar y Widom (2019)
Hojas	<ul style="list-style-type: none"> • La superficie áspera de <i>Ficus Bengalis</i> y <i>Ficus Religiosa</i>, retiene los contaminantes del aire, <i>Magnifera Indica</i> gracias a sus peciolos retiene contaminante en sus hojas. • Las hojas presentan rugosidad lo que facilita la adhesión del material particulado. • Forma, orientación y tamaño de hojas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Roy, Bhattacharya y Kumari (2020) • Sharma et al. (2020), Sgrigna et al. (2020) • Sawidis et al. (2012), Wang et al. (2020)
Ramas	<ul style="list-style-type: none"> • La rugosidad ayuda en la retención de contaminantes. 	Drava et al. (2017)

Respecto a la corteza de los árboles se indica que es un excelente indicador para la contaminación del aire a largo plazo, ya que está expuesta a esta contaminación durante muchos años; la corteza interior revela el flujo de iones metálicos dentro del árbol, mientras que, la capa externa acumula los contaminantes y su porosidad estructural permite una alta adsorción, además se considera que la acumulación de contaminante en la corteza se

deba a un proceso de traslocación (Sut-Lohmann et al. 2020). Además, dentro las características de la corteza, según Xu et al. (2019) las superficies leñosas y lenticelas (grietas o aberturas en la corteza) tienen un papel crucial para retener partículas, también se menciona que los troncos al poseer una corteza más gruesa que las ramas, aumenta el área de contacto con los contaminantes debido a su porosidad.

Asimismo, en múltiples investigaciones se ha identificado como característica la edad del árbol y la porosidad, ciertamente se ha encontrado una mayor carga de metales en la superficie de la corteza reflejando concentraciones tanto dentro del floema como absorbidas a través de deposición seca y húmeda de metales atmosféricos (Sawidis et al. 2011; Sut-Lohmann et al. 2020; Solgi, Keramaty y Solgi, 2020 ; Kousehlar y Widom, 2019).

Por otro lado, se identificaron especies de árboles donde su corteza en un inicio eran lisas y finas, pero escamosas al pasar el tiempo cuando se volvieron árboles viejos (Janta y Chantara, 2017; Xu et al. 2019).

En cuanto al factor de las hojas, Roy, Bhattacharya y Kumari (2020); Wang et al. (2020) reportan que la capacidad de retención de las partículas depende de la orientación ya sean erguidas o péndulas, depende del tipo si son simples o compuestas como la imparipinnadas (compuestas de 9 o 13 folíolos) y la forma de las hojas (forma de agujas como la de los pinos), además de que las hojas con peciolo (estructura cilíndrica, delgada que une a la hoja con la base foliar) más grandes retienen menos contaminantes, otra característica es la presencia de tricomas (vellosidades que recubren la hoja) en la epidermis superior e inferior ya que al tener una alta densidad de tricomas se puede retener más contaminantes debido a que estos quedan atrapadas en estos pelos y una última característica sería la edad de las hojas ya que existiría una mayor deposición y/o acumulación de contaminantes a una edad mayor.

Asimismo, en la investigación de Sharma et al. (2020); Sgrigna et al. (2020) se reafirma lo antes mencionado haciendo uso de *Morus alba*, *P. acerifolia*,

P. cerasifera y *P. tremula*, de lo cual se encontró que estas especies poseen características como su superficie foliar rugosa lo que las hace más eficientes para capturar material particulado, además que poseen abundantes surcos y se observó que el lado ventral de la hoja es rico en tricomas y tiene ranuras que logra que sea más rugosa, además el lado dorsal es rico en estomas (poros o aberturas).

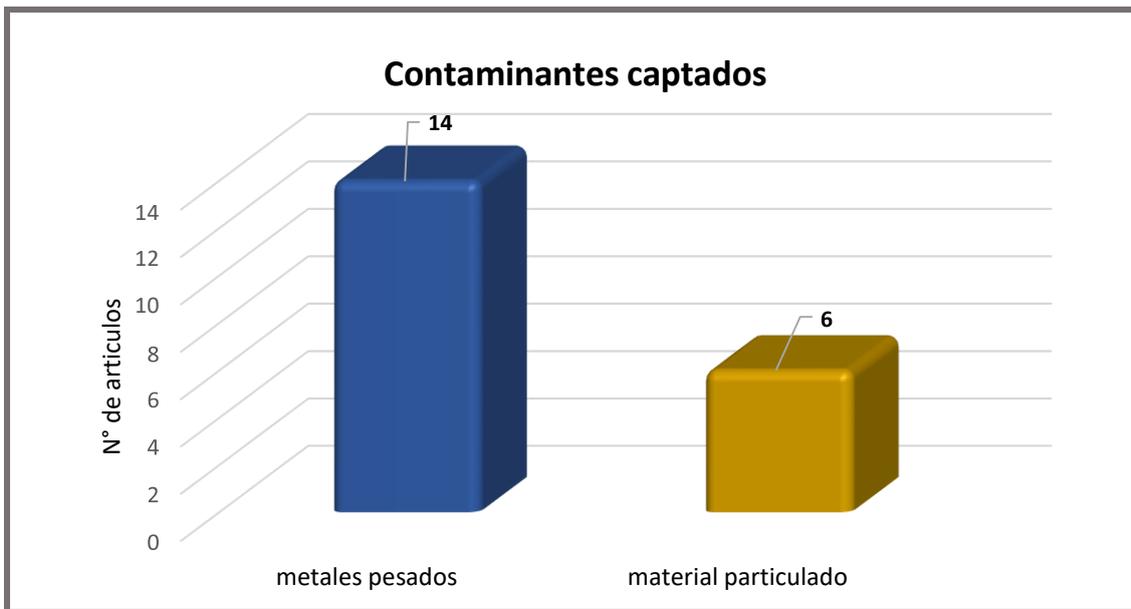
De acuerdo con Roy, Bhattacharya y Kumari (2020); Wang et al. (2020); Solgi, Keramaty y Solgi, (2020); Sawidis et al. (2012) han reportado algunas especies que capturan contaminantes en sus hojas, el *Ficus bengalensis*, *Ficus religiosa*, *Mangifera indica*, *Psidium guajava* y *Saraca asoca* capturan polvo, una característica presente es una superficie rugosa y grande; además se informó que, si la concentración de algunos metales es más acumulada por ciertas especies que otras, puede que se deba a la naturaleza de las hojas.

