



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe  
y Cu atmosféricos: Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA AMBIENTAL

**AUTORA:**

Marca Gonzales, Karla Pamela (ORCID: 0000-0002-6818-9239)

**ASESOR:**

Mgtr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORDID: 0000-0002-0750-2877)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

### **Dedicatoria**

A mis padres, por su amor, su comprensión, apoyo, trabajo y sacrificio en todos estos años de nuestra vida profesional, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy ahora. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hija, son los mejores padres.

A todas las personas cercanas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos y experiencias.

### **Agradecimiento**

Gracias a dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión tomada, gracias a la vida por enseñarme a saber cómo resolver problemas diariamente y hacerme persona de bien.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor y apoyo he logrado llegar hasta donde estoy ahora y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de ilustraciones.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEORICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	22
3.2. Diseño de investigación.....	22
3.3. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	23
3.4. Escenario de estudio .....	26
3.5. Participantes.....	26
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	26
3.7. Procedimiento .....	29
3.8. Rigor científico.....	29
3.9. Método de análisis de datos .....	30
3.10. Aspectos éticos.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
V. CONCLUSIONES .....	36
VI. RECOMENDACIONES .....	37
REFERENCIAS.....	38
ANEXOS .....	41

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Matriz de Categorización Apriorística.....	24
<b>Tabla 2:</b> Matriz de Análisis de Datos .....	30
<b>Tabla 3 Descripción de Bioindicadores en la identificación de contaminantes atmosféricos</b> .....	32

## Resumen

En la actualidad la problemática de la contaminación atmosférica ya viene trascendiendo en la salud de los seres humanos es por ello la importancia de analizar mediante estudios de investigación la información sobre el uso de bioindicadores para saber el estado de la calidad del aire, en especial en zonas donde existe mayor contaminación atmosférica como zonas urbanas, parques automotrices, zonas industriales y otros. Las tecnologías también vienen trayendo silenciosamente consecuencias negativas que han ido impactando la calidad del aire a lo largo de los años.

En esta investigación se empleó la metodología descriptiva, bibliográfica y analítica usando bases de artículos científicos como Scopus, libros virtuales, Redalyc y otros; donde se analizaron cada una de ellas para el desarrollo de esta investigación, mediante la sistematización de la información recopilada enfocada en los bioindicadores de calidad de aire.

**Palabras clave:** Bioindicadores, Contaminación Atmosférica, Líquenes, Calidad del aire .

## **Abstract**

At present, the problem of air pollution has already transcended the health of human beings, which is why the importance of analyzing through research studies the information on the use of bioindicators to know the state of air quality, especially in areas where there is greater air pollution such as urban areas, car parks, industrial areas and others. Technologies are also quietly bringing negative consequences that have impacted air quality over the years.

In this research the descriptive, bibliographic and analytical methodology was used using bases of scientific articles such as Scopus, virtual books, Redalyc and others; where each of them were analyzed for the development of this research, through the systematization of the collected information focused on air quality bioindicators.

**Keywords:** Bioindicators, Air Pollution, Lichens, Air quality.

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente es uno de los muchos problemas del mundo contemporáneo, esto debido al desarrollo intensivo de la actividad industrial, transporte y la urbanización, todos estos aspectos provocan cambios en la distribución espacial de la contaminación ambiental, pasando de un fenómeno local a problemas globales (PARZYCH, y otros, 2016).

La contaminación del aire en las ciudades alrededor de todo el mundo es uno de los problemas ambientales más importantes en el siglo XXI, esto debido a las distintas actividades donde interviene el hombre, (QUISPE, y otros, 2018), Cabe mencionar que la intervención de las actividad humanas son la principal fuente de contaminación a nivel local e internacional, sabiendo que algunas de estos factores liberan gases tóxicos a través de la eliminación de desechos industriales, humos de vehículos de motor, partículas de incendios forestales y entre otros (SALAIMAN, 2018), para tal motivo estas consecuencias afectan negativamente a la salud pública, empeorando así la situación socioeconómica de las ciudades (TEREKHINA, y otros, 2020). Es por tal motivo, que la bioindicación se va consolidando como un método y prácticas de detección temprana de alteraciones producidas en el medio ambiente, llegando a ser una herramienta eficaz, relativamente rápida y de bajo costo (VALDIVIA, 2018).

Según (Sampieri, 2017), una vez concebida la idea del estudio, el investigador debe familiarizarse con el tema en cuestión. Además, el propósito, finalidad u objetivo debe colocar la atención en la idea fundamental de la investigación. Si hay más de una intención principal, se fijan objetivos complementarios en una o más oraciones por separado (para fines de claridad) que expresen lo que se pretende conocer.

Para (Mejía, 2018 pág. 37), el problema de investigación tiene como punto de partida la identificación y formulación del problema. Un problema es

un hecho, situación o fenómeno que estimula a la reflexión o al estudio de lo planteado; de hecho, el problema es algo que se desea conocer y que aún no se sabe (o no se verificado), es decir es una interrogante que tiene que resolverse acerca de la realidad.

Ante esto se plantea el siguiente problema ¿Cómo influye los Bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO<sub>2</sub>, Fe y Cu atmosféricos? Lo cual lo acompañan tres problemas específicos, (a). ¿Cuáles fueron los tipos de bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO<sub>2</sub>, Fe y Cu atmosféricos? (b) ¿Qué cambios mostraron los bioindicadores ante la presencia de PM, NOX, CO<sub>2</sub>, Fe y Cu atmosféricos? y finalmente ¿Qué tipo de bioindicador es más efectivo en determinar la presencia de PM, NOX, CO<sub>2</sub>, Fe y Cu atmosféricos?

Para (Sampieri, 2017) la mayoría de las investigaciones se ejecutan con un propósito definido, pues no se hacen simplemente por capricho de una persona, y ese propósito debe ser lo suficientemente significativo para que se justifique su realización. El presente estudio se justifica, en función a la necesidad de saber y determinar de forma masiva el estado del medio atmosférico, además de determinar la rentabilidad de la aplicación de las técnicas para el muestreo en beneficio de la salud de las personas.

Según (Sampieri, 2017) una investigación llega a ser conveniente por diversos motivos: tal vez ayude a resolver un problema social, a formular una teoría o a generar nuevas inquietudes de investigación. Lo que algunos consideran relevante para investigar puede no serlo para otros, pues suele diferir la opinión de las personas. Lo que busca el presente estudio es ampliar el conocimiento para saber cuáles son los diversos bioindicadores que ayudan al monitoreo de la calidad atmosférica, además de saber la rentabilidad en la ejecución de estas técnicas de muestreo.

Según (Paz, 2017) los objetivos plantean hasta dónde queremos llegar con la investigación, las metas reales conseguidas deberían coincidir con los objetivos propuestos; sin embargo, por diversas razones a veces no

se pueden alcanzar. Además, es el proceso de delimitación de los objetivos repercutirá a su vez en el proceso de la determinación de los aspectos y relaciones entre fenómenos que requieren investigarse.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo general evaluar si los bioindicadores identifican la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos y los específicos describir los tipos, describir los cambios y el tipo de efectividad de bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos.

## II. MARCO TEÓRICO

Las riquezas naturales y otros factores del ambiente desempeñan funciones que posibilitan conservar las condiciones de los hábitats y del ambiente como el de preservar, mejorar y restaurar. Por el cual el objetivo de la vigilancia y el monitoreo ambiental es brindar la información que permita encaminar la disposición de medidas que aseguren promover el progreso de la investigación científica y tecnológica, desarrollo de conocimientos y recursos a su vez la difusión de experiencias e información para el provecho de próximas investigaciones para mejorar la calidad del medio ambiente. (Gonzales Vargas, y otros, 2016)

De acuerdo a análisis realizados, el uso de bioindicadores que manifiestan a las perturbaciones y presencia de contaminación en el aire se encuentran los líquenes ya que son sensibles a cualquier cambio presente en el ambiente, debido a que es en la atmosfera donde se adquiere la mayor parte de sus nutrientes, de tal manera que los líquenes responden a los cambios presentes en su entorno manifestando conmutación en su tamaño, color, frecuencia e incluso en presencia o ausencia de algunas especies, escenario que no es habitual en otras especies de organismos de similar sensibilidad. (Mateus, y otros, 2019 pág. 24).

