

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Concentración de metales pesados en la especie fresno
blanco (*Fraxinus americana*) respecto a su ubicación
urbana y rural en el distrito de Cayma, Arequipa 2021**

Erick Adolfo Begazo Rodriguez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía, fortaleza y estar presente en cada momento de mi vida, a la Virgencita de Chapi, por haberme concedido lograr esta meta añadiendo la salud, el esfuerzo, el coraje, la sabiduría y la inteligencia para terminar con éxito el presente trabajo de investigación, a la Universidad Continental y la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental por permitirme tener el alto privilegio de brindarme los aportes académicos necesarios para la ejecución del presente trabajo; de una manera especial agradezco al Ing. Pablo Espinoza Tumialán por la loable labor en la asesoría brindada.

De igual modo agradezco al Ing. Alan Becerra Saldaña, por suministrar las herramientas, métodos y procedimiento necesarios para alcanzar los objetivos de este trabajo de investigación, igualmente doy gracias a mi familia, mención especial a mis padres que siempre estuvieron ahí por sumarle la fuerza a mis impulsos y motivaciones a lo largo de toda esta travesía.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres, Máximo Begazo y María Rodríguez, que han sido mis pilares para seguir adelante, por sus sabios consejos, demostrarme su cariño y apoyo incondicional en todo momento. A mi hermana que sin importar nuestras diferencias de opiniones me apoyas y confías siempre en mí. A mi sobrino Adriano porque su inocencia de niño es una fuente de energía inagotable.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iii
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE TABLAS	ix
INDICE DE GRÁFICOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	16
1.1. Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.1.2. Formulación del problema.....	19
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo general	19
1.2.2. Objetivos específicos	19
1.3. Justificación e Importancia.....	20
1.3.1. Ambiental.....	20
1.3.2. Social	20
1.3.3. Económico	20

1.3.4.	Importancia	21
1.4.	Hipótesis y descripción de variables	21
1.4.1.	Hipótesis General.....	21
1.4.2.	Variable independiente	22
1.4.3.	Variable dependiente	22
1.4.4.	Operacionalización de variables.....	22
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		24
2.1.	Antecedentes del Problema.....	24
2.1.1.	Antecedentes Internacionales	24
2.1.2.	Antecedentes Nacionales.....	28
2.2.	Bases Teóricas.....	29
2.2.1.	Fraxinus americana (Fresno blanco).....	29
2.2.2.	Población urbana y rural	31
2.2.3.	Contaminantes.....	32
2.2.4.	Metales pesados	34
2.2.5.	Material Particulado	36
2.2.6.	Bioindicadores	37
2.2.7.	Biomonitoreo.....	39
2.2.8.	Normativa	40
2.3.	Definición de términos básicos	44
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		47
3.1.	Método y alcance de la investigación.....	47
3.1.1.	Método de la investigación.....	47
3.1.2.	Alcance de la investigación	47
3.1.3.	Nivel de la investigación.....	47

3.2.	Diseño de la investigación	48
3.3.	Población y muestra	48
3.3.1.	Población	48
3.3.2.	Muestra.....	48
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	49
3.4.1.	Técnicas de recolección de datos	50
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	62
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		65
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	65
4.1.1.	Relacion de la concentración de metales pesados respecto a su ubicación en la zona urbana y rural.....	65
4.1.2.	Concentración de metales pesados respecto a su ubicación en la zona rural	67
4.1.3.	Concentración de metales pesados respecto a su ubicación en la zona urbana	68
4.1.4.	Análisis de concentración del metal pesado plomo	68
4.1.5.	Análisis de concentración del metal pesado cadmio	69
4.1.6.	Análisis de concentración del metal pesado cadmio	70
4.2.	Prueba de Hipótesis	73
4.2.1.	Prueba de signos	73
4.3.	Discusión de resultados.....	74
CONCLUSIONES		77
RECOMENDACIONES		79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		80
Anexo 1. Recolección de información de los árboles muestreados en las zonas Urbana y Rural del distrito de Cayma		86

Anexo 2. Mapa de muestreo zona Urbana	87
Anexo 3. Mapa de muestreo Zona Rural	88
Anexo 4. Imágenes de la especie Fresno blanco (<i>Fraxinus americana</i>)	90
Anexo 5. Imágenes de recolección de datos en la fase de campo	91
Anexo 6. Cadena de custodia	97
Anexo 7. Certificados de Análisis Foliar por Espectrofotometría de Absorción Atómica	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contaminación por metales pesados.....	17
Figura 2. Los metales pesados en la salud y ecosistema.	18
Figura 3. Estándar de calidad ambiental para el aire (7)	41
Figura 4. Estándar de calidad ambiental para el suelo (7)	41
Figura 5. Estándar de calidad ambiental para el.....	42
Figura 6. Mapa satelital distrito de Cayma.....	50
Figura 7. Imagen Satelital Zona Urbana	51
Figura 8. Imagen Satelital Zona Rural	51
Figura 9. Mapa catastral del distrito de Cayma.....	52
Figura 10. Ubicación de puntos de muestreo de la zona Urbana.....	53
Figura 11. Ubicación de puntos de muestreo de la zona Rural.....	54
Figura 12. Método de los triángulos semejantes	57
Figura 13. Medición del diámetro	58
Figura 14. Evaluación visual del fuste	58
Figura 15. Codificación del árbol	59
Figura 16. División de muestreo para un árbol	60
Figura 17. Partes de muestreo en el árbol.....	61
Figura 18. Árbol Fresno blanco (<i>Fraxinus americana</i>)	90
Figura 19. Hoja del Fresno blanco (<i>Fraxinus americana</i>)	90
Figura 20. Zona Rural	91

Figura 21. Zona Urbana	91
Figura 22. Punto de muestreo V-01.....	92
Figura 23. Punto de muestreo V-02.....	92
Figura 24. Punto de muestreo V-03.....	93
Figura 25. Punto de muestreo V-04.....	93
Figura 26. Punto de muestreo V-05.....	94
Figura 27. Punto de muestreo V-06.....	94
Figura 28. Medición Diámetro a la altura del pecho (DAP)	95
Figura 29. Medición del diámetro del árbol	95
Figura 30. Recolección de muestras vegetal del Fresno blanco	96
Figura 31. Muestras para el laboratorio	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Cuadro de Operacionalización de Variables	22
Tabla 2. Características y usos del Fresno blanco	30
Tabla 3. Características de la zona urbana y rural	32
Tabla 4. Características de los bioindicadores	37
Tabla 5. Estándares Nacionales e Internacionales de calidad del aire	42
Tabla 6. Concentraciones normales y anómalas en suelos	43
Tabla 7. Límites máximos permisibles (LMP)	43
Tabla 8. Coordenadas de muestreo Zona Urbana.....	55
Tabla 9. Coordenadas de muestreo Zona Rural.....	55
Tabla 10. Resultados de Concentración de metales pesados	65
Tabla 11. Resultados de Plomo.....	69
Tabla 12. Resultados para Cadmio	70
Tabla 13. Resultados para cromo.....	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Comparación de la concentración de metales pesados	67
Gráfico 2. Comparación de la concentración de metales pesados	68
Gráfico 3. Concentración de Plomo.....	69
Gráfico 4. Concentración de Cadmio.....	70
Gráfico 5. Concentración de Cromo	71
Gráfico 6. Contribución relativa de diferentes fuentes de cadmio	72

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la relación que existe entre la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación urbana o rural en distrito de Cayma, 2021. Presentado una metodología no experimental, con alcance cuantitativa correlacional. Los resultados indican que en la zona urbana se determinó que existe concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y sus concentraciones promedio fueron; para el plomo (<0,05 ppm), cromo (<0,001 ppm) y cadmio (0,69 ppm). En cuanto en la zona rural se determinó que existe concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y sus concentraciones promedio fueron; para el plomo (<0,05 ppm), cromo (<0,001 ppm) y cadmio (0,92 ppm). Se llegó a la conclusión que existe la concentración de metales pesados para el plomo, cromo y cadmio en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) en la zona urbana y rural en el distrito de Cayma.

Palabras clave: Concentracion, *Fraxinus americana*, metales pesados, urbano,rural.

ABSTRACT

The present research work aimed to determine the relationship between the concentration of heavy metals in the Fresno blanco (*Fraxinus americana*) species, with respect to its urban or rural location in the Cayma district, 2021. Presented an experimental methodology, with correlational quantitative scope. The results indicate that in the urban area it was determined that there is a concentration of heavy metals in the White Ash species Fresno blanco (*Fraxinus americana*) and their average concentrations were; for lead (<0.05 ppm), chromium (<0.001 ppm) and cadmium (0.69 ppm). In the rural area, it was determined that there is a concentration of heavy metals in the White Ash species Fresno blanco (*Fraxinus americana*) and their average concentrations were; for lead (<0.05 ppm), chromium (<0.001 ppm) and cadmium (0.92 ppm). It was concluded that there is a concentration of heavy metals for lead, chromium and cadmium in the White Ash species Fresno blanco (*Fraxinus americana*) in urban and rural areas in the Cayma district.

Key words: Concentration, *Fraxinus americana*, heavy metals, urban, rural.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, “Concentración de metales pesados en la especie Fresno blanco (*Fraxinus americana*) respecto a su ubicación urbana y rural en el distrito de Cayma, Arequipa 2021”, surge para determinar la capacidad que tienen los árboles como concentradores de metales pesados, ya que alterar el estado natural del medioambiente, por lo general ocasionado como derivación de la actividad humana e industrialización puede provocar daños de carácter ambiental.

Estimar la existencia de metales pesados en el ecosistema permite entender la capacidad de especies vegetativas como organismos concentradores, los cuales regulan los contaminantes. Vigilar por la conservación del medio ambiente y de sus recursos naturales no solo debería ser competencia de los gobiernos sino también de todos los que habitamos en él, siendo esto aun más primordial si se trata del lugar donde vivimos.

Las políticas nacionales ambientales tienen como objetivo preservar y cuidar el medio ambiente y sus recursos naturales con el objetivo de hacer posible el desarrollo integral de la persona y garantizar una adecuada calidad de vida.

Los metales pesados tienen un especial interés en el medio ambiente por su impacto y grado de contaminación, potencial tóxico y de ecotoxicidad. Los metales pesados son aquellos elementos químicos cuya densidad es mayor a 5 g/cm^3 , o cuyo número atómico es mayor a 20, tales como el cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Cromo (Cr) cuyas concentraciones se encuentran en mayor proporción en áreas urbanas. La existencia de metales pesados en el aire, suelo y agua puede originar severos problemas e impactos bioacumulativos en las especies, como es el caso de la vegetación. La contaminación ambiental se presenta frecuentemente en grandes ciudades como Lima, Trujillo, Piura, Chiclayo, Cerro de Pasco, La Oroya, Cusco, Pisco, Ilo, Iquitos, Chimbote,

Arequipa y Huancayo son los que sobrepasan los estándares de calidad del ambiental, donde se refleja una gran población urbana. En estas ciudades del Perú la contaminación principal es generada por la presencia de industrias, comercio, circulación de vehículos a combustión interna, como transportes públicos y privados ya que su condición mecánica es deficiente.

El empleo de árboles como concentradores de metales pesados son una forma de confirmar una respuesta ante el crecimiento de la contaminación por estos metales en el distrito de Cayma en sus zonas urbana y rural. La pregunta central del trabajo es ¿Qué relación existe entre la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación urbana o rural en el distrito de Cayma, 2021? La hipótesis es si existe o no existe relación entre la concentración de metales pesados en el *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación en la zona urbana del distrito de Cayma 2021. El objetivo general es determinar la relación que existe entre la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación urbana o rural en distrito de Cayma, 2021.

Para llevar a cabo el estudio, la investigación se ha estructurado en 4 capítulos de la siguiente manera: En el primer capítulo, “Planteamiento del estudio” incluye el planteamiento del problema; la formulación del problema donde se asocian los objetivos, justificación, hipótesis y descripción de variables.

Como segundo capítulo “marco teórico”, constituido por los antecedentes del problema (obtenidos de información internacional y nacional presentada en artículos científicos y tesis) asociados a nuestro objetivo de estudio, bases teóricas y la definición de términos básicos donde se recogen y destacan la teoría existente respecto a cada una de las variables.

En seguida, se presenta la metodología del trabajo, abarcándose y explicando el método y alcance de la investigación, así como, diseño (no experimental), población y muestra, técnicas (preparación de material cartográfico y satelital, medición de variables, medición de la unidad muestral) e instrumentos de recolección de datos (cadena de custodia, análisis foliar, espectrofotometría de absorción atómica).

Posteriormente, está el capítulo de “resultados y discusión”, donde se exponen los resultados de la investigación obtenidos por la muestras foliares analizadas en el espectrofotómetro de absorción atómica y haciendo la comparación de concentraciones de los metales pesados de la zona urbana y rural. Para finalizar, se elaboran las conclusiones, recomendaciones y se detallan las referencias bibliográficas, anexos correspondientes a la presente investigación.

CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Las necesidades de vida, salud, alimentación y vivienda de las personas se han incrementado rápidamente con el aumento de la población mundial. Esto ha producido una constante contaminación ambiental, que ha producido daños a nivel de salud personal y global durante años. Las ciudades metropolitanas han estado sufriendo la degradación de la calidad del aire debido al rápido crecimiento asociado con la urbanización. La contaminación ambiental es reconocida como uno de los principales problemas del siglo XXI y actualmente la mayoría de los países intentan frenar su avance para impedir mayores daños (2).

Diferentes tipos de contaminantes causan esto, siendo uno de ellos los metales pesados y particularmente en el último siglo se han venido usando los metales pesados de algún modo excesivos para una diversidad de usos en todo tipo. Este crecimiento se ha observado en los incrementos de la composición basal de estos elementos a través de la naturaleza.

Las zonas urbanas y rurales se encuentran expuestas a diferentes metales pesados. Cuando éstos son absorbidos, pueden implicar diversos riesgos y enfermedades en los seres humanos. Estas concentraciones de metales pesados en las fuentes ambientales se encuentran en constante aumento y una forma de detectarlos es por medio de la observación de la vida silvestre a su alrededor (28).

Las plantas acumulan metales pesados dentro de varios orgánulos y,

por lo tanto, proporcionan datos importantes sobre las concentraciones de metales pesados en el ambiente. Esto se aprecia sobre todo en áreas urbanas con un cargado tránsito vehicular, diversos comercios y fábricas. Ahí, los árboles acumulan metales pesados provenientes de combustibles fósiles en sus troncos, raíces, frutos, cortezas y hojas. Al acumular, son capaces de indicar el aumento de las concentraciones de metales pesados en el ambiente con el paso del tiempo.