En cuanto al factor ramas, Drava et al. (2017), Sawidis et al. (2011), Xu et al. (2019) informan que los segmentos como las ramas que han sido expuestos durante un tiempo más prolongado mostrarían altas concentraciones, siendo utilizado como un archivo natural de contaminantes persistentes; en cuanto a las características, estas son similares a las referidas para la corteza, como la rugosidad, tan solo que para el caso de las ramas el área de su superficie no están extensa como la corteza.

4.2. Contaminantes más captados por las hojas, corteza y ramas de árboles.

En la figura 4 se puede observar que dentro de los artículos de investigación seleccionados 14 de ellos tuvieron en su estudio como contaminante a los metales pesados y 6 artículos al material particulado.

Figura 4. Los contaminantes más captados por las hojas, la corteza y ramas de los árboles.



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los metales estas fueron encontradas en su mayoría en zonas urbanas e industrial, de acuerdo con las investigaciones Wang et al. (2020); Sawidis et al. (2012); Roy, Bhattacharya y Kumari (2020) en sus investigaciones los metales más prevalentes en cada especie arbórea son el Cu y Pb que alcanzaron concentraciones de hasta 216.20 mg/kg para Cu en un sitio industrial y en cuanto al Pb en unidades ppm alcanzo valores entre 13.13 a 67.10 en una zona urbana. De igual forma, Liang, et al. (2017) en porcentajes reportó una captura de Cu (92.7%) con *Nerium indicum* y Pb (63.4%) con *Magnolia grandiflora* en una zona urbana.

Los metales también fueron captados en zonas urbanas en la corteza, de acuerdo con Solgi, Keramaty y Solgi (2020); Sut-Lohmann et al. (2020); Sawidis et al. (2011) y Janta y Chantara (2017) fueron metales pesados como Pb, Fe, Cr y Al, en cada investigación estos metales tuvieron las más altas concentraciones en zonas urbanas, el Pb (70,3 mg/kg-1), el Fe tuvo mayores concentraciones en todas sus zonas de muestreo con una mayor de 2096.6 mg/kg-1, luego el Cr con $1.246 \pm 0.360 \mu\text{g g}^{-1}$, y por último el Al encontrándose en una zona de tráfico vehicular que varió de 180 a 6975 ng/cm² en estación seca y 30 a 5408 ng/cm² en temporada húmeda, respectivamente.

Por otro lado, en una zona industrial tenemos que Drava et al. (2017) reportó una acumulación de Cr (V) en las ramas, si bien el Cr en estado trivalente es más

frecuente en el medio, por el contrario, su forma hexavalente no es muy común que se encuentre naturalmente, la especie utilizada como bioindicador acumuló concentraciones de 0.4-74.4 mg/g

En cuanto al material particulado, en corteza, Xu et al. (2019); Kousehlar y Widom, (2019); Xu et al. (2018) y Rodriguez, et al. (2018) informaron que captaron en forma de material particulado a los siguientes elementos en zonas urbanas y el último mencionado en una zona antiguamente para uso industrial: Al (aluminio), N (nitrógeno) y Hg (mercurio). En cuanto a hojas, Sharma et al. (2020); Sgrigna et al. (2020) captaron en una zona urbano-industrial al PM10 del cual destacó en concentraciones de 8.58 µg/m³ y 5.2 µg/m³.

De manera general, de acuerdo con todo lo antes expuesto los contaminantes más captados por los tejidos de árboles como bioindicadores de calidad del aire fueron los metales pesados, tanto para hojas, corteza y ramas.

4.3. Especies de árboles con potencial de aplicación como bioindicadores en la contaminación atmosférica en el Perú.

En la tabla 4 se explica los resultados que han obtenido algunos autores en relación a algunas especies como bioindicadores de la calidad del aire en el Perú, en comparación con otros países.