Los líquenes se encuentran con frecuencia en tallos, ramitas y ramas de los árboles y su corteza ofrece un lugar adecuado para recolectar el agua de lluvia y los materiales del aire y la luz solar requerida. (Bimetallic cobalt–iron diselenide nanorod modified glassy carbon electrode: an electrochemical sensing platform for the selective detection of isoniazid, 2021). Por tal motivo han sido reconocidos como herramientas válidas para el monitoreo y evaluación de la calidad del aire (Rivera, y otros, 2020). La presencia y ausencia de líquenes alrededor de diferentes fuentes de contaminación se ha utilizado para determinar escenarios o actividades frente a la contaminación del aire. Además de sus propiedades biológicas, los líquenes son confiables según su morfología, ya que los líquenes crecen lentamente, son duraderos y no pueden mudar sus partes durante el crecimiento. (Bimetallic cobalt–iron diselenide nanorod modified glassy carbon electrode: an electrochemical

sensing platform for the selective detection of isoniazid, 2021). Son bioindicadores potenciales porque pueden absorber agua y minerales del agua de lluvia y de la atmósfera a través de su superficie de talo. A diferencia con las hojas de las plantas, los líquenes al no tener cutícula externa y estomas que controlen la entrada de contaminantes o gases que ingresan a las células, los líquenes pueden simplemente absorber y acumular sustancias químicas, particularmente metales pesados, del aire. (SALAIMAN, 2018 pág. 9)

La contaminación ambiental es considerada uno de los principales problemas del mundo a nivel global (LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE, 2017 págs. 7-8). La presencia de los contaminantes en la atmósfera consigue niveles muy elevados dando lugar a un aumento en el calentamiento global mientras que en concentraciones bajas generan impactos dañinos en la salud de las personas y animales. (Puy Alquiza , y otros, 2016) Los contaminantes son producidos por gases de escape, ruedas de automóviles y vehículos. Los metales pesados son uno de los contaminantes atmosféricos principales en alterar la calidad del aire. Esto se debe al hecho de que pueden existir en el medio ambiente durante mucho tiempo sin deteriorarse, y su concentración en la atmósfera es cada vez mayor ya que tienden a bioacumularse. (Puy Alquiza , y otros, 2016) Así mismo las actividades industriales juegan un papel clave ya que suelen implicar procesos con un impacto ambiental, incluyendo emisión de contaminantes. Entre ellos, se ha prestado mucha atención al material particulado (PM) cuya exposición está vinculada con varios efectos adversos, efectos sobre la salud principalmente debido a su tamaño y composición química. Por lo tanto, hay una gran necesidad de explotar sistemas de monitoreo de partículas en suspensión en el aire capaces de proporcionar información sobre los peligros potenciales para la salud y las fuentes de emisión específicas para la implementación de estrategias de control adecuadas. (TEREKHINA, y otros, 2020)

Según (Gonzales Vargas, y otros, 2016 pág. 7) en su investigación refiere que los bioindicadores son especies selectas a su sensibilidad o tolerancia a varios parámetros, ya estos sean parámetros ambientales o de contaminación, pues brindan información sobre los riesgos que a los que están expuestos otros organismos y ecosistemas. Para esta investigación se consideró el Índice de Pureza Atmosférica (IPA) ya que es un índice biológico que tiene en cuenta la presencia, cobertura, cantidad y distribución de las especies de líquenes en una determinada área de estudio o investigación donde la contaminación puede producir cambios a la calidad del aire. Los resultados mostraron que se encontró buen vinculo de los contaminantes y el desarrollo de los líquenes, por una parte se tienen aproximaciones negativas entre el IPA y los contaminantes de NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>, lo cual representa que a mayor concentración de estos contaminantes ya mencionados , menor es la calidad del aire para el desarrollo de los líquenes; mientras que el ozono (O<sub>3</sub>) presenta una analogía positiva, mostrando que a mayor concentración de este contaminante existe un mayor desarrollo de los líquenes, así también a través de los datos estadísticos se observó que *Flavopunctelia flaventior* es una variedad algo sensible a altas concentraciones de PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub>, por otro lado la *Candelaria concolor* es sensible al NO<sub>2</sub> y *Candelaria fibrosa* se mostró sensible a la presencia de elevadas concentraciones de PM<sub>10</sub>.

Los autores (Puy Alquiza , y otros, 2016 pág. 16), realizaron una investigación, donde tomaron muestras de especímenes de líquenes que fueron revisados taxonómicamente utilizando claves especializadas, teniendo en cuenta sus características vegetativas y reproductivas (observadas en el microscopio óptico Olympus BX41); y químico (líquen ácidos presentes), basado en las reacciones de los reactivos: hidróxido de potasio al 10% (K) y saturados solución de hipoclorito de calcio ©, así como combinaciones de ambos (KC). Así también los análisis de oligoelementos y metales pesados fueron realizados por ICP-MS utilizando un instrumento Thermo Serie XII. También se calculó el Factor de contaminación que es la relación obtenida al dividir la concentración promedio de elementos en las muestras y la concentración promedio de un área no contaminada ( $CF = C_s / C_c$ ). Como resultados y observaciones se identificaron cinco especies de líquenes

saxico-locus, y dos de ellas foliosas; así mismo se observó que el índice de carga de contaminación más alto se encontró en el área Suburbana (0.037), mientras que el más bajo se calculó para Urbano (0.024). Se concluyó en que hay un potencial de bioacumulación selectiva entre las comunidades de líquenes estudiadas para ciertos elementos. Las especies *Xanthoparmelia* muestran en el área urbana y suburbana la mayor capacidad de acumulación de Zn y Pb, mientras que las especies *Caloplaca* acumulan mejor Zn, Pb, V y Cu. Sp; las *Aspicilia* tiene la mayor capacidad de acumulación de Pb, Cu y Zn, con valores extremos que alcanzan los  $612,91\mu\text{g g}^{-1}$ . Estos resultados indican que *Xanthoparmelia* podría ser una especie útil para el biomonitoreo de niveles elevados de Zn y Pb y *Caloplaca* para Zn, Pb, V y Cu. *Aspicilia sp.* tolera grandes y tóxicas cantidades de Pb, lo que nos hace considerar a esta especie en particular como un buen bioindicador de la contaminación del aire por Pb.

(Silva, y otros, 2018 pág. 6) desarrollaron la investigación y emplearon el método de impactación; (Madruga, y otros, 2018 pág. 32) , este es un dispositivo de toma de muestra de partículas que se transportan en el aire donde un volumen de aire a través de una bomba es aspirado, así el aire aspirado pasa a través de un orificio donde es dirigido durante la toma de muestra de bioaerosoles a la superficie del medio de cultivo, pudiendo tratarse éste de medio agar sobre una placa Petri. (Madruga, y otros, 2018). Con un gran volumen de aire forzado a través de un equipo impactador, el aire se uniforma al filtrar los poros y el material suspendido fijado en una superficie de placa Khan y Karuppaiyl, 2012. El muestreo se realizó utilizando el muestreador M air T (Millipore ®, Merck KGaA, Alemania) y el muestreador Mas (modelo 100, Merck®, Merck KGaA, Alemania). Se creó una base de datos con los datos recopilados y procesados mediante estadística descriptiva.

Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov; (Rodó, 2020 pág. 5) esta prueba consiste en un test que se adecua a la forma de los datos y se utiliza para patentizar si dos muestras distintas siguen una distribución similar. (Madruga, y otros, 2018) . De manera que se concluyó que los hongos pueden ser sensibles a variaciones en las emisiones contaminantes; así mismo como la dispersión y concentración de hongos anemófilos sufre cambios de acuerdo con las condiciones ambientales,

pueden usarse como bioindicadores de contaminación. Por lo tanto, los hongos pueden usarse para monitorear la presencia de contaminantes y sus niveles de contaminación en la atmosfera. Debido al aumento de contaminantes en el aire, es necesario efectuar medidas de control que evalúen no solo los contaminantes sino también el ciclo de vida de los organismos fúngicos en el aire.

Según (Mohamed El-Zaidy, y otros, 2019 pág. 7), en su investigación, “Efectos del ozono sobre los orgánulos celulares de la alfalfa ( Medicago sativa L.) plántulas” describe el sistema de medición de la contaminación del aire empleado (Aeroqual Series 200 Monitor Multi Sensores), que se llevaron a cabo usando partes por mil millones (ppb) de unidades diarias desde la germinación hasta la cosecha del cultivo donde las estructuras internas de hojas y orgánulos de células madre, como los cloroplastos, vacuolas, núcleos y mitocondrias, fueron investigadas con fotografía digital utilizando un equipo TEM (JEOL JEM1011) conectado a una computadora, en el Laboratorio Central, Facultad de Ciencias, King Universidad Saud. Los resultados de esta investigación son constantes, lo que sugiere que la exposición al gas ozono conduce a la degradación de algunos componentes de la celda y las vacuolas se llenan de impurezas obvias. Así mismo en el estudio determinaron que las altas concentraciones de ozono provocan un efecto negativo en el desarrollo de la planta de alfalfa debido que la exposición al ozono conduce a: envejecimiento acelerado de la planta, desequilibrios en las funciones vitales de las células resultantes de diferentes efectos anatómicos, como la fragmentación de la pared celular e irregularidad de la cromatina del núcleo. Por último, concluye en que las altas concentraciones de gas ozono también afectan a los cloroplastos en las células vegetales, dañando así su contenido total de clorofila; esto conduce a una disminución en la tasa de fotosíntesis, lo que a su vez disminuye el rendimiento.