Figura 1. Contaminación por metales pesados. Tomada de FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

Los árboles suelen ser un buen bioindicador, debido al precio bajo de su uso, la ecología y su capacidad para poder detectar contaminación a largo plazo, por medio de sus anillos (20).

Actualmente, en el Perú existen pocas investigaciones basadas en el uso de árboles como bioindicadores de concentración de metales pesados, ya que, mayormente, se utilizan hongos, bacterias y líquenes para determinar la contaminación ambiental de un área.

Esta investigación entonces busca poder recolectar información acerca de la especie *Fraxinus americana* (Fresno Blanco) y su efectividad, además de los principios que se aplican para utilizar dichos árboles en el distrito de Cayma.

Los metales pesados pueden incorporarse a la cadena alimenticia por medio de las plantas al interaccionar las raíces con el suelo, absorción foliar. También, pueden incorporarse a la atmósfera mediante la absorción de gases o aerosoles, por la cubierta del suelo o las plantas y la retención de metales pesados al suelo puede darse por absorción, precipitación, movilización de aguas superficiales o subterráneas. Un pH ácido hace que ocurra una mayor movilidad de los metales pesados por el suelos, lo que facilita su incorporación a la planta por medio de la raíz.

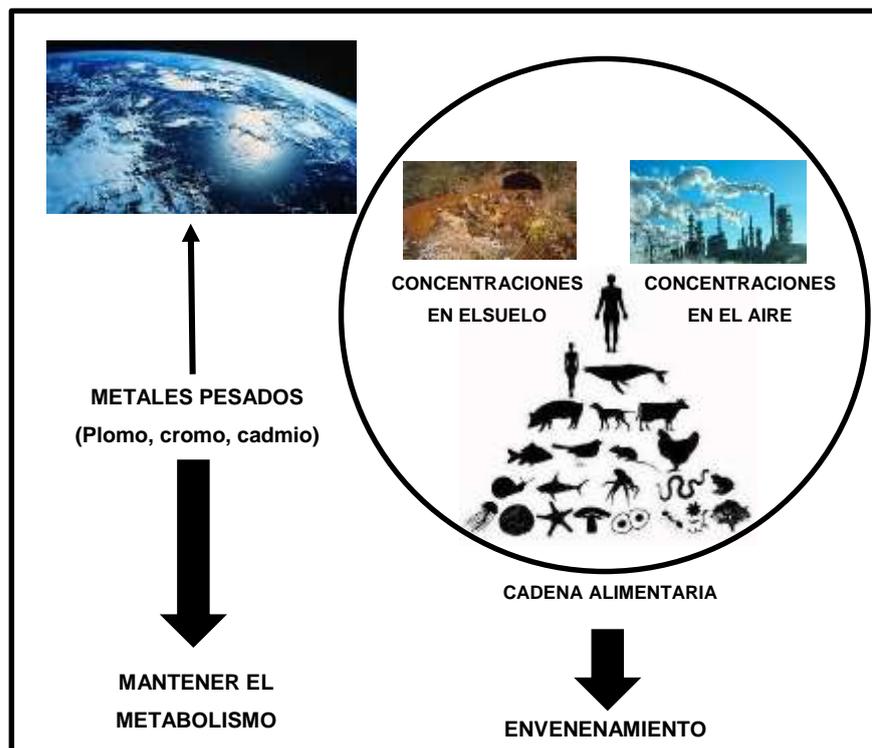


Figura 2. Metales pesados en la salud y ecosistema. Tomada de *Evaluación de impacto ambiental*, Gomez Orea, D. (2003).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Qué relación existe entre la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación urbana o rural en el distrito de Cayma, 2021?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) ubicado en la zona urbana del distrito de Cayma?
- ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) ubicado en la zona rural del distrito de Cayma?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la relación que existe entre la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación urbana o rural en distrito de Cayma, 2021.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) ubicado en la zona urbana del distrito de Cayma.

- Determinar la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) ubicado en la zona rural del distrito de Cayma.

1.3. Justificación e Importancia

1.3.1. Ambiental

El presente trabajo de investigación nace de la preocupación por el cuidado del medio ambiente, en especial para tener información sobre los aspectos relacionados con la contaminación por metales pesados y las alternativas para prevenirlo. Por lo tanto, la investigación se justifica debido a que los resultados de este trabajo permitirán describir teóricamente a los principios que tratan aspectos relacionados con la utilización de los árboles como concentradores de metales pesados y a la vez utilizarlos como bioindicadores en presencia de los metales pesados. De esa manera, contribuirá con el estudio de estos fenómenos, así como proponer cambios teóricos y prácticos para la prevención de la contaminación y el cuidado y preservación del medio ambiente. Es por esto por lo que se considera que tiene importancia teórica.

1.3.2. Social

Esta investigación tendrá un impacto regional y social pues los resultados propiciarán la toma de decisiones en diferentes niveles gubernamentales, sociales y de salud, en la ciudad de Arequipa, así mismo se generará un beneficio a la comunidad a través de mejorar sus condiciones de vida.

1.3.3. Económico

La contaminación ambiental es uno de los factores de riesgo para la salud más importantes. En cuanto a la contaminación atmosférica es responsable directa de al menos 3.3 millones de muertes por

enfermedades cardiorrespiratorias y está relacionada con otras 100 patologías como insuficiencias cardíacas o trastornos neurodegenerativos. La contaminación al suelo y agua también tiende a generar serios problemas a la salud humana y al balance local de los ecosistemas. Por lo tanto, las acciones nacionales, regionales e internacionales deberían “basarse en una visión compartida de los objetivos y en acuerdos sobre marcos que aceleran las acciones a lo largo de las próximas décadas”.

Además de los problemas en la salud, la contaminación, también, tiene graves consecuencias económicas, tales como gastos sanitarios directos e indirectos.

1.3.4. Importancia

La planificación de esta investigación se realiza siguiendo los lineamientos del rigor científico, considerando la validación del instrumento del estudio, tanto en contenido, pertinencia como en la confiabilidad de la información recogida y en su procesamiento. Esto permitirá a otros investigadores poder considerar esta metodología como material de consulta para el desarrollo de investigaciones similares.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis General

- Hipótesis Nula

Ho: No existe relación entre la concentración de metales pesados en el *Fraxinus americana* (Fresno blanco) respecto a su ubicación en la zona urbana del distrito de Cayma 2021.

- Hipótesis Alternativa

Hi: Existe relación entre la concentración de metales pesados en el *Fraxinus americana* (Fresno blanco) respecto a su ubicación en la zona urbana del distrito de Cayma 2021.

1.4.2. Variable independiente

Ubicación de la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco).

1.4.3. Variable dependiente

Concentración de metales pesados

1.4.4. Operacionalización de variables

Tabla 1. Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA
INDEPENDIENTE	Correlativo	La ubicación de una especie arbórea es un indicador de la calidad del hábitat, el nivel de funcionalidad de la zona urbana o rural ejerce efectos positivos sobre las condiciones ambientales.	Espacio Densidad Distancia	Abundancia de la especie <i>Fraxinus americana</i> (Fresno blanco). Fuente de los metales pesados.	Und.
Ubicación de la especie <i>Fraxinus americana</i> (Fresno Blanco).					
Categoría A: Urbana					
Categoría B: Rural		La zona urbana se caracteriza por alta densidad poblacional, predomina el sector industrial y de servicios. La zona rural, se caracteriza por su baja			

		densidad poblacional, ocupación agraria, cultura tradicional y modo de vida campesina.		
DEPENDIENTE	Comparativo	La relación o proporción en la que se pueda establecer cuanta cantidad de metales pesados existe en la especie <i>Fraxinus americana</i> (Fresno Blanco) al compararla en dos lugares.	Concentración de metales pesados.	Concentración de metales pesados en los puntos de muestreo.
Concentración de metales pesados en la especie <i>Fraxinus americana</i> (Fresno Blanco).	Aplicado		Estándar de Calidad Ambiental.	ppm
	Descriptivo	Los metales pesados son importantes pues son necesarios para el metabolismo de los seres vivos, sin embargo, si son consumidos en abundancia podrían resultar perjudiciales.	Límites Máximos Permisibles.	Promedio de la concentración (ppm) de metales pesados en la zona urbana y rural.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Una investigación se realizó para poder evaluar las concentraciones de metales pesados (cobre (Cu), mercurio (Hg), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn)) medidas en Acer (A.), utilizando como bioindicador de la contaminación a la corteza de árbol pseudoplatanus. Se empleó una metodología descriptiva, experimental. Según los resultados obtenidos encontró que las concentraciones de los metales pesados analizados eran 26,4 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Cu, 51,7 $\mu\text{g kg}^{-1}$ para Hg, 55,3 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Mn, 6,55 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Ni, 26,5 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Pb y 95,2 $\mu\text{g g}^{-1}$ para Zn. Se concluyó que el zinc era el principal contaminante, mientras que el mercurio era el menos contaminante. Asimismo, las concentraciones de metales pesados en Toronto eran más bajas que en otras ciudades del mundo en desarrollo (29).

Se realizó un estudio para analizar las concentraciones de metales en el tejido del árbol Pinus nigra como bioindicador de mercurio. Se empleó una metodología descriptiva, experimental. Los resultados obtenidos en las concentraciones foliares de Hg aumentaron significativamente en todas las ubicaciones nuevas en relación con el control. Las concentraciones de las muestras de primavera fueron menores que las del otoño para el follaje en dos lugares, lo que indica la reabsorción de Hg junto con los nutrientes. Se concluye todos los árboles tenían concentraciones medias de Hg más altas en los anillos más externos de los árboles en relación con el control, lo que coincide con el aumento de las concentraciones de Hg total en el aire y la

química del aire cambiante (20).

Una investigación se llevó a cabo para evaluar el aumento de las concentraciones atmosféricas de metales pesados. Se empleó una metodología descriptiva, no experimental. En este estudio las deposiciones de aluminio (Al), zinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn), cromo (Cr), cadmio (Cd), sodio (Na), calcio (Ca), bario (Ba), fósforo (P), magnesio (Mg), arsénico (As) y boro (B) en los anillos de los robles se analizaron utilizando un dispositivo GBC Integra XL-SDS-270 ICP-OES. Según los resultados, se evidenció que las concentraciones de metales pesados en los anillos de los árboles variaron durante los últimos 20 años. Además, existía una relación significativa entre las concentraciones de metales pesados en los anillos de los árboles y las concentraciones atmosféricas de metales pesados. Hubo un aumento en las concentraciones de elementos nutricionales (Na, P y Mg) en 2010 cuando hubo precipitación excesiva. Se concluye que las concentraciones de todos los elementos en las maderas de diferentes edades fueron significativamente diferentes en un intervalo de confianza del 95% para As, 99% para Cd y 99,9% para otros elementos (28).

Así mismo, tenemos un estudio que se realizó con el objetivo de evaluar la contaminación atmosférica basada en Stassfurt y sus alrededores en Sajonia-Anhalt, Alemania, utilizando la corteza de los árboles como biomonitor. Se empleó una metodología descriptiva, no experimental. Se recolectaron cuarenta y tres muestras de corteza externa e interna, predominantemente de roble (*Quercus*) de las áreas de referencia en Sajonia-Anhalt y a nivel nacional en Alemania. Los resultados de la bioacumulación en la corteza interior indicaron la disponibilidad de contaminantes en el medio ambiente por parte de la planta y su absorción por parte del árbol. Se concluye que la comparación de los patrones de distribución del índice de calidad del

aire con el índice de bioacumulación confirmó la influencia de las diferentes fuentes de contaminantes en el área de estudio (4).

Esta investigación tuvo como objetivo analizar la eficacia de los retardantes de llama halogenados como bioindicadores. Se empleó una metodología descriptiva, no experimental. Se tomaron muestras de brotes de coníferas y hojas de árboles de hoja caduca de 10 sitios en Alemania en 2015 o 2016 dentro del programa de muestreo del Banco de Muestras Ambientales de Alemania y se analizaron en busca de 24 éteres de bifenilo polibromados (PBDE) y 19 retardantes de llama halogenados (HFR) adicionales. Los resultados de las concentraciones altas se encontraron para DBDPE (<230-2760 pg g⁻¹ peso seco (dw)) seguido de DPTE (91-1540 pg g⁻¹ dw), BDE209 (<156-461 pg g⁻¹ dw) y BDE47 (<27-505 pg g⁻¹ dw) o DP (31-122 pg g⁻¹ dw). Se demostró que ambos tipos de árboles son generalmente bioindicadores adecuados para la contaminación atmosférica con HFR, aunque la acumulación puede variar según las propiedades del HFR y el período de acumulación. Se concluye que las muestras mostraron niveles decrecientes de PBDE, mientras que no se pudo observar una tendencia clara para otros HFR investigados en este sitio (6).

Una investigación se realizó para comparar muestras de corteza de encina recogidas en tres sitios de muestreo sometidos a diferentes presiones antrópicas. Los resultados obtenidos en las áreas urbanas fueron que se encontró mayor cantidad de Sc. Las diferencias entre las dos áreas urbanas también son significativas, la presencia de actividades industriales provoca una exposición 50% mayor de la población con respecto a un área urbana donde solo están presentes las actividades residenciales. En el caso de La, no existe una diferencia significativa entre la referencia y las áreas residenciales, mientras que las industrias son responsables de mayores concentraciones de La (0.9 µg g⁻¹ frente a 0,4-0,6 µg g⁻¹). Se

concluye que la disponibilidad de muestras, debido a la amplia distribución de árboles en entornos urbanos, posibilita la elaboración de mapas que indiquen las fuentes de estos elementos y destaquen áreas críticas para ciertos contaminantes atmosféricos (17).