Tabla 4: Especies de árboles con potencial de aplicación como bioindicadores en la contaminación atmosférica.

Especies/Lugar	Razones	Tejido arbóreo	Unidad de análisis
<i>Ficus benjamina</i> Lima/ San Martín de Porres	Posee una corteza lisa. Hoja subdística	Hojas y Ramas	Angulo Paz (2018)
<i>Ficus benjamina</i> /Colombia	Rápida adaptación al medio. Excelente capacidad para depositar PM. Altura media. Mayor densidad del follaje	Hojas	Vásquez y Arroyave, 2019
<i>El Ceibo (Ceiba sp.)</i> Lima/Chaclacayo	La manera en la que acumula contaminantes es a través de los algodoncillos que emite.	Fruto	Blanco (2018)

<i>Ceiba speciosa/ Brasil</i>	Posee porosidad difusa	—	Vasconcellos y Callado (2020)
<i>Morus alba Arequipa/Uchumayo y Yura</i>	Rápido crecimiento hasta llegar a la madurez. Capacidad de reducir contaminantes por retención. Hojas lisas con gran cantidad de estomas.	Hojas	Suclla (2019)
<i>Morus alba/ Delhi (India)</i>	Presenta hoja caduca de rápido crecimiento. Superficie foliar rugosa. Especie resistente a climas áridos y semiáridos.	Hoja	Sharma et al. (2020)

Elaboración propia.

En la tabla 4 se muestran a las 3 especies arbóreas con potencial como bioindicadores de calidad del aire en el Perú y otros países en donde se estudiaron a las mismas especies.

A nivel distrital, la *Ficus benjamina* fue investigada en San Martín de Porres en uno de los distritos de Lima en el parque Mayta Capac, al analizar la capacidad de adsorción de sólidos totales y volátiles según el follaje, existe una mayor facultad en follaje frondoso, de igual manera para hierro y aluminio. Además, que la concentración de material particulado en el área de cobertura de esta especie es de 0.5368 mg/cm²/30 días, mientras que en el área sin cobertura hay una concentración de 4.5414 mg/cm²/30 días, y esto se debe a la dirección de viento. Por otro parte, la misma especie fue investigada en un nivel internacional en el país de Colombia en donde se determinó que encuentra en el puesto tres de una clasificación de especies según su capacidad de remoción de material particulado, presentando entre las características alta tasa de crecimiento, al igual que la permanencia del follaje.

A nivel distrital también se investigó al *Ceibo* según lo reporta Blanco (2018) ubicado en Chaclacayo, produce un algodoncillo entre los meses de junio y setiembre, este se mantiene expuesto por varios meses más para que sirva como indicador de calidad del aire. Esta característica es algo limitante ya que según lo que menciona esta parte de la morfología del Ceibo solo

serviría como indicador por unos cuantos meses. Por otro lado, los puntos 2 y 3 de los evaluados con algodoncillo presenta niveles sobre los 140 mg/kg de Pb, con una concentración de 199.1 y 216.4 mg/kg de Pb. Esto demuestra que el algodoncillo puede lograr. En el ámbito internacional también investigada en Brasil la misma especie presentó algunas características anatómicas en su madera respecto al entorno en el que habita, siendo estas en un medio forestal o en un medio urbano.

El *Morus alba* a nivel regional estudiado en el departamento de Arequipa presenta algunas características en sus tejidos como hojas con textura delgada y firme, además su corteza en inicios es lisa y con el paso del tiempo pasa a rugosa. Por otro lado, al analizar su área foliar se encontró que en el mes de Noviembre hubo un promedio máximo de estomas para la zona de Paucarpata aunque hubo un descenso en el mes de Diciembre conforme al aumento de PM10, la especie sufrió cambios de los cuales puede deberse a la presencia del contaminante alterando su funcionamiento en el mes de noviembre hubo una menor contaminación al haber una mayor cantidad de estomas en donde estos contaminantes pudieron depositarse. Asimismo, de manera internacional el *Morus alba* fue estudiado en Delhi capital de la India en que se ayudó a identificar una variedad de metales entre ellos hubo una mayor concentración de Zn y Fe en ambos tamaños de partículas (PM10 y PM2.5); las características de esta especie en hojas logro ayudar a adherir y mantener el polvo durante un periodo de tiempo largo. Además, en comparación con las hojas, la concentración en el tallo fue mayor.

V. CONCLUSIONES

1. En relación a los factores por el cual algunas especies arbóreas son mejores que otras como bioindicadores, se identificaron tres principales factores como: las características de la corteza, hojas y ramas. La corteza debe presentar superficies leñosas, lenticelas, además de una alta porosidad y también se considera la edad del árbol ya que algunos se vuelven escamosos en su corteza al pasar el tiempo. Respecto a las hojas la capacidad de retención de las partículas depende de su orientación ya sean erguidas o péndulas, asimismo, de la cantidad foliar, de tricomas. En cuanto al factor ramas, estos segmentos al ser expuestos en un tiempo más prolongado mostrarían altas concentraciones, las características de las ramas son similares a las referidas para la corteza.