Según (Dayanna, 2020 págs. 18-35) es muy preocupante el tema de contaminación atmosférica sobre todo en áreas urbanas ya que trae consecuencias en la salud, en lo que surgió una alternativa de monitoreo con líquenes y musgos, ya que al depender de los nutrientes en ese espacio están expuestos a contaminantes presentes en dicha área. Estos organismos juegan un rol muy importante ya que en un futuro dicha información puede ser utilizada como línea base para

investigaciones. La base metodológica de esta investigación fue analítica y descriptiva donde se consideraron 20 artículos científicos, se analizó y verifico los resultados positivos y negativos en un cuadro comparativo, donde se considera que el empleo de líquenes y musgos como bioindicadores atmosféricos es una metodología viable e menos costosa, algunos resultados de los artículos considerados (Vargas, 2016 pág. 46) comprobaron que los líquenes epifitos se ven afectados directamente por NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> y además indicaron especies más sensibles y tolerantes a la contaminación; así mismo en la investigación “ Estudio comparativo de la presencia de metales pesados utilizando líquenes epifitos corticolas en la ciudad de Talca, Chile”, determinaron a través de una comparación de muestras en los años 1999 y 2018 que las concentraciones de Cu, Cr, Fe, Pb y Zn presentaron alteraciones muy notorias y que la especie mas eficaz para estudios de contaminación por metales pesados es la especie fruticosa. Se verifico con las 20 bases en su mayoría se obtuvo resultados positivos que resaltan la importancia de los líquenes (*cup lichen*) y musgos (*Bryophyta sp*) como bioindicadores para el control de la calidad de aire.

Los autores (Quijano Abril, y otros pág. 10) en su investigación indican en el área metropolitana en Medellín cuentan con una concentración alta de PM<sub>2.5</sub> en la atmosfera, motivo por el que inician estrategias para mitigar y controlar las emisiones de contaminantes, es por esto que se buscó una opción eficaz y de bajo costo que controle esos contaminantes, es ahí donde los líquenes son considerados para la vigilancia ambiental frente a la contaminación atmosférica ya que son organismos sensibles frente a la presencia de contaminantes atmosféricos. En la selección del área de estudio se realizó la selección de especies teniendo en cuenta su nivel de cobertura, donde se sugirieron incluir especies sanas y con un perímetro mínimo de 50cm, es así que se excluyeron a los arboles inclinados, pintados o que tengan corteza lisa; finalmente se conto con un total de 95 árboles para el muestreo. Asi mismo se consideró la utilización de líquenes compuesto por 10 cuadrantes de 10 x 15cm. Para el calculo del IPA se sumaron las frecuencias de las especies en total en la red de monitoreo y así también se hizo un estudio taxonómico considerando la forma, tamaño grosor y espesor y estas comparando

con especímenes de herbario previamente identificados. Finalmente los resultados fueron como especies más representativas fueron *Croton Magdalensis* Mull.Arg presentándose en 8 regiones de estudio de las 19 localidades, seguido por *Archontophoenix cunninghamiana* y *Erythrina edulis* presentes en 5 de las 19 localidades cada una. Estas corresponden a la especie arbóreo. En la composición líquénica se considero 354 individuos donde la familia más representada en el muestreo fue: *parmeliaceae*, *Physciaceae* y *Graphidaceae*. Según las características de los puntos de monitoreo la mayor parte presenta líquenes en crecimiento con forma foliosa y costrosa como genero *parmotrema* esta especie son comunes en zonas urbanas donde la contaminación mediante chimeneas es mayor y son las que soportan altas concentraciones de contaminación atmosférica. Mientras que en las zonas de actividad industrial y mayor flujo vehicular se encontró el crecimiento de fruticoso como los géneros *Usnea* y *Ramalina*, estos requieren bajos niveles de contaminación para poder desarrollarse. Es importante que se generen alternativas para realizar estudios y brindar una mejor calidad de aire a personas vulnerables y estas no sean afectadas y así mismo estas emisiones sean reducidas.

Asi mismo según esta investigación (Capitani, y otros, 2021 págs. 1-8). El material particulado en el aire es una mezcla compleja que se clasifican según su diámetro aerodinámico, la toxicidad depende de su morfología, composición química y dimensión; en este trabajo de investigación se hace uso de abejas melíferas como sensores de PM10 y PM2.5 presentes en el aire. Las abejas son un bioindicador adecuado porque durante sus actividades acumulan en la superficie de su cuerpo PM debido a la resistencia del aire y carga eléctrica en su cuerpo. Estas partículas que están adheridas a su cuerpo a través de un microscopio (microscopio electrónico de barrido acoplado con espectroscopia de rayos x) son fácilmente accesibles para una caracterización físico-química. En el presente estudio incluye un área de agricultura, una planta incineradora y una autopista, donde se determino un punto fijo de monitoreo de contaminantes atmosféricos PM10 y PM2.5. Se colocaron colmenas en los puntos de estudio determinado rodeadas de cultivos a 4km de la ciudad, 400m de la incineradora y a 100m de la autopista. Las especies

de plantas silvestres son ( *taraxacum cynal*, *prunus spinosa* y *Brassicaceae*) y en cultivos ( maíz, alfalfa y colza). Se recolectaron 5 abejas mensualmente, estas se colocaban en valdes con tapa de vidrio y con hielo para mantenerlas inactivas para su muestreo. Se observó que el material particulado se acumulaba en las alas anteriores, el plano medial de la cabeza y la parte interna de las patas traseras. Los resultados evidenciaban la presencia de material particulado respirable e inhalable (es decir polvo que puede pasar las vías respiratorias y más allá de la laringe respectivamente). Las abejas analizadas estaban contaminadas con PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> las que contenían minerales arcillosos, cuarzo, calcita, Fe, hierro metálico, óxidos y aleaciones de Fe y barita. Donde se concluye que las personas que viven alrededores de las áreas de estudio están expuestas a PM emitidos por vehículos, actividades agrícolas e incineración de desechos.

En la investigación (F. Azzasy, 2020 págs. 1-17) el objetivo de este estudio fue de comparar e investigar plantas que crecen en áreas residenciales e industriales en la ciudad de Sadat, Egipto; estudiar como bioindicadores de contaminación la especie *B. Glabra* para demostrar la presencia de contaminación y sus efectos en la salud de los ecosistemas. La *B. Glabra* familia de *Nyctaginaceae* es una de las plantas que son cultivadas en jardines son plantas como arbustos o trepadora se uso esta especie como bioindicador de fenólicos, metales y flavoides y evaluar su acumulación. Estas se estudiaron morfológicamente, se tomaron las hojas de las plantas de la misma edad, con un follaje uniforme; así también se descartó las hojas con infestaciones de insectos, melaza o excrementos. Dichas hojas se secaron a temperatura ambiente durante 48hr y luego en un mortero fueron trituradas hasta obtener un polvo fino, a continuación, se mezclaron con metanol y se colocó en un agitador durante 16h, el filtrado se recogió. En general las hojas recogidas en la zona industrial eran hojas descoloridas, arrugadas, polvorientas a comparación de sus contrapartes que crecen en zonas residenciales, tenían bordes lisos, sin arrugas y bordes normales. Los resultados de la concentración de contaminantes en comparación de las hojas de *B. Glabra* industriales y residenciales fueron hierro (494 vs 0ppm), zinc (445 + 2,45 vs 33,28 + 2,41), Pb (0,0066 + 0,001 a 0ppm), Ni (74,11+ 0,10 vs 53,31+ 1,7 ppm) y Mn ( 452,47v+ 3,9 vs 211 + 6,3 ppm)

significativamente las diferencias de la presencia de contaminantes. De este modo se revela las marcadas diferencias morfológicas y productividad de las plantas frente a la presencia de polvo en la superficie de sus hojas la cual también afecta en su síntesis de clorofila, estas características se pueden utilizar como bioindicadores del estado atmosférico y ambiental de dicha área; así también se concluyó que el uso de *B. Glabra* como un bioindicador y hasta para la fitorremediación.

Según los autores (Yushin, y otros, 2020 págs. 1-10), el 2020 el planeta atravesó una pandemia por COVID-19 donde se optaron por medidas en muchos países para frenar el contagio como resultado hubo un impacto sobre el medio ambiente donde las concentraciones de CO, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> disminuyeron significativamente en algunas regiones del mundo. Por el cual el objetivo de este estudio es averiguar si se puede usar como herramienta al musgo para evaluar el impacto de las restricciones, evaluar la calidad del aire y comparar con datos recolectados años anteriores en los mismos lugares de monitoreo. En el 2019 se recogió la corteza del musgo *Pleurosium shreberi*. Los puntos de recolección fueron lugares donde había mayor concentración de metales en 2019. Los resultados comparativos de este estudio de biomonitoreo fueron: que en la región de Moscú en 2019 y 2020 el muestreo ha demostrado que el musgo *Pleurosium shreberi* es un bioindicador adecuado y de bajo costo en metales ; en el periodo de COVID-19 se observó una disminución de concentración de Cd ( 3.06 vs 1.85), Pb (3.28 vs 2.96), mientras que en el noreste de Moscú la concentración de otros elementos se mantuvo igual o incluso aumento debido a la disminución del tránsito de vehículos, y así también las fuentes estacionarias se consideran fuente de emisión de metales en la atmosfera como Cu ( 1,61 vs 1.49), Cr ( 1,39 vs 1,58), Fe (1,74 vs 1,48).