La investigación realizada tuvo como objetivo evaluar la contaminación por mercurio cerca de la planta de cloro-álcali de Spolana (Neratovice, República Checa) según lo registrado por los anillos de los árboles de pino silvestre y otros bioindicadores. Se empleó una metodología descriptiva, no experimental. Los resultados obtenidos de las concentraciones de Hg en los anillos de los árboles aumentaron con el inicio de las operaciones de la planta y disminuyeron cuando las emisiones de Hg bajaron debido a una actualización en la tecnología de producción. De manera similar a los bioindicadores tradicionales de contaminación, como las agujas de pino, la corteza y el humus del suelo del bosque, las concentraciones de Hg en los troncos del pino silvestre disminuyeron con la distancia a la planta. El promedio de Hg en el tronco del pino en la década de 1940 osciló entre 32,5 $\mu\text{g} / \text{kg}$ Hg a una distancia de 0,5 km de la planta y 5,4 $\mu\text{g} / \text{kg}$ a una distancia de $> 4,7$ km, donde el Hg de los anillos de los árboles era el mismo que en un sitio de referencia. y otros bioindicadores también sugieren que el efecto de la planta ya no era discernible. Las concentraciones de Hg en los anillos de los árboles disminuyeron en 8-29 $\mu\text{g} / \text{kg}$. La falta de correspondencia exacta entre los cambios en el Hg de la planta y del anillo del árbol indicó cierta mancha de la señal debido a la translocación lateral del Hg de la albura al duramen. Se concluye que las concentraciones de Hg reflejaban las concentraciones atmosféricas locales y regionales de Hg, y no la deposición húmeda de Hg (18).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Una investigación se realizó con el objetivo de conocer la capacidad de absorción de material particulado de la especie arbórea *Ficus benjamina* en el parque zonal “Mayta Cápac” en el distrito de San Martín de Porres y , también, tuvo como otro objetivo proponer el sembrío de la especie para minimizar la contaminación del aire. Se empleó una metodología prospectiva, transversal. Los resultados del follaje del ficus bejamina se encontró una concentración de polvo sedimentable al nivel de 0,5368 mg/cm²/30 días, es decir el follaje del ficus almacenó material particulado, funcionando como bioindicador de este tipo de contaminante. Se concluye que el área con cobertura de *ficus benjamina* presentó una concentración de material particulado de 0.5369 mg/cm²/30 días, mientras que el área sin cobertura, 4.5414 mg/cm²/30 días (1).

Esta investigación realizada tuvo como objetivo evaluar la calidad atmosférica de la ciudad de Arequipa por PM₁₀ empleando el árbol de Mora como agente bioindicador. Se empleó una metodología mixta, no experimental. Los resultados evidenciaron que sectores con altos niveles de contaminación presentaron una alteración en el número estomático. Además, se concluye que las especies presentaron un crecimiento adecuado, por lo cual se consideró que podían ser utilizadas como agentes bioindicadores en estudios posteriores (27).

Una investigación que tuvo como objetivo demostrar que el algodoncillo del ceibo (*Ceiba* sp.) sirve como indicador de fuentes de contaminación ambiental al capturar partículas de la atmósfera en el distrito de Chaclacayo. Se empleó una metodología descriptiva, no experimental. Los resultados respecto a las diferencias entre las concentraciones de plomo en el algodoncillo indican que este elemento proviene sobre todo de la combustión de los vehículos. Los

puntos con mayor tráfico vehicular reportaron niveles mayores de Pb y no se descartó la presencia de otros materiales particulados en la atmósfera. Se concluye que la mayor concentración de plomo en el suelo respecto al acumulado en el algodoncillo del ceibo, nos indica que este último se satura de Pb (5).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Fraxinus americana (Fresno blanco)

La especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) es uno de los árboles más interesantes por su gran valor ornamental y forestal, de gran porte. Por lo general, alcanza una altura de 20 a 25 metros con una copa anchamente columnar, tiene una corteza juvenil gris y lisa, cuando madura se agrieta formando pequeñas crestas. Es un árbol de fácil cultivo, ya que crece en terrenos pobres, resistente a la sequía, de crecimiento rápido y una esperanza de vida de 100 años, es la especie más utilizada en el arbolado de alineación en la ciudad de Arequipa.

a) Generalidades:

Es un árbol originario de Norteamérica, ampliamente distribuido en Centro y Sudamérica (cultivada).

b) Descripción:

El fresno blanco es frondoso y caducifolio, tiene un tallo recto, de madera fuerte, resistente y de corteza semilisa. Posee algunas grietas de marrón intenso a grisáceo.

Sus hojas están compuestas por folios (de 5 a 9), con una forma entre ovalada y alargada. Son opuestas, con bordes sedimentados, miden de 2 a 3 centímetros de ancho por 12,5 centímetros de largo en la

mayoría de los casos. Cuentan con peciolos muy cortos de 6 a 12 milímetros de longitud.

Se muestra la **Tabla 2**, con las características más importantes y usos del árbol *Fraxinus americana* (Fresno blanco).

Tabla 2. Características y usos del Fresno blanco

<i>Fraxinus americana</i> (Fresno blanco)	
Características	Descripción
Clima	De climas templados - fríos
Ubicación	Exteriores y a pleno sol
Rusticidad	Resistente a las heladas hasta los -18°C
Riego	2 veces a la semana
Abonado	Aporte regular de abonos orgánicos (compost, guano, estiércol o humus de lombriz)
Usos	
Ornamental	Proporciona una sombra agradable
Medicinal	Diuréticas y tónicas
Madera	Fabricación de herramientas de mano, muebles, instrumentos musicales

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Población urbana y rural

La distribución de la población está asociada a los patrones de asentamiento y dispersión de la población dentro de un país o región. Tomaremos definiciones de lo que es una área urbana o rural, considerando al INEI, por tener un criterio uniforme de sus investigaciones y estadísticas que realiza (16).

Para delimitar la frontera entre lo urbano y rural, utilizaremos el criterio cuantitativo, donde se considera como ámbito urbano aquellas áreas con un mínimo de 100 viviendas agrupadas contiguamente (en promedio 500 habitantes), y por excepción, a todos los centros poblados capitales de distritos, aun cuando no reúnan la condición indicada. Como área rural o centro poblado rural, se considerará aquella que no tiene más de 100 viviendas agrupadas contiguamente ni es capital de distrito; o que, teniendo más de 100 viviendas, estas se encuentran dispersas o diseminadas sin formar bloques o núcleos (16).

Cabe señalar que la literatura especializada sobre el tema concluye que las definiciones utilizadas a nivel de países evidencian que no existe una definición universal. Al respecto, se afirma “ya estamos en pleno siglo XXI y todavía hay asignaturas (definiciones) pendientes en este tema. No son pocos los autores que se han enfrentado a la problemática de definir y censurar términos como rural, urbano o ciudad, debido a la complejidad inherente del tema y a las diferentes realidades de cada país” (16).

En la **Tabla 3**, se muestran algunas características del área urbana y rural para el presente trabajo de investigación.

Tabla 3. Características de la zona urbana y rural

Zona Rural	Lugar donde viven pocas personas
	No cuenta con infraestructura optima
	Abundante el paisaje natural y no las casas o edificaciones
	Principalmente campos y las personas se dedican a actividades relacionadas con la agricultura
Zona Urbano	Alta densidad de población
	Edificaciones verticales (edificios)
	Actividades económicas como comercio, bancario.
	Infraestructura optima en servicios públicos y carreteras

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Contaminantes

La contaminación ambiental se concibe como la presencia de cualquier tipo de energía (partículas, materias, etc.) que puedan representar un riesgo y generar disturbios para el ambiente, las personas y bienes de cualquier naturaleza. Según el Decreto Supremo 074-2001-PCM, la contaminación ambiental es una “sustancia o elemento que en determinados niveles de concentración en el

ambiente que genera riesgos a la salud y bienestar humano” (26).

La concentración de contaminantes se puede localizar en un medio al cual no pertenece y suelen encontrarse a niveles en los cuales pueden causar daño a la salud o medio ambiente. La presente investigación se va a centrar en la concentración de metales pesados emitidos al medio ambiente y la capacidad de absorción que tiene el árbol *Fraxinus americana* (Fresno blanco).

Podemos clasificar a los contaminantes en dos clases:

a) Primarios:

El foco emisor es identificable y son emitidos directamente en el ambiente. Los componentes suelen ser:

- Azufre (SO₂, SO₃, H₂SO₄, H₂S)
- Óxidos de carbono (CO, CO₂)
- Óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, N₂O)
- Metales pesados (Ni, Cr, Zn, Hg, Sn, Pb, etc.)
- Partículas en suspensión (PM₁₀, PM_{2,5}).

b) Secundarios:

Son formados debido a las reacciones químicas originadas de forma natural en el medio ambiente. Uno de los procesos que los 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).

2.2.4. Metales pesados

Los metales pesados son importantes, pues son necesarios para el metabolismo de los seres vivos. Esto se da debido a que constituyen muchas metaloenzimas y son requeridos en pequeñas cantidades. Sin embargo, si son consumidos en abundancia, podrían resultar perjudiciales.

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 concentraciones de este tipo de metales hacia el medio ambiente 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. (22).

Los metales pesados se clasifican de la siguiente manera:

- Esenciales: cobre, cromo, hierro, manganeso, níquel y zinc.
- No esenciales y/o tóxicos: plomo, cadmio.

La deposición de metales pesados se produce esencialmente en la tierra; sin embargo, ya que las raíces absorben dichos metales pesados, hace que las plantas sean un buen concentrador de metales pesados y utilizarlos como bioindicadores. (28).

Los metales pesados depositados en los anillos de los árboles a lo largo de las edades proporcionan información importante sobre la

historia de la contaminación del medio ambiente. Los anillos anuales de los árboles están de hecho relacionados con la edad del árbol y hay árboles que pueden sobrevivir durante miles de años. Éstos se pueden usar como un indicador de contaminación y brindan información importante sobre la distribución de los elementos , la cronología y el orden de contaminación en esa área particular donde crece el árbol (19).

a) Cadmio

Este elemento pertenece al Grupo II B de la tabla periódica. El cadmio es un elemento que se encuentra en la naturaleza asociado a muchos minerales. Está presente en plantas, agua y aire, su concentración puede deberse por el aumento de la contaminación que generan las industrias que lo utilizan. El cadmio es absorbido a través de las vías respiratorias para así poder depositarse en los alvéolos pulmonares, en el torrente sanguíneo por la absorción a nivel del estómago luego de la ingesta de alimentos contaminados (15).

b) Plomo

El plomo es un metal gris-azulado de origen natural que está presente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre y diversas partes del medio ambiente. Proviene de actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, explotación minera entre otras. En los últimos años, el plomo se ha reducido considerablemente de las pinturas, productos cerámicos, soldaduras, además, el aditivo de plomo para la gasolina se prohibió en Perú, lo que hizo evolucionar la calidad del combustible desde el año 1993 para gasolina de 90 octanos, en el año 1995 para la gasolina de 95 y 97 octanos y en el año 2005 la gasolina de 84 octanos (15).

c) Cromo

El cromo es un metal pesado de numerosas aplicaciones industriales y, a menudo, causa contaminación ambiental, tanto en suelos como en el agua. El cromo puede existir en numerosos estados de oxidación, la especie hexavalente de cromo (Cr(VI)), es considerada cancerígena y altamente nociva mientras que la especie trivalente de cromo (Cr(III)) es considerada como un micronutriente (15).

2.2.5. Material Particulado

Podemos comprender al material particulado como una mezcla de partículas sólidas de tamaño microscópico que se unen a gotas líquidas que se encuentran suspendidas en la atmósfera. Pueden ser clasificados de acuerdo con su tamaño: 10 micras, 25 micras y 1 micra.

Este material particulado puede variar de acuerdo con su origen, volumen, forma, formación y composición química. Usualmente, se le caracteriza teniendo en consideración sus propiedades físicas y químicas. Las primeras influyen en 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 (27).

Las emisiones de este material al medio ambiente pueden ser naturales o antropogénicas. Las naturales se dan cuando el polvo se encuentra suspendido en superficies por acción del viento o erosión. Las antropogénicas son generadas por unidades de transporte como

autos, aviones, barcos, etc., cualquier actividad relacionada con la agricultura o construcción (27).

2.2.6. Bioindicadores

Los bioindicadores son aquellos seres vivos que son capaces de reaccionar a la contaminación ambiental por medio de sus reacciones fisiológicas o también por su capacidad de almacenar contaminantes. Esto permite que éstos sean capaces de medir los efectos de la contaminación en los organismos vivos. Es así cómo ellos pueden contar con información acerca de los riesgos que la contaminación puede llevar a otras formas de vida alrededor suyo (23).

El Perú cuenta con gran variedad de árboles que pueden funcionar como bioindicadores de concentración de metales pesados y a un bajo costo, ya que las mediciones directas requieren una gran inversión en infraestructura y mano de obra. Se han realizado algunas investigaciones respecto al tema; sin embargo, es necesario continuar la investigación, ya que, contando con tanta diversidad biológica, sería de mucha utilidad tener la información de diversas especies (1) (5) (27).

Tabla 4. Características de los bioindicadores

Bioindicador	Características
Habilidad de buen indicador	Proporcionar una respuesta medible (sensible a la perturbación o el estrés, pero no experimenta mortalidad ni acumula contaminantes directamente de

	su entorno)
	La respuesta refleja la respuesta de toda la población, comunidad o ecosistema
	Responder en proporción al grado de contaminación o degradación.
Abundantes y comunes	Densidad de población local adecuada (las especies raras no son óptimas)
	Común, incluida la distribución dentro del área en cuestión
	Relativamente estable a pesar de la variabilidad climática y ambiental moderada
Estudiados	Ecología e historia de vida bien entendidas
	Taxonómicamente bien documentado y estable
	Fácil y barato de encuesta.
Importancia económica y/o comercialmente	Especies que ya se están recolectando para otros fines
	Interés público o conocimiento de las especies

2.2.7. Biomonitorio

El biomonitorio consiste en utilizar seres que contemplen series definidas de cálculo que estimen la calidad ambiental en un lugar determinado, teniendo en cuenta a ciertos contaminadores particulares. Biomonitorio pasivo hace referencia a los organismos que crecen y se desarrollan en el lugar que van a monitorear, y biomonitorio activo se da cuando dichos organismos son llevados a una zona diferentes y cuando se utilizan procedimientos de exposición controlada (2).

Estos organismos capaces de darse cuenta de esto se llaman biomonitores, unidades capaces de calificar la calidad del medio ambiente en el que viven. El comportamiento de estos biomonitores se encuentra relacionado con la dosis – respuesta con la conglomeración de cierto contaminante presente en el ambiente y el tiempo de exposición (23).

La presencia o ausencia de cierta planta u otro tipo de vida vegetativa en un ecosistema proporciona pistas relevantes sobre la salud del medio ambiente: la preservación del medio ambiente. Existen varios tipos de biomonitores, como musgos, líquenes, corteza de árboles, bolsas de corteza, anillos de árboles, hojas y hongos.