2. En cuanto a los contaminantes más captados por las hojas, corteza y ramas, se concluye que los metales pesados son los más captados por los tejidos de los árboles, dentro de estos metales se identificaron al cobre, plomo, hierro, cromo y aluminio. Por otro lado, los menos captados fueron los de material particulado y que además solo se identificó acumulación en corteza y hojas.

3. Las especies de árboles con potencial y unas de las pocas que han sido estudiadas en el Perú son: La *Morus alba*, *Ceiba* y *Ficus benjamina*, poseen ciertas características como rápido crecimiento, follaje extenso, adaptabilidad al medio, corteza rugosa, entre otras, que las califican para ser buenos candidatos como bioindicadores de la calidad del aire.

VI. RECOMENDACIONES

1. De acuerdo con lo antes expuesto, se recomienda extender la búsqueda y tomar en cuenta a otros factores como la flor de la especie además de ramas, hojas y corteza como indicador de calidad del aire.
2. Identificar otros tipos de contaminantes del aire con respecto a bioindicadores arbóreos, como, por ejemplo: pesticidas, especialmente en zonas agrícolas
3. Se recomienda un mayor estudio o investigación de especies arbóreas como bioindicadores en el Perú, especialmente de especies nativas como la Tara y Cinchona, ya que en la búsqueda de información se encontraron más estudios relacionados a líquenes o musgos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ABRUTZKY, Rosana y DAWIDOWSKI, Laura y MURGIDA, Ana y NATENZON, Claudia, 2014. Contaminación del aire en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires: El riesgo de hoy o el cambio climático futuro, una opción falsa.
2. AMABLE Álvarez, Isabel, et al. 2017. Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160-1170.
3. ANGULO, Carlos. 2018. Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arbórea *Ficus benjamina* en el parque zonal "Mayta Capac", San Martín de Porres. [tesis de titulación para ingeniero Ambiental-Universidad Nacional Federico Villareal], pp. 172.
4. ARIAS VALENCIA, M.M. y GIRALDO MORA, C.V., 2011. El rigor científico en la investigación cualitativa. *El rigor científico en la investigación cualitativa O rigor científico na investigação qualitativa Scientific rigor in qualitative research*, vol. 29, no. 3, pp. 500-514. ISSN 0120-5307.
5. BIRKE, M., RAUCH, U. y HOFMANN, F., 2018. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration* [en línea], vol. 187, pp. 97- 117. ISSN 03756742. DOI 10.1016/j.gexplo.2017.09.007. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.007>.
6. BLANCO, J. 2018. El ceibo (Ceiba sp.) como indicador de fuentes de contaminación atmosférica, en el distrito de Chaclacayo, Lima, Perú. [Tesis de Grado Magister en Ciencias Ambientales-Universidad Nacional Mayor de San Marcos] Lima-Perú. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/9717>
7. CARVALHO, R. et al. 2017. Effectiveness of traffic-related elements in tree bark and pollen abortion rates for assessing air pollution exposure on respiratory mortality rates. *Environment International*, 99, 161-169. doi:10.1016/j.envint.2016.09.008
8. CASTILLO, EDELMIRA; VÁSQUEZ, M.L., 2003. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia Médica*, 2003, [en línea], vol. 34, n,

- no. ISSN: 0120-8322, pp. 164-167. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11592/7268>.
9. CHAPARRO G., A.L., GARCÍA F., J.J., CARDONA R., Y., BUSTAMANTE C., J.J. y PELÁEZ P., M., 2016. Desarrollo y validación de un método ambientalmente amigable para determinación de metales pesados en pastos. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 33, no. 2, pp. 3. ISSN 0120-0135. DOI 10.22267/rcia.163302.48.
 10. CHAPARRO, Marcos A.E., CHAPARRO, Mauro A.E., CASTAÑEDA-MIRANDA, A.G., MARIÉ, D.C., GARGIULO, J.D., LAVORNIA, J.M., NATAL, M. y BÖHNEL, H.N., 2020. Fine air pollution particles trapped by street tree barks: In situ magnetic biomonitoring. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 266, pp. 115229. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2020.115229. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115229>.
 11. CHEN, Y., HAN, W., CHEN, S. y TONG, L., 2014. Estimating ground-level PM_{2.5} concentration using Landsat 8 in Chengdu, China. *Remote Sensing of the Atmosphere, Clouds, and Precipitation V*, vol. 9259, no. October, pp. 925917. ISSN 1996756X. DOI 10.1117/12.2068886.
 12. CHUI BETANCUR, Heber; ACOSTA NAJARRO, Dwight y ROQUE HUANCA, Bernardo. 2017. Identificación del material de partículas finas (pm_{2.5}) mediante microscopía electrónica de escaneo cerca de la planta de cemento de cesur del distrito de Caracoto, Puno, Perú. *Rev. Bol. Quim* [online]. 2017, vol.34, n.3, pp. 72-78. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602017000300002&lng=es&nrm=iso
 13. CHUI, H.B., MIRAMIRA, B.T., OLIVERA, P.L. y JACAY, J.H., 2009. Determinación De Metales Pesados En Sedimentos Del Río Chillón Mediante La Técnica De Fluorescencia De Rayos X. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, vol. 12, no. 2, pp. 9-14. ISSN 1609-7599.
 14. DRAVA, G., ANSELMO, M., BRIGNOLE, D., GIORDANI, P. y MINGANTI, V., 2017. Branch bark of holm oak (*Quercus ilex* L.) for reconstructing the temporal variations of atmospheric deposition of hexavalent chromium. *Chemosphere* [en línea], vol. 170, pp. 141-145. ISSN 18791298. DOI