La investigación según (Jovan, y otros, 2017 págs. 1-9) últimamente el uso de bioindicadores ha tenido buenas respuestas por tal motivo para este trabajo de investigación se diseñaron estudios con múltiples especies, con el objetivo de la utilización de musgos o líquenes como bioindicadores para monitoreos de calidad de aire. Se eligieron 5 tipos de especies para el monitoreo: *Evernia Mesomorpha*, *Flavoparmelia Carepata*, *Parmelia Sulcata Taylor*, *Physcia aipolia* y *Punctelia*

*Rudecta*. Se recolectaron las especies con estricto cuidado y siguiendo el protocolo para evitar la contaminación, las cuales se manipularon en campo y laboratorio, los valores estudiados se compararon con los BDL (Valores por debajo del límite de detección), se midieron las concentraciones de Cd como material particulado PM2.5 y Cadmio PM10. Se concluyó que las especies *Flavoparmelia Carepata* y *Physcia aipolia* fueron las 2 especies mas importantes por su éxito en la identificación; mientras que *Evernia Mesomorpha* es una especie con alta sensibilidad frente a la contaminación lo cual limita su empleo, así mismo *Parmelia Sulcata Taylor* y *Punctelia Rudecta* fueron poco útiles por su difícil identificación por el personal de recolección.

Según los autores (Evik, y otros, 2019 págs. 1-10) los metales pesados son elementos que se acumulan y son muy tóxicos así sean en concentraciones muy bajas, ciertos metales suelen ser necesarios como Mn, Zn, Cr, Cu, Fe y Ni pero si se concentran en niveles mas altos llegan a ser perjudiciales. Se sabe que se utilizan como bioindicadores muchas especies de plantas para controlar y medir las concentraciones de contaminantes como la de metales pesados. Se determinó para esta investigación un área de estudio que pasa por una carretera de 4 carriles donde el flujo vehicular es muy alto durante el día y disminuye durante la noche. En esta área de estudio se tomaron muestras de especies de ciruela cereza (*Prunus ceracifera*), castaño de indias (*Aesculus Hippocastanum*), tilia ( *Tilia tomentosa*), fresno europeo ( *Fraxinus Excelsior*) y arce de noruega ( *Acer Platanoides*), donde se recogieron hojas, semillas y ramas, estas se trituraron para después ser analizados e interpretados. Donde se determinó que la concentración de Cr aumento de acuerdo a la densidad del tráfico, ya que en las zonas sin tráfico y las áreas con tráfico los valores varían con 548.5 ppb aumento hasta 3538.4 ppb respectivamente. En cuanto al Pb se examinó en cuanto a la densidad, durante el análisis no se tuvieron concentraciones significativas en las semillas de ciruela cereza y fresno o europeo manifestando un nivel de confianza mucho menor del 95% a diferencia de las demás especies; como resultado se tuvieron valores de 39.6 ppb que se obtuvo de las semillas de castaño siendo el valor más bajo que correspondían al área sin tráfico, mientras que en las áreas con tráfico denso los

valores son más altos que se encontraron en las semillas de castaño de indias con una diferencia de 19.7 veces más . Por último, se examinó la concentración de Cu donde los valores dependían de la densidad del tránsito; obteniendo concentraciones de Cu en las áreas sin tránsito de 0.3 ppm obtenidas de las semillas de castaño de indias mientras que en las áreas con tránsito la concentración fue de 286.5 ppm, valores obtenidos de las semillas de tilia.

Según los autores (Tabors, y otros, 2017 págs. 1-9) haciendo uso de *Pleurozium Schreberi* musgo en Letonia se realizó el biomonitoreo para medir las concentraciones de metales pesados (Cd, Cr, Fe, Pb, V, Zn) y nitrógeno, emisiones generadas debido al transporte fronterizo y algunas fuentes metalúrgicas en la ciudad. Las muestras de musgo se secaron a temperatura ambiente y después se limpiaron de desechos de coníferas, usando solo partes verdes para el análisis y después comparar con valores de monitoreos realizados años pasados dando como resultados que indican que las concentraciones de metales pesados han disminuido más para el Pb (89%), V (85%), Cr (78%) ,Fe ( 71%) , Cd (69%) y Ni (66%) seguidos del Zn (21%) y Cu (14%), hay factores que afectan en la concentración de estos metales como el polvo que es arrastrado por el viento y es transportado largas distancias. En cuanto a la disminución del zinc y vanadio se explica ya que en el transcurso de los años fueron cambiando muchas centrales térmicas por productos derivados del petróleo o biocombustible que tienen menos impacto con el medio ambiente mientras que la concentración de Pb, Zn, Cr, Ni, Cu y Cd es más alta en el periodo de frío ya que las operaciones de las industrias son más intensas. Los resultados de este monitoreo utilizando *Pleurozium Schreberi* demuestran su eficiencia como bioindicador y sirve como control de cambios de la calidad del aire, así mismo permite determinar algunos cambios temporales.

Según, (Ghirardi, y otros, 2016 págs. 165-173) los líquenes y claveles son vegetales usados como bioindicadores ambientales para el monitoreo de calidad del aire, en este caso el objetivo del trabajo mencionado fue analizar la presencia de metales pesados en líquenes y claveles en la ciudad de Santa Fe. Se sabe de la existencia de un principio ecológico que señala que cualquier ser vivo, organismo o comunidad es reflejo del sitio donde crece y se desarrolla. Los líquenes del género *Parmelia*

*Caperata* son más longevos y sobreviven mejor a lugares con alto grado de contaminación; por ello proporciona información de lugares crónicos como la presencia de gases fitotóxicos, amoníaco, polvo alcalino, fluoruros, metales, metales, radioactivos, hidrocarburos clorados. y no de variaciones leves o puntuales del medio ambiente. Por otro lado, los claveles del aire del género *Tillandsia* son utilizados como bioindicadores ya que su composición y su estado fisiológico muestran la presencia de gases y metales pesados. Se escogieron tres zonas verdes en el centro de la ciudad de Santa Fe como unidades de muestreo y dos zonas suburbanas como sitios de control. Se recolectaron líquenes y claveles (23 muestras, 12 líquenes y 11 claveles) las muestras posteriormente fueron puestas en bolsas herméticas para su posterior análisis químico. Las muestras fueron estudiadas de acuerdo a las indicaciones de la norma EPA 20.3 para tejidos biológicos. Según los resultados tanto para los claveles como los líquenes la concentración de metales pesado en el centro de la ciudad es mayor que las zonas suburbanas. La concentración natural de Fe en claveles del aire varía entre 360-1900  $\mu\text{g/g}$  y según los estudios en las zonas de elevado flujo vehicular fue mayor a los 2500  $\mu\text{g/g}$  y por el contrario en las zonas de control fue de 100  $\mu\text{g/g}$ . Por otro lado, la concentración del Zn también varía de acuerdo a la contaminación de las zonas, donde los sitios de control poseen niveles menores de concentración de metales pesados que los lugares densamente urbanizados. Teniendo en cuenta que niveles altos de concentración de metales pesados en el medio ambiente a comparación de lo natural pueden ser perjudiciales para la salud por ello; es importante realizar monitoreos en zonas con alto flujo vehicular.

Según (Quintero, 2020), la contaminación atmosférica representa una amenaza para la salud de las personas en especial en zonas urbanas y de alta concentración vehicular que generan emisiones de vapor contaminante y material particulado (que es emitido principalmente por la combustión de hidrocarburos). El material particulado perjudica la salud ya que estas pequeñas partículas pueden llegar a los pulmones e incluso al torrente sanguíneo afectando al corazón, por otro lado también puede afectar a los ecosistemas siendo los más crítico la acidificación de lagos, daños en bosques, lluvias ácidas. En Colombia no se encuentran estudios

que relacionen la presencia de material particulado en relación a las abejas *Apis mellifera* como bioindicador de calidad del aire, aunque estudios han evidenciado importantes hallazgos respecto a este tema. Por esta razón es importante estudiar alternativas que ofrezcan información y aportes significativos que permitan explorar más respecto a la problemática del material particulado teniendo en cuenta su afección directa sobre la salud de los seres vivos y ecosistemas. La base metodológica de esta investigación fue analítica y descriptiva donde se consideraron artículos científicos los cuales fueron seleccionados por una rúbrica de evaluación con el método PRISMA ya que el propósito principal es seleccionar artículos científicos coherentes con los objetivos de la investigación y que conserven altos criterios de calidad. En conclusión, según los artículos seleccionados las abejas ***Apis mellifera*** son una alternativa de vigilancia de la calidad del aire ya que estas tiene la capacidad de recoger partículas en su cuerpo como en las alas delanteras, plano medio de la cabeza y la superficie interior de las patas traseras y esto se puede manifestar de tres formas: muerte súbita, presencia de moléculas tóxicas en su cuerpo o en sus productos ( polen, propóleo, miel) y modificaciones anormales en la morfología de su cuerpo pero para considerarla como bioindicador se debe cumplir al menos dos de las variables y podremos indicar que hay un fenómeno relacionado. Para definir que existe contaminación por material particulado se debe determinar los umbrales de contaminación de ecosistemas similares y donde no haya contaminación y luego a partir del hallazgo de contaminante por encima o por debajo de los umbrales será posible afirmar si hay o no contaminación por material particulado.