El follaje de las plantas son las partes más utilizadas para determinar las concentraciones de metales pesados, pues la planta absorbe metales pesados durante la fotosíntesis a través de sus estomas. Esta absorción en hojas no causa un daño permanente al árbol. Gracias a la tecnología, se puede estimar durante cuánto tiempo se depositó un metal pesado en particular, tomando en cuenta la edad del árbol. De hecho, los árboles no son tan buenos indicadores como los hongos, las algas y los musgos. 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 ambiental por metales pesados desde el pasado hasta el presente (28).

2.2.8. Normativa

Para efectos de medir la presencia y concentración de contaminantes en el ambiente, así como el estado de conservación de los recursos naturales es necesario realizar un monitoreo ambiental, que será efectuado en el marco de la normativa ambiental (7).

Según estándares de calidad ambiental nacionales e internacionales, que miden la concentración de elementos, sustancias u otros en el agua, suelo y aire y que cuyo propósito es de fijar metas que representen un nivel a partir del cual se pueda afectar significativamente al ambiente y la salud humana. Estos buscan establecer un nivel aceptable y garantizar la conservación de la calidad del medio ambiente.

Se muestra a continuación tablas con estos estándares nacionales e internacionales para metales pesados.

Parámetros	Periodo	Valor [µg/m³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ⁽¹⁾
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ⁽²⁾	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	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 Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Figura 3. Estándar de calidad ambiental para el aire (7)

Parámetros en mg/kg PS ⁽¹⁾	Usos del Suelo ⁽²⁾			Métodos de ensayo ^{(3),(4)}
	Suelo Agrícola ⁽¹⁾	Suelo Residencial/Parques ⁽²⁾	Suelo Comercial ⁽³⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁴⁾	
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3080/ EPA 7199 ó DIN EN 15192**
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	600	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 8013 SEMWW-WWWA-WEF 4500 CN F-c ASTM D7237 y6 ISO 17890:2015

Figura 4. Estándar de calidad ambiental para el suelo (7)

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**

Figura 5. Estándar de calidad ambiental para las Aguas Superficiales destinadas a recreación (7)

Tabla 5. Estándares Nacionales e Internacionales de calidad del aire

	Perú	OMS	EPA	Canadá
PM10 (ug/m³)	150	50	150	50
Plomo (ug/m³)	0.5	0.5	1.5	2
Cadmio (ug/m³)		0.05		2
Zinc (ug/m³)				120

Tabla 6. Concentraciones normales y anómalas en suelos

Elemento	Rango normal (ppm)	Concentraciones anómalas (ppm)
As	<5-40	Hasta 2500
Cd	<1-2	Hasta 30
Cu	60	Hasta 2000
Mo	<1-5	10-100
Ni	2-100	Hasta 8000
Pb	10-150	10000 o más
Se	<1-2	Hasta 500
Zn	25-200	10000 o más

Fuente: Tomado de Browie & Thornton

Tabla 7. Límites máximos permisibles (LMP) de metales pesados en agua

Elemento	Símbolo	LMP (mg/L)
Arsénico	As	0,010
Cadmio	Cd	0,003
Cromo	Cr	0,050
Cobre	Cu	2,000
Manganeso	Mn	0,500
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,020
Plomo	Pb	0,010
Zinc	Zn	3,000

Fuente: Boletín OMS

2.3. Definición de términos básicos

a) Bioacumulación:

Concentración resultante acumulada en el ambiente o en los tejidos de organismos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos por todas las rutas de exposición por ejemplo por aire, agua, suelo, sedimento y alimento.

b) Cadena de custodia:

Procedimiento documentado de la obtención de muestras, su transporte, conservación y entrega de éstas al laboratorio para la realización de pruebas de análisis fisicoquímico, realizado por el personal responsable.

c) Concentración:

La relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia.

d) Contaminación atmosférica:

La presencia en el aire de uno o más contaminantes, o cualquier combinación de ellos en concentraciones o niveles tales que puedan constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o la conservación del patrimonio ambiental.

e) Contaminación:

Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o sobre la salud.

f) Especie receptora:

Especie critica que recibe o está en contacto con los contaminantes.

g) Fuentes Antropogénicas:

Corresponden a actividades o intervenciones que realizan las personas, siendo la combustión de materiales, sea ésta originada por las industrias, los vehículos o en el hogar.

h) Material particulado respirable:

Corresponde a las partículas sólidas o líquidas, tales como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento, polen, entre otras, dispersas en la atmosfera, cuyo diámetro aerodinámico es inferior o igual a 10 micrones (μm).

De acuerdo con la masa y composición de estas, se dividen en:

Fracción gruesa: PM_{10} mayor a $2,5\mu\text{m}$ y menor o igual a $10\mu\text{m}$.

Fracción fina: $\text{PM}_{2,5}$ menor a $2,5\mu\text{m}$.

i) Norma de emisión:

La que establece la cantidad máxima permitida para un contaminante, en forma de concentración o de emisión másica, medida en el efluente de la fuente emisora.

j) Población:

Grupo de organismos de la misma especie que viven en un área definida y un tiempo concreto.

k) Puntos de exposición:

Lugares donde es posible encontrar presencia de contaminantes y donde los receptores, a través de alguna vía, pueden entrar en contacto con los medios contaminados.

l) Toxicidad:

La propiedad de una sustancia o mezcla de sustancias de provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas.

m) Umbral:

Concentración o dosis de exposición debajo del cual no es probable que ocurra un efecto.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

Método Científico no experimental.

Considerando su orientación, esta es una investigación del tipo no experimental, con enfoque cuantitativo, ya que tiene como objetivo ampliar el conocimiento acerca de las personas o del mundo que les rodea con precisión (10).

3.1.2. Alcance de la investigación

El alcance fue cuantitativo, porque usa la estadística para analizar la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación urbana o rural en distrito de Cayma, 2021 (10).

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación que se desarrolla en el presente estudio es de investigación correlacional-descriptiva, ya que tiene como finalidad establecer el grado de concentración de metales pesados respecto a su ubicación en la zona rural y urbana.

3.2. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación es no experimental, porque se centra en cuantificar y comparar los resultados obtenidos en el laboratorio (12). En tal sentido, en el estudio, se mide la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), respecto a su ubicación urbana o rural en distrito de Cayma.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Para efecto de la investigación, se toman 80 hojas de *Fraxinus americana* (Fresno blanco) de la avenida Cayma representativo de la zona urbana y 80 hojas de *Fraxinus americana* (Fresno blanco) de la avenida Arequipa como representativo de la zona rural.

3.3.2. Muestra

La muestra de estudio serán 66 hojas del árbol *Fraxinus americana* (Fresno blanco) en las cuales se determinará la concentración de metales pesados (cromo (Cr), cadmio y plomo (Pb)) mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.

Tamaño de muestra:

$$m = \frac{N}{(N - 1) * K^2 + 1}$$

Donde:

N=Población

K= Margen de error (10%,5%,2%)

$$m = \frac{80}{(80 - 1) * 0.05^2 + 1}$$

$$m = 66$$

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) es un árbol que tiene la facilidad de habituarse a climas templados, templados fríos y resistir fuertes vientos, además de contar con gran fortaleza frente al ataque de plagas, enfermedades; sin embargo, no soporta altas temperaturas y falta de humedad.

Esta especie es un gran aliado medioambiental contra la contaminación ambiental, lo cual lo hace ideal para el empleo en el arbolado urbano por su frondosa copa y adaptación a diferentes condiciones.

Para realizar los procesos y procedimientos de recolección de datos se tomó como referencia la “Guía de Evaluación de la Flora Silvestre”, elaborada por el Ministerio del Ambiente (2011).

La técnica para la recolección de datos de campo fueron las siguientes:

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

a. Preparación de material cartográfico y satelital:

En la preparación de mapas de ubicación, se utilizó como base el mapa catastral del distrito de Cayma que se encuentra en el sistema de coordenadas planas de la Proyección Universal Transversal Mercator (UTM), zona 18S, Datum WGS84, además de imágenes satelitales. Esto se hizo, ya que tienen la ventaja de identificar un área urbana, donde se evidencia un fluido tránsito vehicular, presencia de comercio y fábricas y la zona rural que se caracteriza por solo contar con viviendas y zonas agrícolas. Además, en ambas zonas debemos identificar la presencia de cobertura arbolada que servirá como bioindicador de la concentración de metales pesados y de donde se tomaron las muestras.



Figura 6. Mapa satelital distrito de Cayma. Tomado de Google Earth.



Figura 7. Imagen Satelital Zona Urbana tomada de Google Earth.



Figura 8. Imagen Satelital Zona Rural tomada de Google Earth.

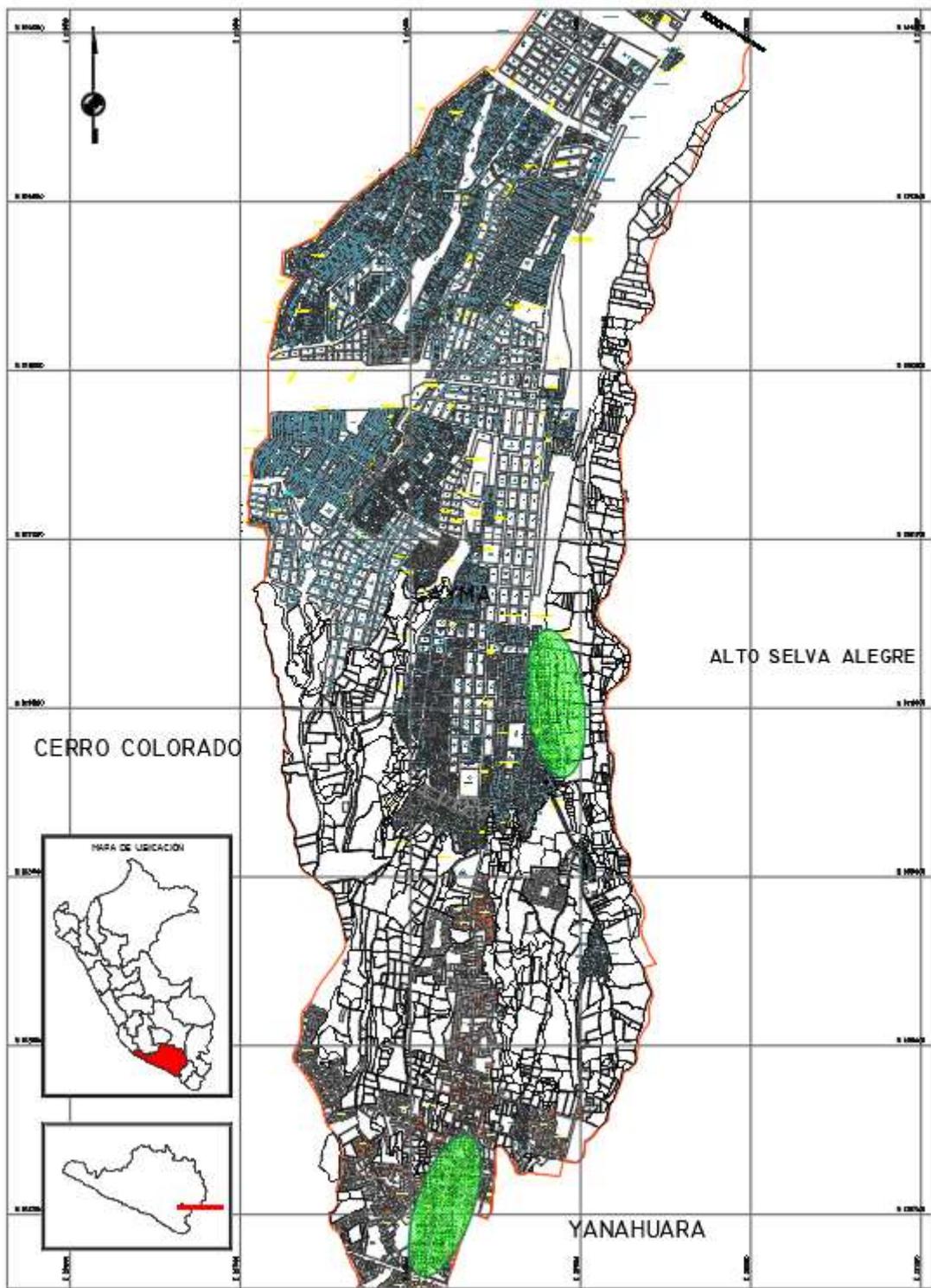


Figura 9. Mapa catastral del distrito de Cayma de elaboración propia.

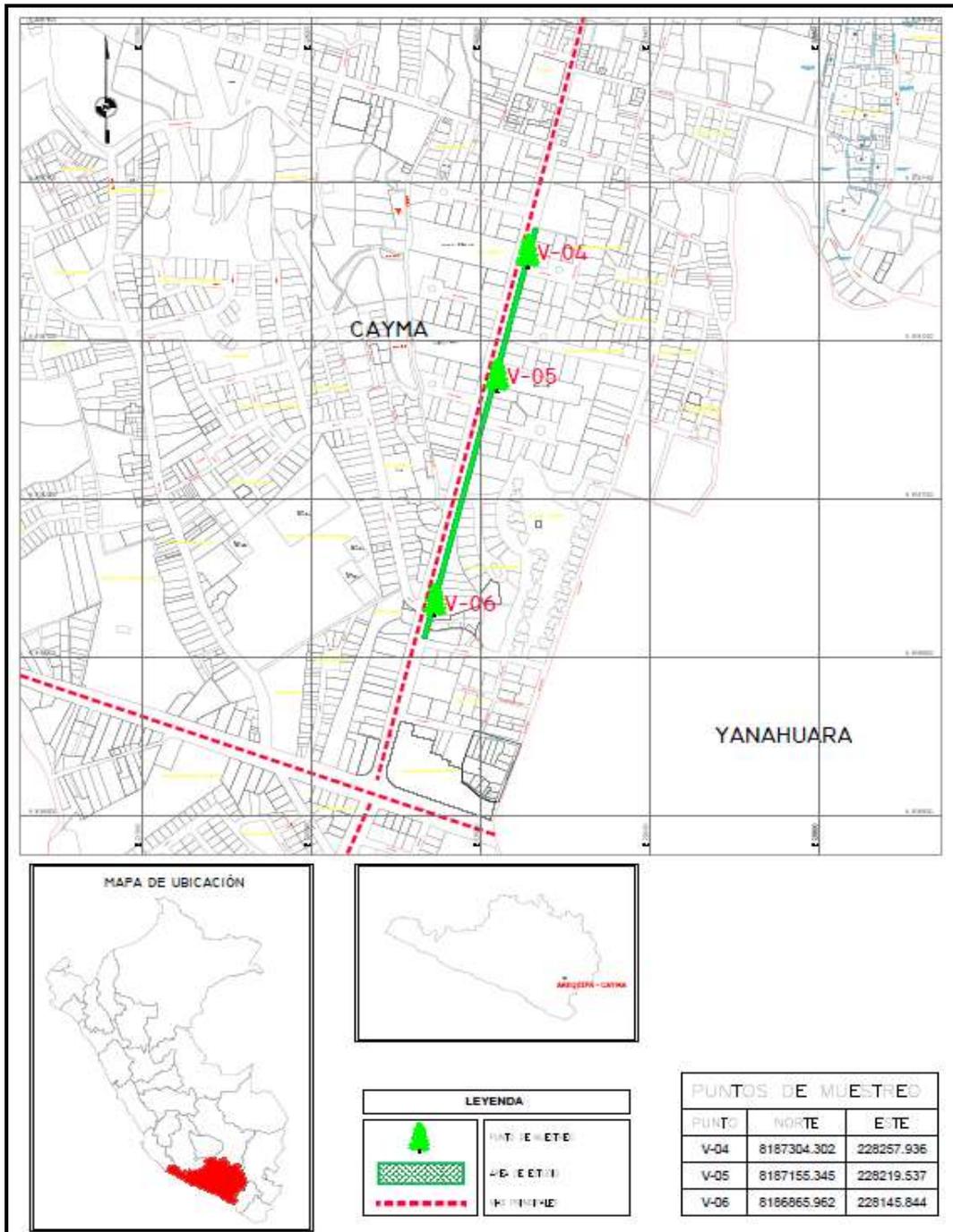


Figura 10. Ubicación de puntos de muestreo de la zona Urbana de elaboración propia