- 10.1016/j.chemosphere.2016.12.012. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.12.012>.
15. EGAS, Claudia, NAULIN, Paulette I., & PRÉNDEZ, Margarita. (2018). "Contaminación Urbana por Material Particulado y su Efecto sobre las Características Morfo-Anatómicas de Cuatro Especies Arbóreas de Santiago de Chile". *Información tecnológica*, 29(4), 111-118. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000400111>
16. FERNÁNDEZ, N., 2017. Caracterización de material particulado y plomo en el distrito de San Juan de Siguan - Arequipa. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, pp. 106.
17. FUJIWARA, F.G., GÓMEZ, D.R., DAWIDOWSKI, L., PERELMAN, P. y FAGGI, A., 2011. Metals associated with airborne particulate matter in road dust and tree bark collected in a megacity (Buenos Aires, Argentina). *Ecological Indicators*, vol. 11, no. 2, pp. 240-247. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2010.04.007.
18. GALLEGOS, W., VEGA, M. y NORIEGA, P., 2012. Espectroscopía de absorción atómica con llama y su aplicación para la determinación de plomo y control de productos cosméticos. *La Granja*, vol. 15, no. 1, pp. 19. ISSN 1390-3799. DOI 10.17163/lgr.n15.2012.02.
19. GARCIA, C., 2016. Concentración de Material Particulado PM 2,5 en Función de la Humedad y Reflectancia Atmosférica Usando Imágenes Landsat-8 en Lima Metropolitana. *Pakamuros*, vol. 6, no. 1, pp. 48-58.
20. GIRALDO PRATO, M., 2011. Abordaje de la Investigación Cualitativa a través de la Teoría Fundamentada en los Datos. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias* [en línea], vol. 2, no. 6, pp. 79-86. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2150/215021914006.pdf>.
21. GUÉGUEN, F., STILLE, P., LAHD GEAGEA, M., PERRONE, T. y CHABAUX, F., 2012. Atmospheric pollution in an urban environment by tree bark biomonitoring - Part II: Sr, Nd and Pb isotopic tracing. *Chemosphere*, vol. 86, no. 6, pp. 641-647. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2011.11.008.
22. GURGATZ, B.M., CARVALHO-OLIVEIRA, R., DE OLIVEIRA, D.C., JOUCOSKI, E., ANTONIACONI, G., SALDIVA, P.H. do N. y REIS, R.A.,

2016. Atmospheric metal pollutants and environmental injustice: A methodological approach to environmental risk analysis using fuzzy logic and tree bark. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 71, pp. 428-437. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2016.07.028. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.028>.
23. HARJU, L., SAARELA, K.E., RAJANDER, J., LILL, J.O., LINDROOS, A. y HESELIUS, S.J., 2002. Environmental monitoring of trace elements in bark of Scots pine by thick-target PIXE. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. 189, no. 1-4, pp. 163-167. ISSN 0168583X. DOI 10.1016/S0168-583X(01)01031-X.
24. JANTA, R. y CHANTARA, S., 2017. Tree bark as bioindicator of metal accumulation from road traffic and air quality map: A case study of Chiang Mai, Thailand. *Atmospheric Pollution Research* [en línea], vol. 8, no. 5, pp. 956-967. ISSN 13091042. DOI 10.1016/j.apr.2017.03.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apr.2017.03.010>.
25. JIMÉNEZ HEINERT, M.E., GRIJALVA ENDARA, A. de las M. y PONCE SOLÓRZANO, H.X., 2020. Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *Recimundo*, vol. 4, no. 4, pp. 4-12. DOI 10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.4-12.
26. KOSIOREK, M., MODRZEWSKA, B. y WYSZKOWSKI, M., 2016. Levels of selected trace elements in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), silver birch (*Betula pendula* L.), and Norway maple (*Acer platanoides* L.) in an urbanized environment. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 188, no. 10. ISSN 15732959. DOI 10.1007/s10661-016-5600-0.
27. KOUSEHLAR, M. y WIDOM, E., 2019. Sources of metals in atmospheric particulate matter in Tehran, Iran: Tree bark biomonitoring. *Applied Geochemistry*, vol. 104, no. March, pp. 71-82. ISSN 18729134. DOI 10.1016/j.apgeochem.2019.03.018.
28. LIANG, J., FANG, H.L., ZHANG, T.L., WANG, X.X. y LIU, Y.D., 2017. Heavy metal in leaves of twelve plant species from seven different areas in Shanghai, China. *Urban Forestry and Urban Greening* [en línea], vol. 27, pp. 390-398. ISSN 16108167. DOI 10.1016/j.ufug.2017.03.006.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.03.006>.