Segun (Nathalie Gonzales Vargas, y otros, 2016) las ciudades son puntos de concentraciones de humanos, actividades y materiales exhibiendo altos niveles de concentración con grandes niveles de impacto ambiental. Así mismo para la medición de la calidad del aire existen métodos fisicoquímicos y también existen bioindicadores que son métodos más económicos, rápidos y eficientes. Este estudio se realizó en la ciudad de Cochabamba-Bolivia en el municipio del cercado de la ciudad en la cual se utilizan líquenes epifitos como bioindicadores usando el método de índice de pureza atmosférica (IPA). El estudio se realizó en nueve puntos de

monitoreo, y se toma como único forófito la especie *Fraxinuns Americana* en la que se hallaron 12 especies de líquenes en total. Se obtuvieron datos paramétricos climáticos, frecuencia de las comunidades liquénicas, cobertura y contaminantes atmosférico para cada uno de los nueve puntos de monitoreo; luego se sometieron a estudios estadísticos de correlación como el Spearman, Cluster, Clasificación y análisis de senderos en las cuales se llegó a la conclusión que los líquenes epífitos se ven afectados de forma directa por la contaminación atmosférica principalmente por NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> e indirectamente por parámetros geomorfológicos y/o climáticos. A través del el IPA se identificaron zonas de isocontaminación, usando el programa ArcGis en la cual zonas con mala calidad de aire esta ubicadas en la zona sur y por lo contrario zonas de buena calidad de aire están en la zona norte. Se hallaron como especies más tolerantes a la contaminación *C. concolor*, *P. pachyphylla*, *P. nubila* y por otro lado las más sensibles como la *H. syncolla* y *T. chrysophthalmus*. Así mismo a través de la zonificación se establecieron cuatro zonas que se diferencian por la geomorfología, temperatura mínima del mes más frío y precipitaciones. El clima es un factor importante que influye directamente a la condición atmosférica y así mismo se logró comprobar que los líquenes se ven afectados por los contaminantes atmosféricos ya que la distribución de estas cambia de acuerdo a las concentraciones de contaminantes específicos. Por otro lado, según los estudios estadísticos se establece que los líquenes son tolerantes al O<sub>3</sub>, mientras que tienen una reacción negativa a las altas concentraciones de NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub>. Finalmente, a través del IPA se determina que los líquenes son una herramienta efectiva para medir la calidad integral del aire ya que son afectadas directamente por la contaminación ya que esta afecta su distribución.

Según (Jana Zítková, y otros, 2021) en este estudio se analizaron las concentraciones de metales hallados en la atmosfera de la ciudad Guanajuato para ello se usaron especies de líquenes saxicolos (*Xanthoparmelia mexicana* (Gyeln.) Hale , *Xanthoparmelia tasmanica* (Hook. f. & Taylor) Hale , *Caloplaca aff.brouardii* (B.deLesd.) Zahlbr , *Caloplaca aff.ludificans* Arup , y *Aspiciliasp*) que fueron recolectadas en tres zonas y luego estudiadas usando la técnica de espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente. En esta técnica se

calculan las concentraciones de los metales con el fin de utilizar los líquenes como bioindicadores de calidad del aire. La ciudad de Guanajuato está ubicada a 2000 msnm. La principal actividad que se desarrolla es la minería y las temperaturas varían entre 6 a 20°C en invierno y de 21 a 32°C en verano. Este sitio fue seleccionado principalmente por las actividades antrópicas como la minería, flujo vehicular y trituradora de piedras. Se colectaron específicamente líquenes en tres zonas (urbanas, suburbanas y rurales). Se tomaron tres muestras en las tres zonas mencionadas luego se tomaron muestras de líquenes y sus sustratos de rocas no contaminadas en la zona rural y también se tomaron otras muestras de rocas contaminadas por actividad antrópica en las zonas urbanas y suburbanas. Finalmente, los resultados muestran que el estudio de metales en los líquenes Saxicolos (*Xanthoparmelia mexicana* (Gyeln.) Hale, *Xanthoparmelia tasmanica* (Hook. f. & Taylor) Hale, *Caloplaca aff. brouardii* (B.deLesd.) Zahlbr, *Caloplaca aff. ludificans* Arup y *Aspicilia* sp.) se obtuvo la distribución en las tres zonas estudiadas. Se observó según las muestras de líquenes que en las zonas urbana y suburbana la concentración de metales tales como Pb, Zn, Cu y V son elevadas por encima de los valores máximos. Metales como Zn, Cr, V muestran las concentraciones más altas en las zonas rurales, así mismo el Pb y Cu exhiben los contenidos más altos en los líquenes en las zonas urbanas y suburbanas. Según estos resultados una muestra natural como la roca puede ser una fuente de control de las concentraciones presentes en los líquenes dentro del área primigenia. Por otro lado, en la ciudad de Guanajuato la quema de combustibles fósiles y la actividad minera son fuentes gravitantes de emisión antropogénica de Cu y Pb, además la especie *Xanthoparmelia* sería una especie de líquen útil para el monitoreo de Zn y Pb y *Caloplaca* para Zn, Pb, V y Cu

## **Marco conceptual**

**Indicador ambiental.** Es un parámetro o valor procedente de parámetros generales, que ofrece información de un ambiente determinado como las relaciones ecológicas, socio-económicas y culturales. Así mismo son considerados como variables que muestran la presencia o condición de un fenómeno que no puede ser medido directamente. Por ejemplo, para valorar el estado de calidad del aire, puede observarse la presencia o ausencia de determinados líquenes. (Fraume Restrepo, 2007 pág. 253)

**Los bioindicadores.** Son especies o comunidades de organismos cuya sensibilidad, comportamiento o estado fisiológico muestra una estrecha reciprocidad con determinadas circunstancias del entorno donde se desarrolla, por lo que pueden utilizarse como indicadores de éstas. Los líquenes son especies más utilizadas como bioindicadores de la contaminación atmosférica ya que numerosas especies de líquenes muestran efectos frente a la presencia de contaminación, mientras que otros líquenes pueden no verse afectados. La disminución de comunidades de líquenes y efectos en su composición indica un aumento de la contaminación atmosférica. (Fraume Restrepo, 2007 pág. 71)

**Los líquenes** son organismos simbióticos, que normalmente corresponde a un alga verde o a una cianobacteria. (LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE, 2017). Las distintas especies de líquenes se catalogan en base a la identidad taxonómica del hongo, que es el componente que predomina en el líquen al menos en lo que se refiere a biomasa del organismo. Pueden reproducirse o bien de forma sexual (mediante apotecios, los cuales producen esporas), o de forma asexual. (Defior, 2017 pág. 263).

**La contaminación** puede definirse como cualquier modificación o alteración no deseada en el ambiente, ocasionada por la presencia de agentes físicos, químicos o biológicos (contaminantes) en cantidades superiores a las naturales o superiores a los estándares de calidad ambiental (ECA), que resulta perjudicial para la salud de los seres vivos, daña los recursos naturales o altera la estabilidad ecológica. (Dr. Manuel Romero Placeres, 2006 pág. 14)

**La contaminación del aire** es una alteración de los niveles de calidad y pureza del aire debido a emisiones naturales o de actividades antropogénicas que generan sustancias biológicas y químicas. (Línea Terapéutica de la ANMM, 2015). La contaminación del aire es la consecuencia de la mezcla compleja de contaminantes presentes en la atmósfera que provienen de fuentes antrópicas (tráfico automovilístico, transportes aéreos o marítimos, producción de energía, industrias, fábricas de incineración, calefacción doméstica, agricultura) y de fuentes naturales; estos se clasifican en contaminantes en partículas y contaminantes gaseosos. (Semjen, 2020)

**Biotipos de líquenes:** Los líquenes cuentan con una extensa variedad anatómica, clasificados en especies o también llamadas formas de desarrollo: Foliosos: Sus bordes son extensos y lobulados, tienen forma de hoja y se encuentran pegados al sustrato de manera parcial (Mateus, y otros, 2019 pág. 27); Fruticosos o fruticulosos: Poseen forma de arbustillos, ramificados, erectos y colgantes, están poco adjuntos al sustrato, dependen de la humedad relativa del aire para su hidratación y su tamaño puede ser muy variado (Barreno Rodríguez & Pérez Ortega, 2003); Costrosos o crustáceos: Están reciamente adheridos al sustrato por medio de su zona inferior y en la mayoría de su superficie; Escamulosos: Son los más especializados de los costrosos y reúnen el paso hacia los foliosos; tienen forma de escamas o ampollas y tienden a apartarse del sustrato en los bordes. (Mateus, y otros, 2019 pág. 27).

**Material particulado (PM)** El material particulado presente en el aire está compuesto de partículas sólidas y líquidas, que están suspendidas y dispersas en la atmósfera. Se han catalogado en términos de diámetro aerodinámico, porque tienden a presentar diferente tamaño y forma, por ello, se estructuran en finas y gruesas. Las partículas finas tienen un diámetro menor o igual a  $2,5 \mu\text{m}$ , PM<sub>2,5</sub> y las partículas cuyo diámetro se centra alrededor de las  $10 \mu\text{m}$ , PM<sub>10</sub>, se las designa gruesas. (Bayas Guerrero, 2017 pág. 57)

**NO<sub>2</sub>.** El dióxido de nitrógeno es uno de los contaminantes y se forma como subproducto en todas las combustiones que se realizan a altas temperaturas.