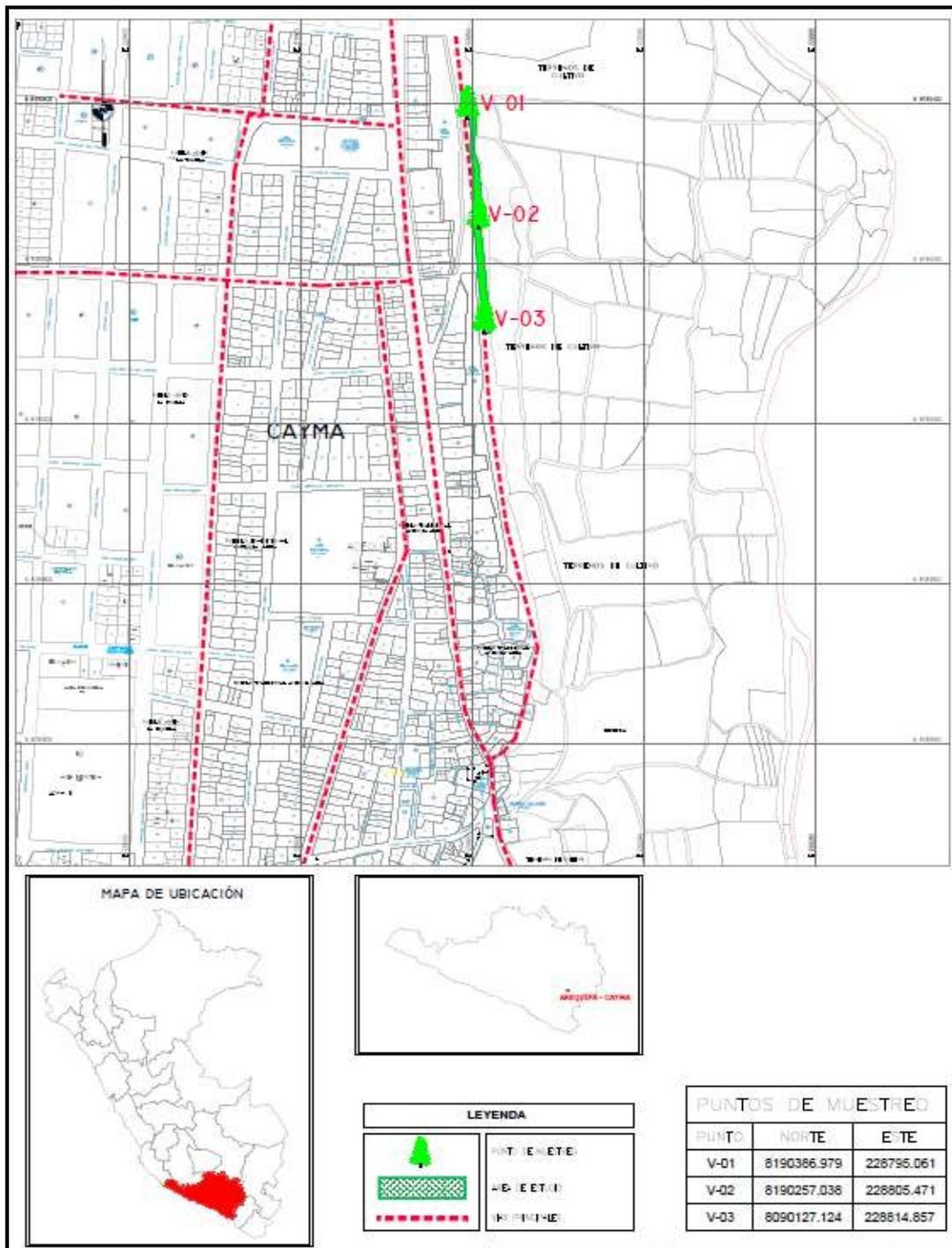


Figura 11. Ubicación de puntos de muestreo de la zona rural de elaboración propia.

En cada zona de muestreo fueron seleccionados tres puntos , donde la especie arbórea cumplió las condiciones para ser muestreada según las características establecidas en la metodología de estudio. De esta manera, se obtuvieron un total de seis arboles de la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) para ser muestreadas. La proyección cartográfica utilizada para la selección de los puntos de muestreo fue la UTM, Datum WGS84 Zona 18 Sur. En las siguientes tablas, se especifica la ubicación de los puntos de muestreo.

Tabla 8. Coordenadas de muestreo Zona Urbana

	NORTE	ESTE
V-01	8187304.30	228257.94
V-02	8187155.35	228219.54
V-03	8186865.96	228145.84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Coordenadas de muestreo Zona Rural

	NORTE	ESTE
V-04	8190386.98	228795.06
V-05	8190257.04	228805.47
V-06	8190127.12	228814.86

Fuente: Elaboración propia

b. Investigación bibliográfica

Antes de llevar a cabo nuestra etapa de recolección de muestras en campo se realizó una recopilación de información existente, sobre inventario forestal, sistemas agrícolas, población local, contexto socioeconómico, etc., para tener un mejor conocimiento de las realidades locales.

Las zonas de muestreo seleccionadas en el Distrito de Cayma, de la zona urbana y zona rural consideraron los siguientes factores:

- Presencia de la especie seleccionada como concentrador de metales pesados.
- Concentraciones de contaminantes en la atmósfera, suelo y agua
- Densidad demográfica
- Datos socioeconómicos (mercados, actividades comerciales, sanidad, etc.)
- Tránsito vehicular con motores a combustión.

Teniendo la ubicación de los puntos de muestreo, se preparó un formato de campo con el cual se realizó un censo simple para cuantificar la cantidad de árboles de la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y, también, para detectar la presencia de otras especies de árboles, medir su diámetro, estimar su altura, evaluar la calidad del fuste visualmente, codificación del punto de muestreo.

c. Medición de variables

Se realizó el desplazamiento a lo largo de las avenidas en la zona urbana y zona rural donde se identificó la cantidad de árboles Fresno blanco. Allí, se midió su diámetro, altura total y fuste, calidad exterior del fuste (método de los triángulos semejantes), y todo se registró en un formato de censo.

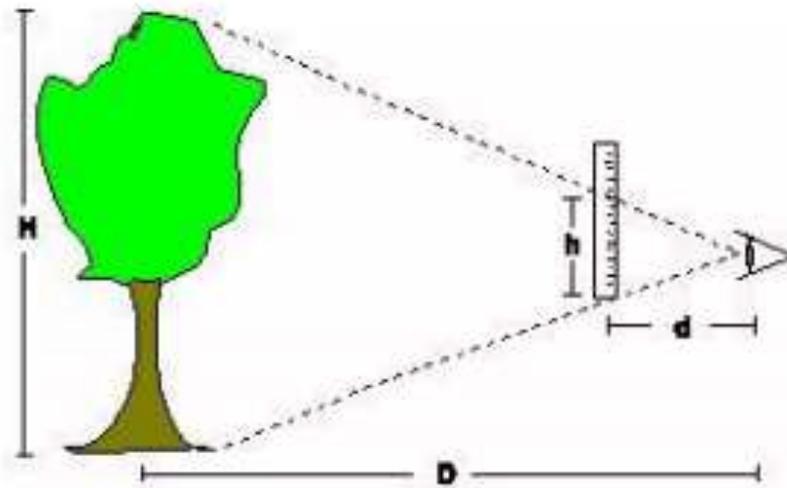


Figura 12. Método de los triángulos semejantes tomado de Guía para la evaluación de flora silvestre

Por semejanza de triángulos se obtiene que $H/h = D/d$. De esta manera, se obtiene que la altura del árbol es:

$$H = h\left(\frac{D}{d}\right)$$

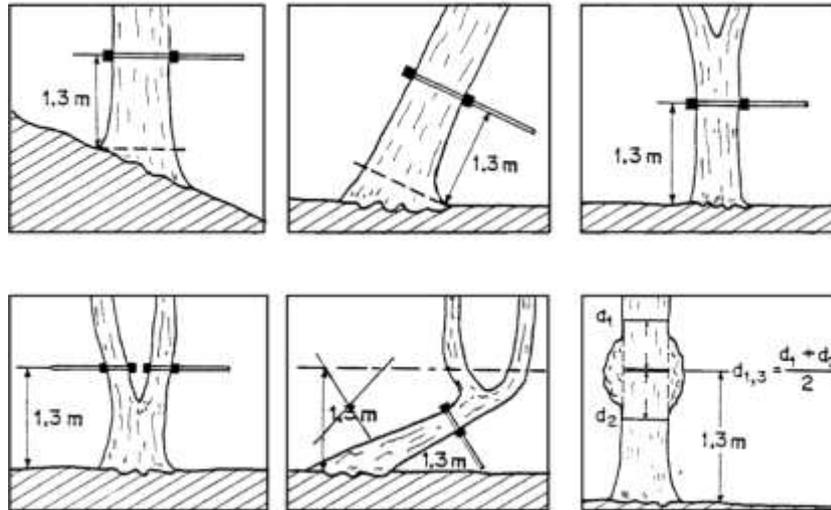


Figura 13. Medición del diámetro. Tomado de Guía para la evaluación de flora silvestre.

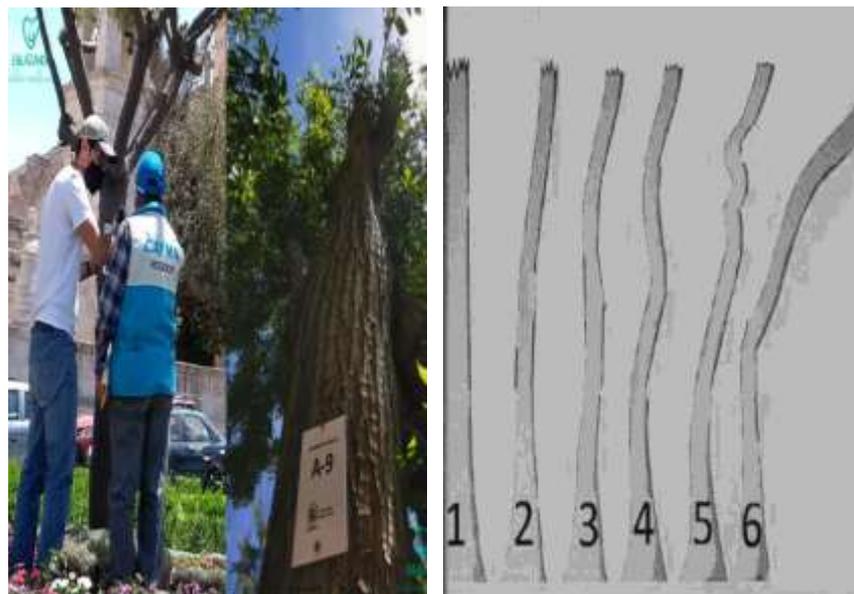


Figura 14. Evaluación visual del fuste

Nota: 1.Excelente (totalmente recto). 2.Muy bueno (casi totalmente recto). 3.Bueno (ligeramente flexionado). 4.Intermedio (medio deformado o doblado). 5. Malo(deformado). 6.Muy pobre (muy deformado o casi inclinado)



Figura 15. Codificación del árbol de elaboración propia.

d. Forma de la unidad muestral

Para la selección del diseño de muestreo este estudio se basó en la “Guía de Evaluación de la Flora Silvestre”, elaborado por el Ministerio del Ambiente, con el fin de generar una información estandarizada.

- **Parcela de área fija:**

Es una de las formas más utilizadas para realizar un inventario, y puede ejemplificarse por figuras geométricas como, por ejemplo, círculos, cuadrados o rectángulos.

Para nuestro diseño de muestreo utilizaremos las parcelas rectangulares, ya que poseen ciertas ventajas como la fácil medición

y registro de la información, aforar las variables caminando en trayectos rectos.

- **Selección de los árboles para tomar una muestra:**

Ya habiendo realizado la división en parcelas, se procedió con la selección de los árboles en los que se recolectarían las muestras representativas para el análisis foliar de la concentración de metales pesados. Esto último se realizaría mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica.

Para recolectar la muestra específica del árbol, se seleccionaron las ramas con varias hojas y que presentaban una apariencia y desarrollo promedio, con sectores más homogéneos. De estas muestras, se tomaron las hojas en su último periodo vegetativo, cuando su desarrollo se presenta completo. Además, estas deben corresponder al tercio central del árbol y de la periferia del árbol colindante con la vía principal.