29. LIN, L et al. 2017. Characterization of particulate matter deposited on urban tree foliage: A landscape analysis approach. *Atmospheric Environment*, 171, 59–69. doi:10.1016/j.atmosenv.2017.09.012
30. MATOUQ, M., JILDEH, N., QTAISHAT, M., HINDIYEH, M., AL SYOUF, M.Q., VALVERDE, J.M.L., LESMANA, S.O., FEBRIANA, N., SOETAREDJO, F.E., SUNARSO, J. y ISMADJI, S., 2008. Efecto Del Pretratamiento De Biomasa Procedente De Un Hábitat Eutrofizado Sobre La Bioadsorción De Metales Pesados [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9788469210796. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2015.03.027>.
31. MENDOZA MAGAÑA, L.M., RODRIGO RIVAS, J. y VILLALOBOS ALFARO, K.L., 2017. Determinación de metales pesados Cadmio, Níquel, Plomo y Zinc en la zona de influencia del Relleno Sanitario de Sonsonate, El Salvador. [en línea], pp. 247. Disponible en: [http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12786/1/Determinación de metales pesados Cadmio, Níquel, Plomo y Zinc en la zona de influencia del Relleno Sanitario de Sonsonate, El Salvador.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/12786/1/Determinación%20de%20metales%20pesados%20Cadmio,%20Níquel,%20Plomo%20y%20Zinc%20en%20la%20zona%20de%20influencia%20del%20Relleno%20Sanitario%20de%20Sonsonate,%20El%20Salvador.pdf).
32. PERUANO, E., 2017. Decreto Supremo No. 003-2017-MINAM., pp. 6-9.
33. REIMANN, C., ARNOLDUSSEN, A., FINNE, T.E., KOLLER, F., NORDGULEN, Ø. y ENGLMAIER, P., 2007. Element contents in mountain birch leaves, bark and wood under different anthropogenic and geogenic conditions. *Applied Geochemistry*, vol. 22, no. 7, pp. 1549-1566. ISSN 08832927. DOI 10.1016/j.apgeochem.2007.03.048.
34. REYES, B.A., RUIZ, R.C., MARTÍNEZ-CRUZ, J., BAUTISTA, F., GOGUITCHAICHVILI, A., CARVALLO, C. y MORALES, J., 2012. Ficus benjamina leaves as indicator of atmospheric pollution: A reconnaissance study. *Studia Geophysica et Geodaetica*, vol. 56, no. 3, pp. 879-887. ISSN 00393169. DOI 10.1007/s11200-011-0265-1.
35. RIQUELME, C., 2015. ANALISIS ESTADISTICO DE CONCENTRACIONES Y DISTRIBUCIONES DE METALES PESADOS PARA EL MUNICIPIO DE SENTMENAT, ESPAÑA. *UNIVERSIDAD*

- CATÓLICA DE LA SANTÍSIMA CONCEPCIÓN, pp. 99. DOI 10.18356/ee640862-es.
36. RODRIGUEZ HEREDIA, Dunia. 2017. Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN* [online]. vol.21, n.12, pp.3372-3385. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012&lng=es&nrm=iso
37. RODRÍGUEZ MARTIN, J.A., GUTIÉRREZ, C., TORRIJOS, M. y NANOS, N., 2018. Wood and bark of *Pinus halepensis* as archives of heavy metal pollution in the Mediterranean Region. *Environmental Pollution*, vol. 239, pp. 438-447. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2018.04.036.
38. ROY, A., BHATTACHARYA, T. y KUMARI, M., 2020. Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 722, pp. 137622. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137622. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137622>.
39. RUBIO LINIERS, M.C., 2004. El análisis documental: indización y resumen en bases de datos especializadas. Preprint [en línea], no. El análisis documental: Indización y resumen en base de datos especializadas. Disponible en: http://eprints.rclis.org/6015/1/Analisis_documental_indizacion_y_resumen.pdf.
40. SALGADO, A., 2007. Evaluación Del Rigor Metodológico Y Retos. *Liberabit*, vol. 13, no. 1729-4827, pp. 71-78. ISSN 1729-4827.
41. SANTOS, R.S., SANCHES, F.A.C.R.A., LEITÃO, R.G., LEITÃO, C.C.G., OLIVEIRA, D.F., ANJOS, M.J. y ASSIS, J.T., 2019. Multielemental analysis in *Nerium Oleander* L. leaves as a way of assessing the levels of urban air pollution by heavy metals. *Applied Radiation and Isotopes* [en línea], vol. 152, no. February, pp. 18-24. ISSN 18729800. DOI 10.1016/j.apradiso.2019.06.020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2019.06.020>.