Consiste de una sustancia de color amarillento, que se forma en los procesos de combustión de vehículos motorizados y las plantas eléctricas. Es un gas tóxico, irritante y antecesor de la formación de partículas de nitrato, que conllevan la producción de ácidos y elevados niveles de PM<sub>2,5</sub> en el ambiente. Tienden a tener una buena solubilidad en agua, reaccionando y formando ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) según la siguiente reacción:  $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{NO}$  (PRTR-Registro Estatal d Emisiones y Fuentes Contaminantes, 2020)

**CO<sub>2</sub>** tiene características específicas que lo diferencian de los demás contaminantes. Se trata de un compuesto incoloro e inodoro que no afecta directa e inmediatamente la salud de las personas, pero que a mediano y largo plazo provoca múltiples impactos indirectos sobre la salud y otros efectos negativos como un cambio en el clima a nivel global reflejado a largo plazo. (Temkin Yedwab, y otros, 2018 pág. 15)

**Cu:** Se emplea como alguicida o microbicida en forma de sulfato de cobre en la crianza de peces, en el tratamiento de la contaminación por fitoplancton en aguas eutrofizadas y, en general, como producto quimioterápico en el control de bacterias, protozoos y hongos. (Heredia, 2017 pág. 14)

**Fe:** Es utilizado en industrias del hierro y el acero. En medicina se utiliza en forma de fumarato ferroso como hematínico. (Heredia, 2017 pág. 14)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación**

Según (Lozada, 2014 pág. 34) la investigación aplicada nos ayuda a la búsqueda de la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo, basada fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto.

La presente investigación es de tipo aplicada debido a que pretende mostrar y entender la metodología y resultados de investigaciones científicas ya realizadas en donde en conjunto todas ellas buscan respuestas a un problema en común, de las cuales se investiga con hechos reales y resultados finales.

#### **3.2. Diseño de investigación**

Para (Hernandez, y otros, 2017 pág. 520), los diseños narrativos procuran entender la sucesión de hechos, situaciones, fenómenos, procesos y eventos donde implican pensamientos, sentimientos, emociones e interacciones, a través de las experiencias vividas.

La presente investigación es de diseño narrativo, siendo una investigación cualitativa nos ayudó a comprender, analizar y sintetizar información sobre el tema que se está investigando, además de llegar a una conclusión del análisis general y compartir esta información con los investigadores.

### **3.3. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización**

**PG:** ¿Cómo influye los Bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos?

**OG:** Evaluar si los bioindicadores identifican la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos.

**Tabla 1: Matriz de Categorización Apriorística**

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Problemas específicos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>
Describir los tipos de bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos.	¿Cuáles fueron los tipos de bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos?	Tipos de bioindicadores	- Bioindicadores - Clasificación	De acuerdo a la naturaleza del lugar	De acuerdo a la naturaleza del bioindicador	De acuerdo a la naturaleza del contaminante
Describir los cambios que mostraron los bioindicadores ante la presencia de PM, NOX,	¿Qué cambios mostraron los bioindicadores ante la presencia de PM, NOX, CO2,	Cambios	-Características físicas -Características químicas	De acuerdo a la sensibilidad del Bioindicador	De acuerdo al contaminante de exposición	De acuerdo a la fisiología afectada

CO2, Fe y Cu atmosféricos.	Fe y Cu atmosféricos?					
Describir el tipo de bioindicador que es más efectivo en determinar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos.	¿Qué tipo de bioindicador es más efectivo en determinar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos?	Efectividad	-Captación -Cantidad	De acuerdo de la actividad de contami Nación	De acuerdo al tiempo de exposición	De acuerdo al método de muestreo

Fuente: Elaboración propia

### **3.4. Escenario de estudio**

El escenario de estudio para (Hernandez, y otros, 2017 pág. 400), son los lugares específicos de donde se recolectarán los datos y validar si la muestra o unidades se mantienen. Esta labor, no es secuencial, sino que va ocurriendo a medida que se recolectan los datos, además del análisis que ya se iniciaron.

La presente investigación estudió múltiples artículos científicos además de documentos relacionados al tema de bioindicadores de la calidad atmosférica para los cuales se desarrollaron muestreos in situ para determinar la calidad del aire en múltiples escenarios de estudios para después interpretar los resultados.

### **3.5. Participantes**

En esta investigación se procedió a la indagación extensa de documentos ya sea en español como en inglés, tales como artículos de revistas, libros, capítulos de libros, artículos científicos, para realizar la búsqueda en bases de datos académicas como: Science Direct, Google Academic, Scopus, Web of Science y Scielo.

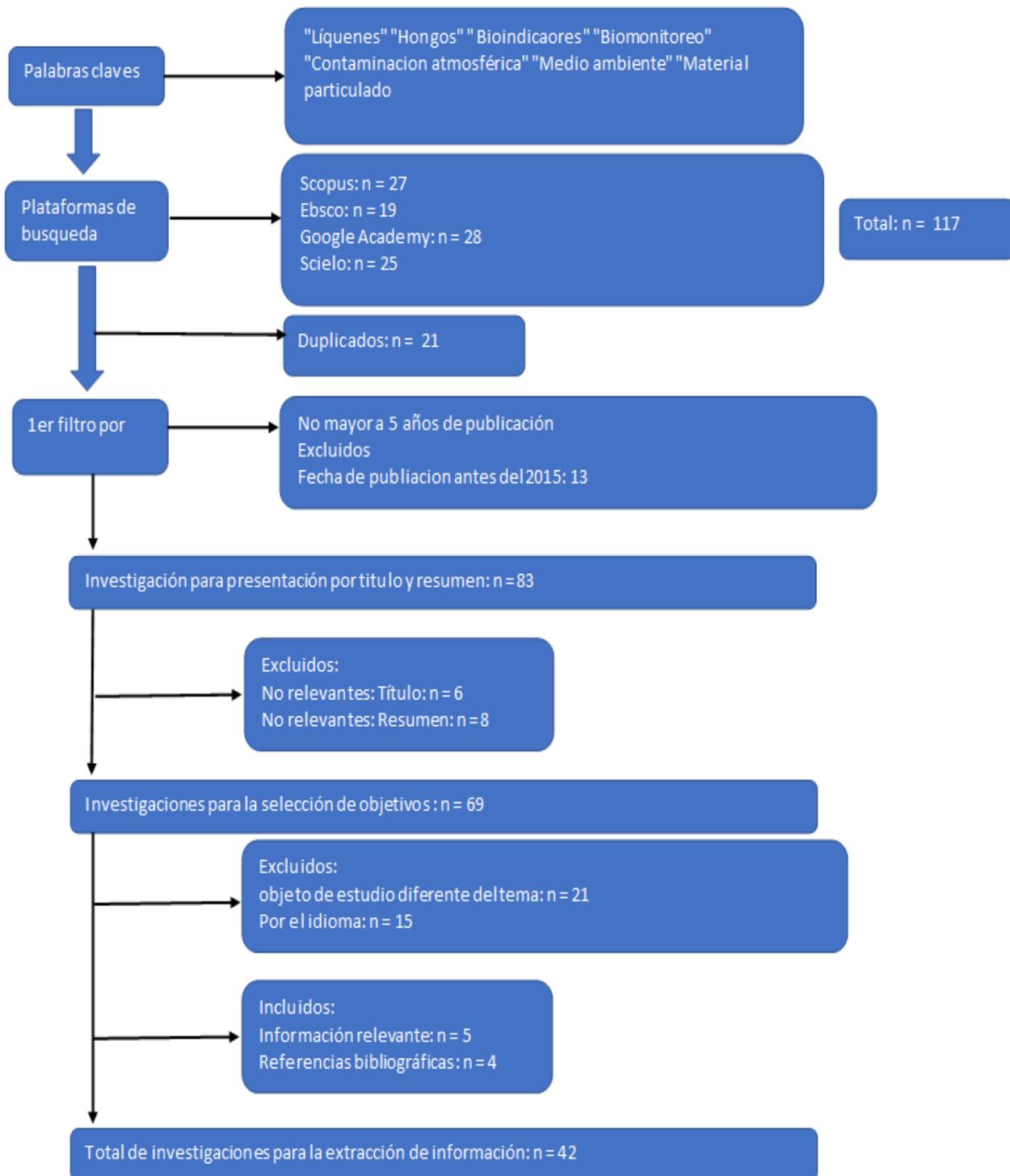
### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Según (Hernandez, y otros, 2017 pág. 429), la recolección de datos es fundamental, solamente que su objetivo no es medir variables para llevar a cabo inferencias y análisis estadístico, sino para un estudio cualitativo es obtener datos (que se convertirán en información) de personas, seres vivos, comunidades, situaciones o procesos en profundidad.

Para los cuales se utilizó la técnica de recolección de datos ya que se realizó una exhaustiva y completa revisión de las metodologías, elaborando un plan detallado de procedimientos con el objetivo de identificar todas investigaciones publicadas sobre los bioindicadores de contaminación atmosférica.

Para la búsqueda de artículos se consideró palabras claves en la búsqueda en las páginas académicas como Science Direct, Web of Science, Scopus, Scielo y Ebsco; considerando también un filtro de antigüedad de estos artículos no mayor a 5 años y deben de ser de carácter científico y contar con acceso a la información. Una vez recopilado los artículos se fueron descartando ya sea por duplicado o que no cumplía con la información necesaria para la investigación, finalmente se trabajó con 42 artículos científicos u otros documentos de referencia bibliográfica.