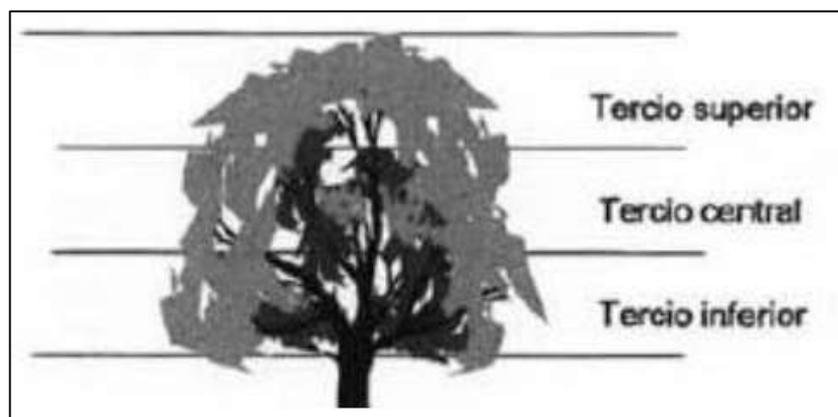


Figura 16. División de muestreo para un árbol tomado de Guía para la evaluación de flora silvestre

Las muestras recolectadas fueron colocadas en bolsas de papel limpias. Cada muestra tuvo un peso aproximado de 250 g. Para garantizar la calidad de las muestras y no perturbarlas, estuvieron debidamente aisladas de la temperatura ambiente.

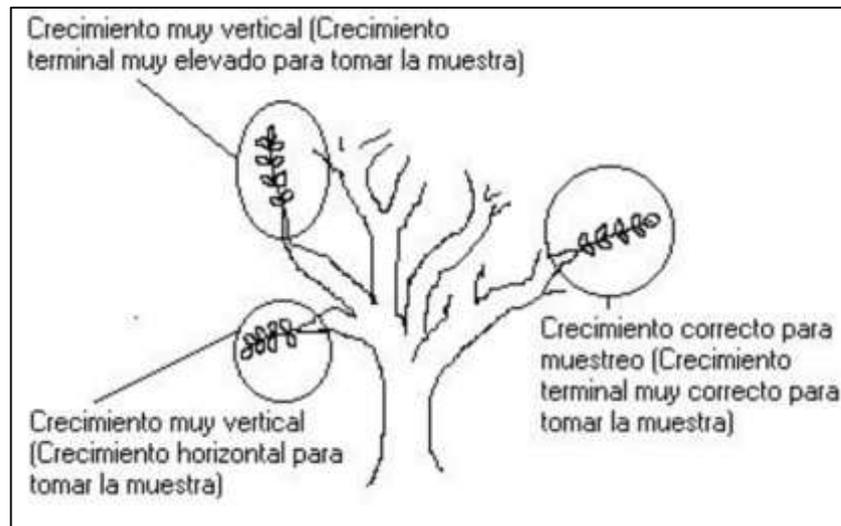


Figura 17. Partes de muestreo en el árbol, tomado de Guía para la evaluación de flora silvestre.

Cada muestra fue identificada de forma clara, además de llenar un registro de custodia con la información indispensable.

- Nombre del cliente
- Especie muestreada
- Ubicación de la muestra
- Código de la muestra

e. Materiales

Para la recolección de datos se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

- Hoja de custodia
- Formato de toma de datos para censo
- Libreta de campo
- GPS
- Regla
- Flexómetro
- Tijeras de podar
- Bolsa de papel
- Caja de Tecnopor
- Guantes quirúrgicos

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

a) Cadena de custodia

Proceso por el cual se registra, controla y vigila el muestreo,

incluyendo el método de toma de muestra, preservación, codificación, transporte y su correspondiente análisis.

b) Análisis foliar

Las muestras entregadas al laboratorio serán examinadas por el método de espectrofotometría de absorción atómica, el cual nos permitirá medir el contenido de elementos de metales pesados presentes en los tejidos de las hojas. De esta manera, podremos verificar la concentración de metales pesados que absorbió la planta.

La interpretación del análisis se realizará comparando los resultados obtenidos en la zona urbana y rural, identificando si existe una relación directa de la concentración de metales pesados respecto a su ubicación.

c) Espectrofotometría de absorción atómica

Para hallar las concentraciones de los metales pesados, utilizaremos la espectrofotometría de absorción atómica, ya que es una técnica estándar para analizar las muestras, además de tener entre sus ventajas un reducido coste económico, alta precisión y bajos límites de detección. Esta técnica posee una alta sensibilidad y rapidez en el análisis, lo cual facilita la capacidad de cuantificar las concentraciones; es decir, desde unas condicionadas partes por trillón (ppt) a cantidades considerables de partes por millón (ppm).

Esta técnica es sumamente eficiente y eficaz para poder medir las concentraciones de metales pesados que deseamos encontrar en las muestras de la especie arbórea en estudio.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Relación de la concentración de metales pesados respecto a su ubicación en la zona urbana y rural

El muestreo realizado nos permitirá saber las concentraciones de metales pesados presentes en las hojas del *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y compararlas respecto a su dimensión rural y urbana en el distrito de Cayma, Arequipa.

Tabla 10. Resultados de Concentración de metales pesados

	Punto de Muestra	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Zona Urbana	V-01	<0,001	0,56	<0,05
	V-02	<0,001	0,94	<0,05
	V-03	<0,001	0,56	<0,05
Zona Rural	V-04	<0,001	0,76	<0,05
	V-05	<0,001	0,70	<0,05
	V-06	<0,001	1,30	<0,05

Fuente: Elaboración propia

La relación de las concentraciones de los metales pesados Cd>Cr>Pb (ordenados en orden creciente de acuerdo con sus concentraciones totales en los resultados conseguidos) obtenidos por el método de

espectrofotometría de absorción atómica, prueban la existencia y concentración de metales pesados en el medio ambiente de la zona urbana y rural. Entonces, puede inferirse claramente la idoneidad de absorción para metales pesados que posee el árbol *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y a su vez ser utilizado como un bioindicador para detectar metales pesados.

Los resultados para el plomo (Pb) y cromo (Cr), en las zonas de dispersión (puntos de muestreo) de la zona urbana y rural, manifiestan que ambos sitios muestran valores de concentración semejantes, independientemente de la ubicación de la toma de muestras. Ello significa que la dispersión de estos metales pesados es uniforme y que no existe una relación de mayor concentración respecto a su ubicación.

El plomo, al ser una partícula fina y estar relacionado posiblemente con las emisiones vehiculares y ser un principal contaminante ambiental, no presentó valores mayores de concentración. Antes en los años 80 del siglo pasado, la gasolina tenía plomo en su composición; sin embargo, para los años 90, se desarrolló otro aditivo antidetonante: el metil t-butil éter (MTBE). Así, en el año 1993 se introdujo la gasolina sin plomo en el Perú y, en 1998, el DS 019-98 MTC dispuso la eliminación total del plomo en la gasolina, hasta llegar en el año 2005 al valor de 0,00 g/l.

De igual forma las concentraciones de cromo en esta investigación alcanzaron en general iguales valores en la zona urbana y rural. Cabe la posibilidad de que esto se deba a que no existen actividades generadoras resaltantes de este metal en ambas zonas.

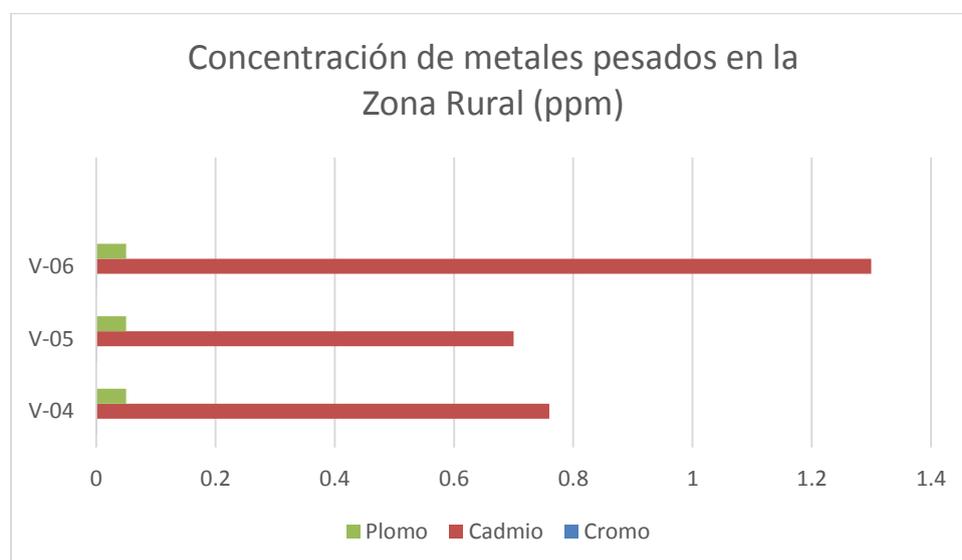
Por el contrario, se evidencia concentraciones de cadmio en la zona rural, en el punto de muestreo V-06 donde alcanza su valor máximo de 1,3 ppm y en la zona urbana el punto de muestreo V-02 alcanza un

valor máximo de 0,9 ppm. El cadmio es un metal pesado no esencial y poco abundante en la corteza terrestre; sin embargo, en las últimas décadas ha aumentado considerablemente su acumulación, como consecuencia de la actividad industrial. La contaminación por cadmio puede causar serios problemas a todos los organismos vivos, resultando altamente toxico para el ser humano. Una posible fuente de contaminación en humanos es la manipulación, ingesta de plantas contaminadas por el metal. (21).

4.1.2. Concentración de metales pesados respecto a su ubicación en la zona rural

A continuación, se muestran los resultados aplicados a los puntos de muestreo conseguidos en la zona rural.

Gráfico 1. Comparación de la concentración de metales pesados en la Zona Rural

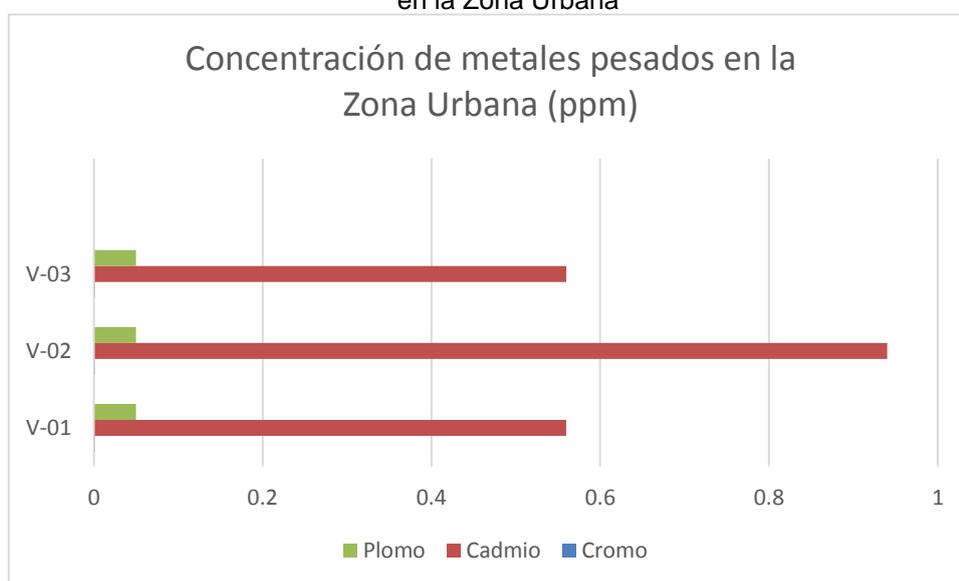


Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Concentración de metales pesados respecto a su ubicación en la zona urbana

A continuación, se muestran los resultados aplicados a los puntos de muestreo conseguidos en la zona urbana.

Gráfico 2. Comparación de la concentración de metales pesados en la Zona Urbana



Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Análisis de concentración del metal pesado plomo

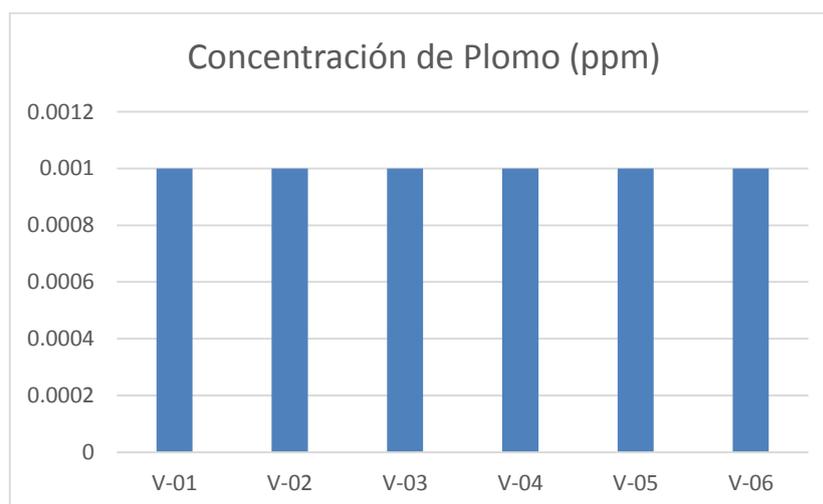
Los resultados para el metal pesado plomo, tuvieron una concentración $<0,001$ ppm en todos los puntos de muestreo de la zona urbana y rural, con lo que se pudo determinar que no existe una presencia significativa del metal pesado. Se muestra en la **Tabla 11**, los resultados en cada punto de muestreo.

Tabla 11. Resultados de Plomo

Zona	Identificación	Método de Extracción		Resultados (ppm)	Promedio (ppm)
		Parámetro	Método		
Urbana	V-01	Pb	AAS	<0,001	<0,001
	V-02	Pb	AAS	<0,001	
	V-03	Pb	AAS	<0,001	
Rural	V-04	Pb	AAS	<0,001	<0,001
	V-05	Pb	AAS	<0,001	
	V-06	Pb	AAS	<0,001	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3. Concentración de Plomo



Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Análisis de concentración del metal pesado cadmio

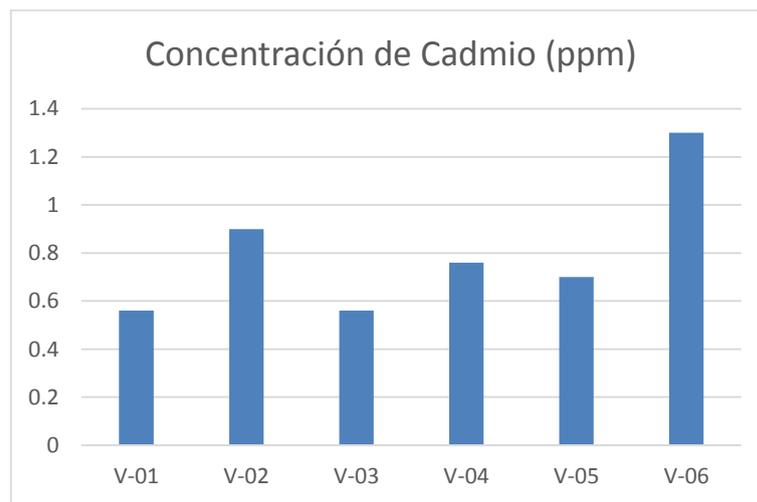
Los resultados para el metal pesado cadmio tuvieron concentraciones diferentes en cada punto de muestreo. Se observan en la **Tabla 12**, los resultados obtenidos en el laboratorio.