42. SAWIDIS, T., BREUSTE, J., MITROVIC, M., PAVLOVIC, P. y TSIGARIDAS, K., 2011. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 159, no. 12, pp. 3560-3570. ISSN 02697491. DOI 10.1016/j.envpol.2011.08.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.008>.
43. SAWIDIS, T., KRYSTALLIDIS, P., VEROS, D. y CHETTRI, M., 2012. A study of air pollution with heavy metals in Athens city and Attica basin using evergreen trees as biological indicators. *Biological Trace Element Research*, vol. 148, no. 3, pp. 396-408. ISSN 01634984. DOI 10.1007/s12011-012-9378-9.
44. SCHULZ, B. y BOYLE, C., 2005. The endophytic continuum. *Mycological Research*, vol. 109, no. 6, pp. 661-686. ISSN 09537562. DOI 10.1017/S095375620500273X.
45. SGRIGNA, G., BALDACCHINI, C., DREVECK, S., CHENG, Z. y CALFAPIETRA, C., 2020. Relationships between air particulate matter capture efficiency and leaf traits in twelve tree species from an Italian urban-industrial environment. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 718, pp. 137310. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137310. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137310>.
46. SGRIGNA, G., et al. 2016. Characterization of leaf-level particulate matter for an industrial city using electron microscopy and X-ray microanalysis. *Science of The Total Environment*, 548-549, 91–99. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.05.
47. SHARMA, P., YADAV, P., GHOSH, C. y SINGH, B., 2020. Heavy metal capture from the suspended particulate matter by *Morus alba* and evidence of foliar uptake and translocation of PM associated zinc using radiotracer (⁶⁵Zn). *Chemosphere*, vol. 254, pp 126863. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.126863.
48. SOLER, P. y ENRIQUE, A., 2012. Reflexion sobre el rigor científico en la investigación cualitativa. *Estudios sobre el mensaje periodístico* [en línea], vol. 18, pp. 879-888. Disponible en: <http://revistas.ucm.es/index.php/ESMP/article/download/40966/39217>.

49. SOLGI, E., KERAMATY, M. y SOLGI, M., 2020. Biomonitoring of airborne Cu, Pb, and Zn in an urban area employing a broad leaved and a conifer tree species. *Journal of Geochemical Exploration* [en línea], vol. 208, pp. 106400. ISSN 03756742. DOI 10.1016/j.gexplo.2019.106400. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106400>.
50. SOTO GOMEZ, jairo jervis, 2015. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE POR MATERIAL PARTICULADO (PM 10), EN UNA VIA PAVIMENTADA (AV. ANTONIO MAYA DE BRITO) Y UNA VIA NO PAVIMENTADA {AV. COLONIZACIÓN) EN EL DISTRITO DE MANANTAY, PROVINCIA DE CORONEL PORTILLO - UCAYALI. *TESIS*, pp. 86.
51. SUCLLA, M., 2019. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EMPLEANDO LA ESPECIE "Morus alba" COMO BIOINDICADOR DE CONTAMINACIÓN POR MATERIAL PARTICULADO PM10 EN LOS DISTRITOS DE PAUCARPATA, UCHUMAYO Y YURA, AREQUIPA - 2018. *Universidad Católica de Santa María*, pp. 157. ISSN 1098-6596.
52. SUT-LOHMANN, M., JONCZAK, J., PARZYCH, A., ŠIMANSKÝ, V., POLLÁKOVÁ, N. y RAAB, T., 2020. Accumulation of airborne potentially toxic elements in *Pinus sylvestris* L. bark collected in three Central European medium-sized cities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 200, no. May. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2020.110758.
53. TAPIA, V., CARBAJAL, L., STEENLAND, K. y GONZALES, G.F., 2018. Artículo Original REORDENAMIENTO VEHICULAR Y CONTAMINACIÓN DIÓXIDO DE AZUFRE Y DIÓXIDO DE NITRÓGENO EN LIMA METROPOLITANA PERU. , vol. 35, no. 2, pp. 190-197. DOI 10.17843/rpmesp.2018.352.3250.190
54. TELLERÍA, C. et al. 2014. Aplicación de fluorescencia de rayos-x por reflexión total en la determinación de concentración de zinc en cabello de niños para la estimación de niveles nutricionales". *Revista Boliviana de Física*, 24(24), 1-6.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232014000100001&lng=es&tlng=es.
55. TINOCO CUENCA, N., CAJAS PALACIOS, M. y SANTOS JIMÉNEZ, O., 2018. Diseño de investigación cualitativa. *TÉCNICA Y MÉTODOS*