Ilustración 1: Diagrama de bloques del proceso de búsqueda y selección de documentos



Fuente: Elaboración Propia

### **3.7. Procedimiento**

Para el análisis de información de revistas indexadas, artículos científicos y libros se consideró la búsqueda de información en plataformas académicas como Web of Science, Scielo y Google School, considerando la información además una antigüedad no mayor a 5 años, las investigaciones deben pertenecer a revistas indexadas, deben ser de carácter científico y aplicados, además, se debe tener acceso al documento completo.

### **3.8. Rigor científico**

Para el presente trabajo referido al análisis de la revisión sistemática, se vienen trabajado ampliamente este método, es por ello que la presente investigación tiene rigor científico.

#### **3.8.1. Dependencia**

Se aplicó este criterio para el presente trabajo debido a que se elaboró a partir de la recopilación y análisis de varios estudios, investigaciones, informes y demás información de distintos investigadores logrando una interpretación congruente de la información recopilada.

#### **3.8.2. Credibilidad**

Se aplicó este criterio para el presente trabajo a causa del análisis de los resultados de las distintas informaciones recopiladas, evitando que las creencias y opiniones influyan en la interpretación de los datos y considerando valiosos dicha información.

### 3.8.3. Transferibilidad

La presente investigación aplicó el criterio de transferibilidad porque los resultados finales darán una idea general sobre los bioindicadores de contaminación atmosféricas, también contribuye a un mayor conocimiento en este tema.

### 3.9. Método de análisis de datos

**Tabla 2:** Matriz de Análisis de Datos

<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>
Tipos de bioindicadores	-Bioindicadores -Clasificación	De acuerdo a la naturaleza del lugar	De acuerdo a la naturaleza del Bioindicador	De acuerdo a la naturaleza del contaminante
Cambios	-Características físicas -Características químicas	De acuerdo a la sensibilidad del Bioindicador	De acuerdo al contaminante de exposición	De acuerdo a la fisiología afectada
Efectividad	-Captación -Cantidad	De acuerdo de la actividad de contaminación	De acuerdo al tiempo de exposición	De acuerdo al método de muestreo

Fuente: Elaboración Propia

### **3.10. Aspectos éticos**

La universidad Cesar Vallejo cuenta con lineamientos de código de ética, por lo cual para la elaboración del presente trabajo de investigación se procedió al cumplimiento de éstos, además se hizo pleno uso y respeto a los lineamientos establecidos en la ISO 690:2010, haciendo uso de sus directrices para la redacción de las citas y referencias bibliográficas como parte del recurso de la información.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Tabla 3 Descripción de Bioindicadores en la identificación de contaminantes atmosféricos**

BIOINDICADOR	TIPO DE CONTAMINANTE	AUTOR
Líquenes <i>Flavopunctelia flaventior</i> <i>Candelaria concolor</i> <i>Candelaria fibrosa</i>	NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub>	(Gonzales Vargas, y otros, 2016)
Líquenes <i>Xanthoparmelia</i> <i>Caloplaca</i> <i>Sp. Aspilicia</i>	Zn, Pb Zn, Pb, V y Cu Pb, Cu y Zn	(Puy Alquiza , y otros, 2016)
Hongos anemófilos	PM <sub>10</sub> , CO Y O <sub>3</sub>	(Silva, y otros, 2018)
Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.)	O <sub>3</sub>	(Mohamed El-Zaidy, y otros, 2019)
Liquenes ( <i>Cup Lichen</i> ) Musgos ( <i>Bryophyta sp</i> )	CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> y PM <sub>10</sub>	(Dayanna, 2020)
Liquenes ( <i>Croton Magdalensis</i> , <i>Archontophoenix cunninghamiana</i> , <i>Erythrina edulis</i> )	PM <sub>2.5</sub>	(Quijano Abril, y otros, 2021)

Abejas Melíferas	PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , Fe, cuarzo y barita	(Capitani, y otros, 2021)
Planta ( <i>B. Glabra</i> )	Fe, Zn, Pb, Mn, Ni	(F. Azzasy, 2020)
Musgo ( <i>Pleurosium shreberi</i> )	Cd, Pb, Cu, Cr y Fe	(Yushin, y otros, 2020)
Líquenes ( <i>Flavoparmelia Carepata</i> y <i>Physcia aipolia</i> )	Cd como PM <sub>2.5</sub> y Cd PM <sub>10</sub>	(Jovan, y otros, 2017)
Ciruela cereza ( <i>Prunus ceracifera</i> ) castaño de indias ( <i>Aesculus Hippocastanum</i> ) Tilia ( <i>Tilia tomentosa</i> ), fresno europeo ( <i>Fraxinus Excelsior</i> ) arce de noruega ( <i>Acer Platanoides</i> )	Cr,Pb y Cu	(Evik, y otros, 2019)
Musgo ( <i>Pleurozium Schreberi</i> )	Cd, Cr, Fe, Pb, V, Zn	(Tabors, y otros, 2017)
Líquenes ( <i>Parmelia Caperata</i> ) Claveles ( <i>Tillandsia</i> )	Fe, Zn	(Ghirardi, y otros, 2016)
Abejas <i>Apis mellifera</i>	PM	(Quintero, 2020)
Liquenes ( <i>Fraxinuns Americana</i> )	NO <sub>2</sub> y PM <sub>10</sub>	(Nathalie Gonzales Vargas, y otros, 2016)
Líquenes ( <i>Xanthoparmelia</i> )	Pb, Zn, Cu y V	(Jana Zitková, y otros, 2021)

Fuente: *Elaboración Propia*

Los resultados de la investigación de (Gonzales Vargas, y otros, 2016) determinaron que el vínculo de contaminantes atmosféricos con los líquenes es alto debido a la sensibilidad que tienen, además en esta investigación se consideró el IPA (Índice de Pureza Atmosférica) ya que es un índice biológico que considera varios factores en el área de estudio, se coincidió en el empleo del IPA para realizar estos estudios con (Nathalie Gonzales Vargas, y otros, 2016), en ambas investigaciones el uso de este índice fue significativo ya que considera factores como cobertura, distribución y cantidad de especies y ayuda a determinar exactamente el punto de cambio frente a la alteración de la calidad del aire. Así también coincidió en que el O<sub>3</sub> presenta una afinidad positiva en el desarrollo de los líquenes, mientras que la presencia de contaminantes como el NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> tienen efectos negativos al contacto con los líquenes.

(Puy Alquiza , y otros, 2016) para la revisión de las muestras hizo uso de equipos de laboratorio para el análisis respectivo y determinar las concentraciones de los contaminantes como Zn, Pb, V, Cu, así mismo en el estudio de (F. Azzasy, 2020) se hizo uso de otro tipo de bioindicador, pero de la misma manera una vez obtenida la muestra también se hizo uso de equipos y reactivos para determinar la concentración de estos contaminantes, coincidentemente siendo estos metales pesados.

Pero en la investigación reciente por (Yushin, y otros, 2020) también se midieron las concentraciones de metales pesados utilizando como bioindicador el musgo *Pleurosium shreberi*, los resultados comparativos en cuanto a costo son menores ya que solo es necesario contar con ciertos reactivos para reconocer e identificar el tipo de metal pesado, debido a que el tipo de especie utilizada al ser una corteza permite una mayor concentración de estos contaminantes.

En cuanto a resultados sin considerar equipos empleados como en los estudios de (Puy Alquiza , y otros, 2016) y (F. Azzasy, 2020) , y nos enfocamos en los resultados de los bioindicadores, se obtuvo buenos resultados y buenas respuestas en los estudios dados concluyendo que las características de estos bioindicadores son muy rentables para monitoreos de aire.

(Quintero, 2020) considera que es importante abarcar más el estudio de las abejas como bioindicadores para calidad del aire debido a su capacidad y recorrido que estas realizan, concordando con (Capitani, y otros, 2021) que también considera a las abejas como un indicador muy idóneo por las actividades que estas realizan y además que no hay muchos estudios sobre ello , además de ello se coincide en que estas son adecuadas para medir concentraciones de contaminantes de tipo material particulado.

Asi mismo (Quintero, 2020) para su investigación presenta datos en base a artículos científicos y estadísticos, mas no lleva una parte experimental que pueda contrastar los resultados de esos estudios; a diferencia del estudio de (Capitani, y otros, 2021) que si tiene una parte experimental y comparativa con monitoreos pasados en la cual se puede medir y analizar sus valores con otros estudios, además esos datos permanecen como una línea base para futuros estudios.

## V. CONCLUSIONES

El objetivo de esta revisión fue evaluar si el uso de los bioindicadores logra identificar la presencia de contaminantes atmosféricos. De esta manera se determina que los bioindicadores tienen la capacidad y la sensibilidad que son idóneos para la identificación, medición y control de contaminantes atmosféricos y pronosticar la calidad del aire

Respecto a los diferentes tipos de bioindicadores para el monitoreo atmosférico se determinaron variedad de estos ya sean en la especie de líquenes, musgos, insectos, plantas y hongos; cada especie siendo adecuado a diferentes tipos de contaminantes de acuerdo a su sensibilidad y morfología; como caso de las abejas estas son ideales para identificar la presencia de material particulado, y en caso de líquenes y hongos siendo más idóneos a determinar la presencia de metales pesados.