Tabla 12. Resultados para Cadmio

Zona	Identificación	Método de Extracción		Resultados	Promedio
		Parámetro	Método		
Urbana	V-01	Cd	AAS	0,56	0,69
	V-02	Cd	AAS	0,94	
	V-03	Cd	AAS	0,56	
Rural	V-04	Cd	AAS	0,76	0,92
	V-05	Cd	AAS	0,70	
	V-06	Cd	AAS	1,30	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4. Concentración de Cadmio



Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Análisis de concentración del metal pesado cromo

Los resultados para el metal pesado cromo tuvieron una concentración <0,05 ppm en todos los puntos de muestreo de la zona urbana y rural.

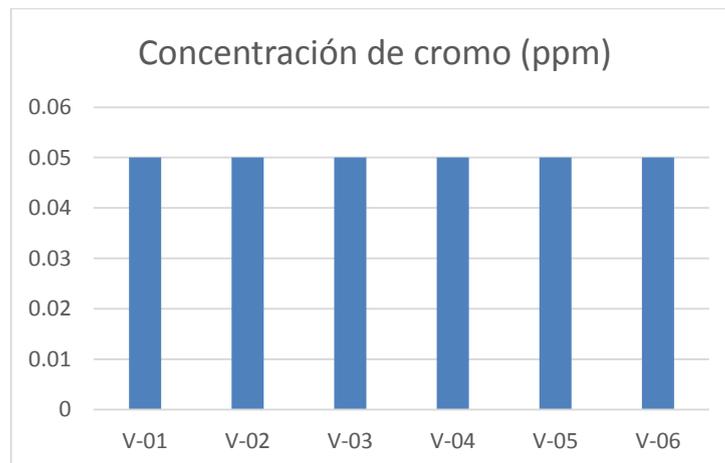
Posiblemente no existe una presencia significativa del metal pesado.
Se muestra en la **Tabla 13**, los resultados en cada punto de muestreo.

Tabla 13. Resultados para cromo

Zona	Identificación	Método de Extracción		Resultados	Promedio
		Parámetro	Método		
Urbana	V-01	Cr	AAS	<0,05	<0,05
	V-02	Cr	AAS	<0,05	
	V-03	Cr	AAS	<0,05	
Rural	V-04	Cr	AAS	<0,05	<0,05
	V-05	Cr	AAS	<0,05	
	V-06	Cr	AAS	<0,05	

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Concentración de Cromo



Fuente: Elaboración propia

Podemos identificar como posibles fuentes de contaminación antropogénica para el cadmio en las siguientes condiciones:

En la atmósfera, con el avance de la industrialización y tecnología, producimos

constantemente desechos industriales, los cuales expulsamos a aquella. Estos viajan grandes distancias con la ayuda del viento, lo que produce una progresiva bioacumulación del metal pesado a través del tiempo, que queda retenido en el suelo o fijado por absorción de las plantas, árboles y así se incorpora a las cadenas tróficas, o pasa a la atmósfera por volatilización.

En los suelos podemos identificar varios factores de movilidad del cadmio, como el pH del suelo, el uso de fertilizantes fosfatados como principal fuente de contaminación de cadmio, ya que este metal pesado se une fuertemente a la materia orgánica del suelo. De esta forma, es absorbido a la planta y se incorpora a la cadena trófica.

En medios acuáticos, podríamos identificar como posible fuente de contaminación el agua de riego, ya que es traída por canales de regadío que tienen como origen el río Chili. Esto sucede debido a que, en su trayecto, puede haber filtraciones de aguas subterráneas en las cuales haya lodos que contengan óxidos de cadmio. Este hecho involucra factores químicos y microbiológicos que interaccionan de forma compleja. No obstante, las concentraciones de cadmio en el agua potable, por lo general, son menores.

Gráfico 6. Contribución relativa de diferentes fuentes de cadmio

- | | |
|-------------------|--------------|
| Hi: $Me_d > 0.56$ | X=1 |
| • $\alpha = 0.05$ | n=1 |
| • $Z_t = 1.64$ | p=1/2, q=1/2 |

$$Z = \frac{(X \pm 0.5) - \mu}{\sqrt{npq}}$$

$$Z=2$$

Por lo tanto, podemos afirmar que se acepta Hi; es decir existe una relación entre la concentración de metales pesados en el Fresno blanco, respecto a su ubicación en la zona urbana.

4.3. Discusión de resultados

A partir de los hallazgos encontrados, aceptamos la hipótesis general, que establece que existe una relación directa entre la concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) respecto a su ubicación en la zona urbana en el distrito Cayma 2021.

Estos resultados guardan relación con la capacidad de absorción de metales pesados por una especie arbórea. Esto se puede observar, también, en la tesis denominada *La capacidad de absorción de metales pesados y material particulado de la especie arbórea Ficus benjamina en el parque zonal "Mayta Cápac" en el distrito de San Martín de Porres*. Allí, se encontró en el follaje del ficus bejamina unas concentraciones al nivel de 0,5368 mg/cm²/30 días; es decir, el follaje del ficus bejamina concentra metales pesados y material particulado, funcionando como un buen retenedor y bioindicador de este tipo de contaminantes (1). Esto se observa igualmente en la tesis llevada a cabo

en Stassfurt y sus alrededores en Sajonia-Anhalt, Alemania, utilizando la corteza del árbol predominantemente roble (*Quercus*), como concentrador de metales pesados en las áreas de referencia en Sajonia-Anhalt y a nivel nacional en Alemania. La bioacumulación en la corteza interior indicó la disponibilidad de contaminantes en el medio ambiente por parte de la planta y su absorción por parte del árbol. La comparación de los patrones de distribución de bioacumulación confirmó la influencia de las diferentes fuentes de contaminantes en el área de estudio (4). Ello es acorde con lo que en este estudio se ha evidenciado.

En lo que respecta a que no existe relación entre la concentración de metales pesados en el *Fraxinus americana* (Fresno blanco) respecto a su ubicación en la zona urbana, podemos concluir que el cadmio es el principal contaminante, mientras que el plomo y cromo son los menos contaminantes.

La relación que existe entre la concentración de metales pesados en el *Fraxinus americana* (Fresno blanco) respecto a su ubicación en la zona urbana del distrito de Cayma, principalmente por la presencia de Cadmio en la zona urbana podemos atribuirla por la capacidad de la planta y sus diferentes partes para acumular el metal pesado, la composición del suelo y las emisiones vehiculares en la avenida seleccionada como muestreo. También, se aprecia la presencia de hollín (constituyente grisáceo y de color negro producto de la combustión), debido a la circulación de tránsito vehicular de diferentes tipos, tales como buses, taxis, vehículos particulares, ya que fueron observados en las muestras de las hojas del árbol *Fraxinus americana* (Fresno blanco), como en la infraestructura a lo largo de la avenida.

Según un estudio realizado respecto a tres distritos de Arequipa, dos ubicados en la metrópoli y uno en la periferia, demostraron que los distritos metropolitanos con mayor contaminación presentaron una afectación a su tasa estomálica por la concentración de los contaminantes. Los análisis realizados a la cara superficial abaxial de las hojas del árbol de Mora, utilizado como el bioindicador para la concentración de metales pesados, obtuvieron como

resultados el cambio de la tasa estomática en relación a niveles de contaminación en la zona periférica (27).

La concentración del metal pesado cadmio no es ajena en la naturaleza, ya que cuando es liberado al medio ambiente, permanecerá en movimiento. Esta propiedad junto a su alta movilidad, poder bioacumulativo y toxicidad a concentraciones muy bajas lo hace uno de los metales pesados de mayor importancia. Hay una referencia histórica en Japón, en la década de los años 60, en la que el metal pesado cadmio se puso de manifiesto cuando más de 100 personas murieron por una enfermedad llamada Itai-Itai. Esta era ocasionada por las concentraciones elevadas de cadmio en el río Jinzu, utilizada para los cultivos de arroz que, lógicamente, era, luego, consumido por las personas. Estos acontecimientos motivaron a la ciencia del suelo y las plantas quisieran conocer y controlar los efectos que este metal producía.

CONCLUSIONES

1. En este trabajo de tesis se determinó que existe la concentración de metales pesados para el plomo, cromo y cadmio en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), en la zona urbana y rural en el distrito de Cayma, además, se determinó que existe una relación directa para las concentraciones de cadmio respecto a su ubicación en la zona urbana y rural del distrito de Cayma.
2. En la zona urbana se determinó que existe concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y sus concentraciones promedio fueron; para el plomo (<0,05 ppm), cromo (<0,001 ppm) y cadmio (0,69 ppm). Las concentraciones para el plomo y cromo son muy ligeramente menores según los resultados obtenidos por el laboratorio, mientras que la concentración de cadmio se percibe un valor el cual podría tener efectos negativos al medio ambiente.
3. En la zona rural se determinó que existe concentración de metales pesados en la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco) y sus concentraciones promedio fueron; para el plomo (<0,05 ppm), cromo (<0,001 ppm) y cadmio (0,92 ppm). De igual manera, las concentraciones para el plomo y cromo son muy ligeramente menores según los resultados obtenidos por el laboratorio, mientras que la concentración de cadmio presenta, en la zona rural, un valor aun mayor que la zona urbana, el cual podría tener efectos negativos al medio ambiente.
4. Las concentraciones de cadmio encontrado en el fresno blanco en la zona urbana y rural posiblemente podría deberse a algunas vías de contaminación. una de ellas es la absorción de metales pesados condicionada por el pH del suelo, por medio de la raíz desde el suelo, la temperatura, contenido de arcillas, materia orgánica y agua, concentrándose en las diferentes partes del árbol. Otra posible vía de contaminación podría atribuirse al uso de combustibles fósiles y mayor uso de fertilizantes en la zona rural. Una vez que esté presente

el metal pesado en el medio ambiente, puede acumularse progresivamente a través del tiempo, siguiendo vías como permanecer retenido, fijado por absorción, disuelto en la solución del suelo o por precipitación.

5. Podemos resaltar y destacar la sensibilidad de la especie *Fraxinus americana* (Fresno blanco), para concentrar metales pesados y la tendencia a bioacumularlos.

RECOMENDACIONES

1. Es preciso ampliar más estudios para la concentración de metales pesados en otras especies de árboles, debido a la diversidad arbórea existente en el distrito de Cayma como también en la provincia de Arequipa, ya que con ellos podremos determinar fuentes de las concentraciones de metales pesados existentes.
2. Realizar otro tipo de estudios y análisis con respecto al uso de suelo y agua, ya que en el presente trabajo solo vimos la capacidad de absorción y concentración de los metales pesados por parte de la especie estudiada.
3. Realizar análisis de muestras en diferentes distritos de la ciudad de Arequipa, para realizar la comparación de concentración de metales pesados en otros árboles de diferente ubicación.
4. Se recomienda una mayor arborización en zonas con alto nivel de contaminación, ya que la biodiversidad urbana mejora la calidad de vida, proporciona un hábitat más favorable y hacen de los lugares más saludables para vivir.
5. Se recomienda no utilizar al *Fraxinus americana* (Fresno blanco) como remedio medicinal, por su elevada absorción y concentración del metal pesado cadmio, ya que se sabe que las raíces de este árbol se utilizan para adelgazar por ser diuréticas y tónicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANGULO, Carlos. *Capacidad de adsorción de material particulado de la especie arbórea ficus benjamina en el parque zonal "Mayta Capac", San Martín de Porres*. (Tesis de Licenciado de Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018.
2. ANZA, Gary., FRANKEN, Margot. y ZABALLA, Mauricio. Bioindicadores en la detección de la contaminación atmosférica en Bolivia. *REDESMA*, 53-74, 2007.
3. BERAMENDI-OROSCO, Laura, RODRIGUEZ-ESTRADA, L., MORTON-BERMEA, Ofelia, ROMERO, Francisco, GONZALEZ-HERNANDEZ, G., HERNANDEZ-ALVAREZ, Elizabeth. Correlations between metals in tree-rings of *Prosopis juliflora* as indicators of sources of heavy metal contamination. *Applied Geochemistry*, 39,78–84, 2013.
4. BIRKE, Manfred, RAUCH, Uwe y HOFFMAN, Frieder. Tree bark as a bioindicator of air pollution in the city of Stassfurt, Saxony-Anhalt, Germany. *Journal of Geochemical Exploration*, 187,97-117, 2018.
5. BLANCO, Jaziel. El ceibo (*Ceiba* sp.) como indicador de fuentes de contaminación atmosférica, en el distrito de Chaclacayo, Lima, Perú. (Tesis de Magíster en Ciencias Ambientales). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2018.
6. DREYER, Annekatrin, NEUGEBAUER, Frank, RÜDEL, Heinz, KLEIN, Roland, LOHMANN, Nina, RAUERT, Caren, y KOSCHORRECK, Jan. Halogenated flame retardants in tree samples applied as bioindicators for atmospheric pollution. *Chemosphere*, 208, 233–240, 2018.
7. EL PERUANO. Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-003-2017->

MINAM.pdf. 7 de junio de 2017.

8. FERNÁNDEZ, Nandy. *Caracterización de material particulado y plomo en el distrito de San Juan de Sigüas-Arequipa*. (Tesis de Licenciado en Ingeniería Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2017.
9. FERRIOL, María, MUÑOZ, S., MERLE, Hugo, GARMENDIA, Alfonso y LÓPEZ, Carmelo. Papel de los árboles ornamentales como bioindicadores de la contaminación atmosférica urbana. *Las Buenas Prácticas en la Horticultura Ornamental*, 1: 292-298. Valencia: VI Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental, 2014.
10. GALLARDO, Esther. *Metodología de la investigación*. Huancayo: Universidad Continental, 2017.
11. GONZÁLES, Constancio. La Investigación Básica. La Investigación en Ciencias Fisiológicas: Bioquímica, Biología Molecular y Fisiología. *Cuestiones Previas. Educación Médica*, 7, 41-50, 2004.
12. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ Carlos y BAPTISTA Pilar. *Metodología de la investigación*. 6ª ed. México: McGraw Hill, 2014.
13. HOLT, Emily y MILLER, Scott. Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge*, 3(10),1-7, 2010.
14. HUCHÍN, Kimberly y SAYAGO, Roberto. Uso de bioindicadores para evaluar la eficiencia de la Moringa oleífera como purificador de agua. *Tlamati Sabiduría*, 8(2), 2017.
15. HUEGUET, Rodolfo. *Determinación cuantitativa de metales pesados en cinco especies vegetales en bolsas filtrantes para infusiones expendidas en Lima Metropolitana*. (Tesis de Magister en Toxicología) Lima: Universidad Nacional

Mayor de San Marcos, 2013.