- CUALITATIVOS PARA LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA* [en línea], no. 9, pp. 1689-1699. ISSN 1098-6596. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12501>.
56. TURKYILMAZ, A., SEVIK, H., ISINKARALAR, K. y CETIN, M., 2019. Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 5, pp. 5122-5130. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-018-3962-2.
57. VASCONCELLOS, Thais & CALLADO, Cátia. 2020. Wood anatomy of *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna under urban pollution. *IAWA Journal* 41(1), 30-47. DOI10.1163/22941932-00002109
58. VÁSQUEZ, M y ARROYAVE, M. 2019. Clasificación de especies arbóreas según su capacidad para remover material particulado del aire en el valle de Aburrá. *Revista EIA*, vol. 16, n° 32, pp. 229-242. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v16n32/1794-1237-eia-16-32-229.pdf>
59. WANG, G., SANG, L., TARIQ, M., LU, C., ZHANG, W., LIN, K. y HUANG, B., 2020. Systematic facile study of singleton e-waste recycling site to unveil the potential bio-indicator for atmospheric heavy metals by using tree leaves. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], vol. 143, pp. 304-312. ISSN 09575820. DOI 10.1016/j.psep.2020.06.045. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.045>.
60. XU, X., YU, X., MO, L., XU, Y., BAO, L. y LUN, X., 2019. Atmospheric particulate matter accumulation on trees: A comparison of boles, branches and leaves. *Journal of Cleaner Production*, vol. 226, pp. 349-356. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.04.072.
61. XU, Y., XIAO, H., GUAN, H. y LONG, C., 2018. Monitoring atmospheric nitrogen pollution in Guiyang (SW China) by contrasting use of *Cinnamomum Camphora* leaves, branch bark and bark as biomonitors. *Environmental Pollution*, vol. 233, pp. 1037-1048. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2017.10.005.
62. YÁNEZ, C., 2020. Estación meteorológica LoRaWAN. *Facultad de ingeniería - Universidad de Buenos Aires*, pp. 66.
63. YOUSSEF, N., MARKERT, B., GURBANOV, E., SEVNIC, H. y WÜNSCHMANN, S., 2014. Bioindication of trace metal pollution in the atmosphere of Baku city using *ligustrum japonicum*, *olea europea*, and

pyracantha coccinea leaves. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 22, no. 1, pp. 14-20. ISSN 16486897. DOI 10.3846/16486897.2013.804828.

Anexo 1: Ficha de análisis de contenido

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO
--	---------------------------------------

TITULO:

PAGINA DE TEXTO EXTRAIDO:	AÑO DE PUBLICACION	
--------------------------------------	---------------------------	--

AUTOR (ES):

DOI :	
PALABRAS CLAVES :	
CARACTERISTICAS :	
METAL PESADO, CONTAMINANTE O MATERIAL PARTICULADO :	
PARAMETROS ESTUDIADOS :	
METODO UTILIZADO EN LAS HOJAS, CORTEZAS :	
RESULTADOS :	
CONCLUSIONES:	

Anexo 2: Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 5. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Unidad de análisis
Identificar los factores por el cual algunos árboles son mejores bioindicadores	¿Cuáles son los factores por el cual algunos árboles son mejores bioindicadores que otros?	Factores	Corteza Hojas ramas	Los diferentes características de ramas de especies de arboles	Diferentes características de cortezas	Diferentes características de las hojas	Kousehlar y Widom 2019, Sawidis et al. 2011, Sut-Lohmann et al. 2020, Sharma et al. 2020, Kousehlar y Widom 2019, Xu et al. 2019, Sawidis et al. 2011, Roy, Bhattacharya y Kumari 2020, Sawidis et al. 2012, Janta y Chantara 2017.
Determinar cuáles son los contaminantes más captados por las hojas, ramas y la corteza de los árboles	¿Cuáles son los contaminantes más captados por las hojas, ramas y la corteza de los arboles?	contaminantes	Metales pesados Material particulado	Zona de tráfico vehicular	Zonas industriales	Zonas urbanas	Soto Gomez 2015, Fernández 2017, Riquelme 2015, Vidal 2014, Suclla 2019, Guéguen et al. 2012, Kosiorek, Modrzewska y Wyszowski 2016.

<p>Analizar las especies presentes en el Perú con potencial de aplicación como bioindicadores en la contaminación atmosférica</p>	<p>¿Cuáles son las especies presentes en el Perú con potencial de aplicación como bioindicadores de la contaminación atmosférica?</p>	<p>Especies</p>	<p><i>Ficus benjamin</i> <i>a</i> <i>Ceiba sp</i> <i>Morus alba</i></p>	<p>De acuerdo al nivel regional</p>	<p>De acuerdo al nivel distrital</p>	<p>De acuerdo al nivel internacional</p>	<p>Sharma et al. 2020, Vasconcellos y Callado. 2020, Blanco 2018, Suclla 2019, Angulo 2018.</p>
---	---	-----------------	---	-------------------------------------	--------------------------------------	--	---



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Nosotros, FLOREZ SEGURA ANGEL ALFREDO, FRANCO SALAZAR ALEX OSCAR estudiantes de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LOS ARBOLES COMO BIOINDICADORES DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR METALES PESADOS", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
FRANCO SALAZAR ALEX OSCAR DNI: 76614912 ORCID 0000-0001-7431-1467	Firmado digitalmente por: AFRANCOS14 el 19-07-2021 14:26:29
FLOREZ SEGURA ANGEL ALFREDO DNI: 70910406 ORCID 0000-0002-1899-3552	Firmado digitalmente por: AFLOREZS el 19-07-2021 14:24:03

Código documento Trilce: INV - 0343089