16. INEI, Perú: Perfil sociodemográfico informe nacional. Censos nacionales 2017 [en línea] Lima, agosto 2018 [fecha de consulta: 15 de junio del 2021], disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/.
17. MINGANTI, V. y DRAVA, G. Tree bark as a bioindicator of the presence of scandium, yttrium and lanthanum in urban environments. *Chemosphere*, 193, 847–851, 2018.
18. NAVRÁTIL, Tomáš, ŠIMEČEK, Martin, SHANLEY, James, ROHOVEC, Jan, HOJDOVÁ, Maria y HOUŠKA, Jakub. The history of mercury pollution near the Spolana chlor-alkali plant (Neratovice, Czech Republic) as recorded by Scots pine tree rings and other bioindicators. *Science of the Total Environment*, 586, 1182-1192, 2017.
19. OROZCO, Katherine y PONCE, William. *Estudio comparativo de métodos de extracción de metales pesados en hojas de neem (Azadirachta indica), como bioindicador ambiental.* (Tesis de Bachiller en Ciencias Químicas) Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2018.
20. PECKHAM, Matthew, GUSTIN, Mae, WEISBERG, Peter y WEISS-PENZIAS, Peter. Results of a controlled field experiment to assess the use of tree tissue concentrations as bioindicators of air Hg. *Biogeochemistry*, 142, 65–279, 2019.
21. QUISPE, Raúl. Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el Río Coata, 2017. Tesis (Licenciado de Ingeniería Agrícola) Puno: Universidad del Altiplano, 2017.
22. RIQUELME, Cristian. *Análisis estadístico de concentraciones y distribuciones*

de metales pesados para el municipio de Sentmenat. Tesis (Licenciado de Ingeniería Ambiental). Santiago: Universidad Católica de la Santísima Concepción, 2015.

23. RODRIGUEZ – SERRANO M., MARTÍNEZ LAS CASAS, N., ROMERO PUERTAS, M.C., DEL RIO, L.A. y SANDALIO, L.M. Toxicidad de metales pesados en plantas. *Ecosistemas[en línea]*, 17 (3), 139-146, 2008
24. SÁNCHEZ, Hugo, REYES, Carlos y MEJÍA, Katia. *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma, 2018.
25. SAWIDIS, T., BREUSTE, J., MITROVIC, M., PAVLOVIC, P. y TSIGARIDAS, K. Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environmental Pollution [en línea]*, 159(12), 3560-3570, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.008>.
26. SOTO, José. *Determinación de la calidad del aire por Material Particulado (PM 10) en una vía pavimentada (Av. Antonio Maya de Brito) y una vía no pavimentada (Av. Colonización) en el distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo-Ucayali*. Tesis (Licenciado de Ingeniería Ambiental). Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali, 2015.
27. SUCLLA, Mauricio. *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*. Tesis (Licenciado de Ingeniería Ambiental). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2019.
28. TURKYILMAZ, Aydin, SEVIK, Hakan, ISINKARALAR, Kaan y CETIN, Mehmet (2019). Use of tree rings as a bioindicator to observe atmospheric heavy metal deposition. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 5122–5130,

2019.

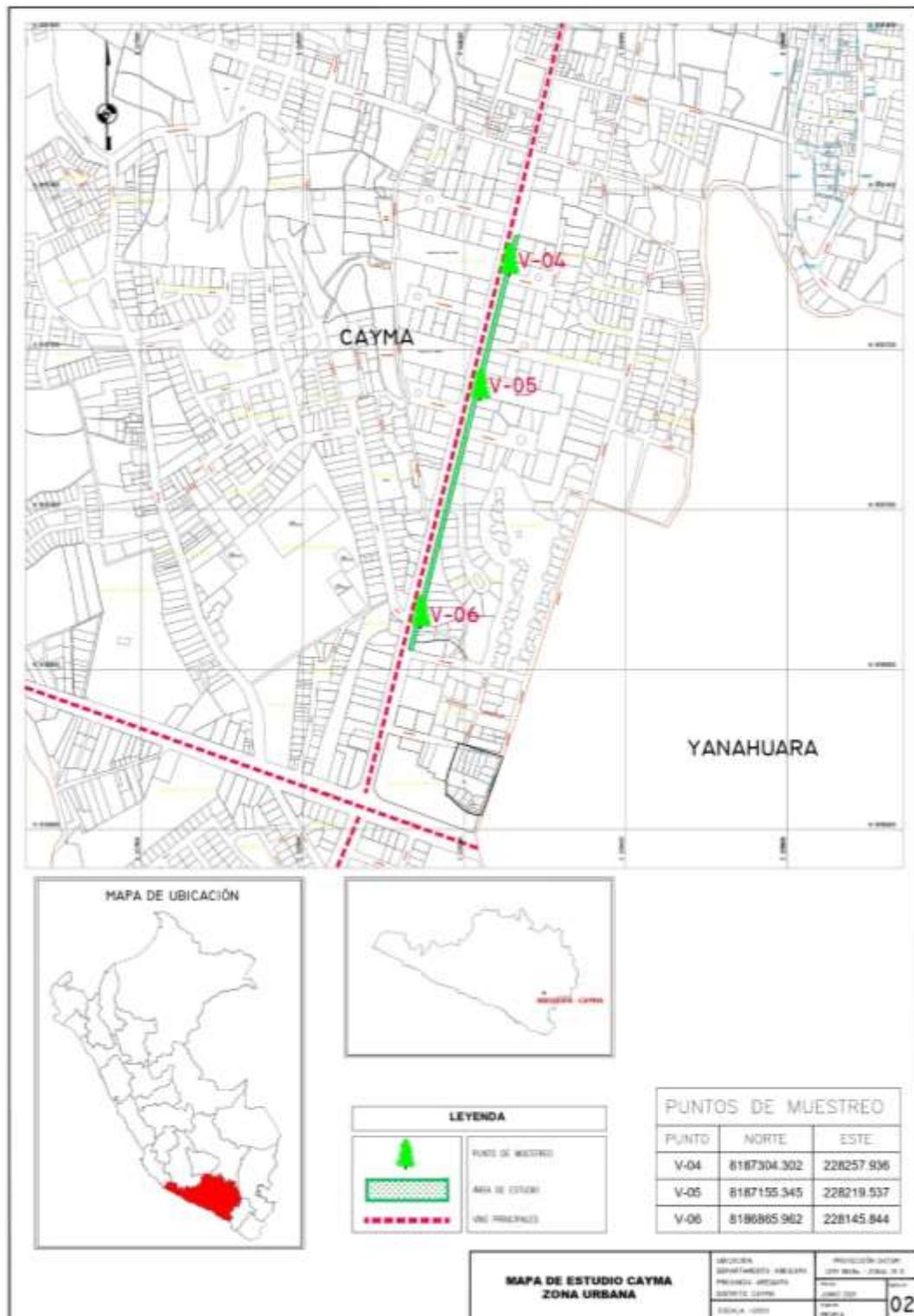
29. YOUSAF, Muhammad, MANDIWANA, Khakhathi, BAIG, Khurram y LU, Julia. Evaluation of *Acer rubrum* Tree Bark as a Bioindicator of Atmospheric Heavy Metal Pollution in Toronto, Canada. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231(8), 2020.

ANEXOS

Anexo 1. Recolección de información de los árboles muestreados en las zonas Urbana y Rural del distrito de Cayma

FORMATO PARA CENSO						
Código	Especie	DAP (m)	Fuste	Norte	Este	
V-01	Fresno Blanco	0.47	Intermedio	8187304.30	228257.94	
V-02	Fresno Blanco	0.42	Recto	8187155.35	228219.54	
V-03	Fresno Blanco	0.32	Recto	8286865.96	228145.84	
V-04	Fresno Blanco	0.22	Casi recto	8190386.98	228795.06	
V-05	Fresno Blanco	0.26	Casi recto	8190257.04	228805.47	
V-06	Fresno Blanco	0.23	Casi recto	8190127.12	228814.86	

Anexo 2. Mapa de muestreo zona Urbana



Anexo 3. Mapa de muestreo Zona Rural



Anexo 4. Imágenes de la especie Fresno blanco (*Fraxinus americana*)



Figura 18. Árbol Fresno blanco (*Fraxinus americana*)



Figura 19. Hoja del Fresno blanco (*Fraxinus americana*)

Anexo 5. Imágenes de recolección de datos en la fase de campo



Figura 20. Zona Rural



Figura 21. Zona Urbana



Figura 22. Punto de muestreo V-01



Figura 23.Punto de muestreo V-02



Figura 24.Punto de muestreo V-03



Figura 25.Punto de muestreo V-04



Figura 26. Punto de muestreo V-05



Figura 27. Punto de muestreo V-06



Figura 28. Medición Diámetro a la altura del pecho (DAP)



Figura 29. Medición del diámetro del árbol



Figura 30. Recolección de muestras vegetal del Fresno blanco



Figura 31. Muestras para el laboratorio

Anexo 6. Cadena de custodia

PLANILLA DE ENVIO DE MUESTRAS AL LABORATORIO			
EMPRESA O RAZÓN SOCIAL			
RAZÓN SOCIAL	ERICK ADOLFO BEGAZO RODRIGUEZ		
RUC/DNI	42583036	PROVINCIA	AREQUIPA
		DEPARTAMENTO	AREQUIPA
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA			
N° CONTRATO:	22054	FECHA DE MUESTREO:	26/05/2021
MUESTREADOR:	ERICK BEGAZO RODRIGUEZ		
LUGAR DE MUESTREO	AREQUIPA, Av. Cayma - Av. Arequipa		
TIPO DE MUESTRA	DESCRIPCIÓN (Variedad/Lote/Producto/Etc.)	ANÁLISIS REQUERIDO	CODIGO
FOLIAR	Hojas del Freno blanco	Espectrofotometría de Absorción Atómica	V-01
FOLIAR	Hojas del Freno blanco		V-02
FOLIAR	Hojas del Freno blanco		V-03
FOLIAR	Hojas del Freno blanco		V-04
FOLIAR	Hojas del Freno blanco		V-05
FOLIAR	Hojas del Freno blanco		V-06

BCO. DE CRÉDITO 191 - 0031059 - 0 -26

FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO AGRARIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 anexo 226 / 349 3969 Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 022054

HOJA DE RECEPCIÓN

SOLICITANTE: Elrick Rogelio Rodriguez FECHA: 28/05/21
 PROCEDENCIA: Cayma TELÉFONO: _____
 DEPARTAMENTO: Proyecto PROVINCIA: _____
 DISTRITO: _____ CANTIDAD: 06
 MUESTRA DE: Foliar AJELARTE: clp
 COSTO: 06,115.50 T=1/ 693.00 SALDO: _____

Nº de Laboratorio del: _____ de _____

ANÁLISIS SOLICITADOS

-) ANÁLISIS DE AGUA RUTINA: pH, C.E., Carbones (Ca, Mg, K, Na) y Aniones (CO₃, HCO₃, CL, SO₄, NO₃) BORO Y SAR.
-) ANÁLISIS DE AGUA FÍSICO-QUÍMICO: Turbidez, Sólido Tot., Fe, Pb, Cu, Cd, Mn, Zn, B, Mg, Cl, SO₄, Dureza Total, Alcal., pH, NO₃, Na
-) ANÁLISIS DE SUELO RUTINA: pH, C.E., M.O., P y K, disponible Ca CO₃+H.
-) ANÁLISIS DE SUELO CARACTERIZACIÓN: Rutina, Textura, CIC (Ca, Mg, K, Na), Cambiabil.
-) ANÁLISIS DE SUELO SALINIDAD: Caracterización, Cationes (Ca, Mg, K, Na), Aniones (CO₃, HCO₃, CL, SO₄) Yeso, B.
-) OTROS: Foliar, Cayma, Cayma

RECIBIDO POR: _____

Anexo 7. Certificados de Análisis Foliar por Espectrofotometría de Absorción Atómica



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe



ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ERICK ADOLFO BEGAZO RODRIGUEZ
 UBICACIÓN : Cayma - Arequipa
 RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Montalvo Parissi
 FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 26 de mayo de 2021

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
	Campo				
16893	V-01	Av. Cayma, Cuatras 2	<0,001	0,58	<0,05



Eusebio Ingal Blanco, PhD.
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº: 016894

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ERICK ADOLFO BEGAZO RODRIGUEZ
UBICACIÓN : Cayma - Arequipa
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Poirais
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de mayo de 2021

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
	Campo				
16894	V-02		<0.001	0.94	<0.05
	Av. Cayma_Cuadra 3				



Eusebio Injoi Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 016895

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ERICK ADOLFO BEGAZO RODRIGUEZ
UBICACIÓN : Cayma - Arequipa
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Purnas
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de mayo de 2021

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
	Campo				
16895	V-03 Av. Cayma_Cuadra 5		<0,001	0.56	<0,05



Eusebio Ingui Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 016896

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ERICK ADOLFO BEGAZO RODRIGUEZ
UBICACIÓN : Cayma - Arequipa
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Montañez Forgas
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de mayo de 2021

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
		Campo			
16896	V-04	Av. Arequipa_Cuadra 4	<0,001	0,76	<0,05

Elizabeth Montañez Forgas

Eusebio Ingal Blanco, PhD.
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 016897

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ERICK ADOLFO BEGAZO RODRIGUEZ
UBICACIÓN : Cayma - Arequipa
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Montalmy Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de mayo de 2021

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
	Campo				
16897	V-08	Av. Arequipa_Cuadra 7	<0.001	0.70	<0.05



Elizabeth Ingot Blanco, PhD
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 016898

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : ERICK ADOLFO BEGAZO RODRIGUEZ
UBICACIÓN : Cayma - Arequipa
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Munderrey Purras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de mayo de 2021

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
	Campo				
16898	V-06	Av. Arequipa_Cuadra 10	<0,001	1,30	<0,05

Eusebio Ingal Blanco

Eusebio Ingal Blanco, Ph.D.
JEFE DE LABORATORIO