En cuanto a los cambios que se denotaron fueron cambios morfológicos, en aquellos bioindicadores como líquenes, musgos, hongos, plantas silvestres se mostro cambios en el color de sus hojas presentando una decoloración, la superficie de sus hojas y tallos, la forma de sus hojas no eran uniformes; y mientras que en las abejas y otros insectos los cambios que presentaban eran en cuanto a su morfología y casos en los que generaban su muerte.

Para concluir esta investigación pues también se tiene como objetivo determinar que bioindicador es mas efectivo para comprobar la presencia de contaminantes atmosféricos, cabe resaltar que para un tipo de contaminante hay un bioindicador que es mas adecuado de acuerdo sus características, donde se identificó a las abejas como las más idóneas para la identificación de material particulado; mientras que los líquenes presentan mejor característica morfológica para identificar la presencia de metales pesados en el aire como son las especies *Xanthoparmelia*, *Caloplaca*, *Sp. Aspilicia* y en cuanto a musgos el (*Pleurozium Schreberi*).

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se sugiere aperturar una línea de investigación de la carrera de ingeniería ambiental sobre el uso de bioindicadores como las diferentes especies de líquenes, musgos y ciertas plantas insectos, para el control de la calidad del aire ya que esta resulta más rentable, práctica y eficiente.

Se recomienda más estudios experimentales respecto a los bioindicadores ya que la contaminación ambiental avanza sin medida a pasos agigantados y los bioindicadores pueden jugar un rol importante para controlar zonas contaminadas con metales pesados como el Cu, Pb, Zn, V, Cr o la presencia de material particulado tales como: Fe, Cu, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>

Se recomienda usar animales o insectos como bioindicadores para determinar la presencia de material particulado y por otro lado el uso de líquenes, musgos, claveles de aire, plantas silvestres para determinar la presencia de metales pesados en la atmosfera.

Para un estudio de mayor envergadura se sugiere ampliar el rango de años con respecto a las fuentes de información ya que existen estudios anteriores relacionados al tema y estos podrían facilitar o ayudar a un mejor estudio.

## REFERENCIAS

*Empleo de bioindicadores para determinar la calidad del aire en la ciudad de Tarija en puntos de muestreo de red MoniCA.* **OLLER CRUZ, Oscar Javier. 2018.** 3, s.l. : Acta Nova, 2018, Vol. 8. 307/321.

**Bayas Guerrero, Andrea Karla. 2017.** “DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y MULTITEMPORAL DE MATERIAL. Riobamba : s.n., 2017.

*Bimetallic cobalt–iron diselenide nanorod modified glassy carbon electrode: an electrochemical sensing platform for the selective detection of isoniazid.* **Sundas Sultan , y otros. 2021.** s.l. : Royal Society of Chemistry, 2021.

**Capitani, Giancarlo, y otros. 2021.** *Disentangling multiple PM emission sources in the Po Valley (Italy) using honey bees.* Italia : Heliyon, 2021.

**Dayanna, Caiza Montaguano Stephanie. 2020.** “ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN CIENTÍFICA DE LIQUENES (*Cup lichen*) Y MUSGO (*Bryophyta sp*) UTILIZADOS COMO BIOINDICADORES DE CALIDAD DE AIRE. COTOPAXI : s.n., 2020.

**Defior, Clara Laguna. 2017.** *Ecofisiología y diversidad molecular de los.* Madrid : s.n., 2017.

**Dr. Manuel Romero Placeres, Lic. Francisca Diego Olite y Dra. Mireya Álvarez Toste. 2006.** *La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud.* Habana : Rev Cubana Hig Epidemiol, 2006. 1561-3003.

**Evik, S, y otros. 2019.** *CHANGES IN PB, CR AND CU CONCENTRATIONS IN SOME BIOINDICATORS DEPENDING ON TRAFFIC DENSITY ON THE BASIS OF SPECIES AND ORGANS.* Kastamonu : Ecologia Aplicada e Investigacion Ambiental, 2019.

**F. Azzasy, Mohammed. 2020.** *Plant bioindicators of pollution in Sadat City, Western Nile Delta, Egypt.* Egypt : Creative Commons, 2020.

**Fraume Restrepo, Nestor Julio. 2007.** *Diccionario Ambiental.* Bogotá : Ecoe Ediciones, 2007. 978-958-648-462-9.

**Ghirardi, y otros. 2016.** *Líquenes y claveles del aire como bioindicadores de contaminación atmosférica por metales pesados en el microcentro santafesino.* Argentina : Revista FACIBIB, 2016.

**Gonzales Vargas, Nathalie, y otros. 2016.** *Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como .* Cochabamba : Scielo, 2016. 1683-0768.

**Heredia, MsC. Dunia Rodríguez. 2017.** *Occupational poisoning due to heavy metals.* Cuba : Medisan, 2017.

**Hernandez, Roberto, Fernandez, Carlos y Baptista, Carlos. 2017.** *Metodología de la investigación*. Mexico : Mc Gram Hhill Educación, 2017. pág. 358. ISBN.

**Jana Zítková, y otros. 2021.** *Impact of road salting on Scots pine (Pinus sylvestris) and Norway spruce (Picea abies)*. República Checa : ELSEVIER, 2021.

**Jovan, Sarah, Will-Wolf, Susan y C. Amacher, Michael. 2017.** *Lichen elemental content bioindicators for air quality in upper Midwest, USA: A model for large-scale monitoring*. Estados Unidos : Elsevier, 2017. 253-263.

**línica Terapéutica de la ANMM. 2015.** *La contaminación del aire y los problemas respiratorios*. México : Revista de la Facultad de Medicina, 2015. 2448-4865.

*LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE LA CALIDAD DEL AIRE. Rueda, Irene Mares. 2017.* Madrid : s.n., 2017, Vol. VOL 21.

**Lozada, Jose. 2014.** *Investigación aplicada: Definición, propiedad intelectual e industria*. s.l. : CienciAmérica, 2014. pág. 47.

**Madrugá, David Galán, y otros. 2018.** *Metodología para la Toma de Muestra*. Madrid : Ministerio de Economía, Industria y Competitividad , 2018.

**Mateus, DUVAN CARRERO y RODRÍGUEZ GUEVARA, THALÍA GERALDYNE. 2019.** *EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE*. Villavicencio : s.n., 2019.

**Mejía, Edison Damián Cabezas. 2018.** *INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*. Sangolqui : Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018. pág. 37. ISBN:978-9942-765-44-4.

**Mohamed El-Zaidy, y otros. 2019.** *Efectos del ozono sobre los orgánulos celulares de la alfalfa ( Medicago sativa L.) plántulas*. Arabia Saudita : ScienceDirect,Saudita de Ciencias Biológicas, 2019.

**Nathalie Gonzales Vargas, y otros. 2016.** *Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como*. Cochabamba : ACTA NOVA, 2016. ISSN: 1683-0768..

**PARZYCH, Agnieszka, ZDUNCZYK, Anna y ASTEL, Aleksander. 2016.** *Epiphytic lichens as bioindicators of air pollution by heavy metals in an urban area (northern Poland)*. Northern Poland : Journal of Elementology, 2016.

**Paz, Guillermina Baena. 2017.** *Metodología de la investigación*. Mexico : Grupo editorial Patria, 2017. ISBN: 978-607-744-748-1.

**PRTR-Registro Estatal d Emisiones y Fuentes Contaminantes. 2020.** s.l. : ECHA (European CHemicals Agency), 2020.

**Puy Alquiza , Maria Jesus, y otros. 2016.** *Estudio de la Distribución de Metales Pesados en la Atmósfera* . Guanajuato : Scielo, 2016. ISSN 1405-7743.

**Quijano Abril, Mario Alberto, y otros. 2021.** *Lichens as biosensors for the evaluation of urban and sub-urban air pollution in a tropical mountain valley, Rionegro, Antioquia*. Antioquia : CEDIAec, 2021.

- Quintero, Edison Esteban Gallego. 2020.** *Abejas Apis mellifera como indicadores de material particulado en el aire.* Medellín : s.n., 2020.
- QUISPE, Katherine, ÑIQUE, Manuel y CHUQUILIN, Edilberto. 2018.** *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire en la ciudad de Tingo María, Perú.* Tingo Maria : RevIA, 2018.
- Rivera, Santiago Enrique Aldana y Cárdenas Rodríguez, Karen Julieth. 2020.** *Análisis del estado de las capacidades en gestión de la calidad del aire urbano de Bogotá y Barranquilla como insumo para el fortalecimiento de la política pública ambiental local vigente, a través del Índice CECA.* Barranquilla : s.n., 2020.
- Rodó, Paula. 2020.** Economipedia. [En línea] 05 de febrero de 2020.  
<https://economipedia.com/definiciones/prueba-de-kolmogorov-smirnov-k-s.html>.
- SALAIMAN, NORIEGA. 2018.** *Use of lichens as bioindicators for determining atmospheric heavy metal concentration in Malaysia.* s.l. : Pak. J. Bot, 2018. 421-428.
- Sampieri, Roberto Hernández. 2017.** *Metodología de la investigación.* Mexico : Mc Gram Hill Educación, 2017. pág. 358. ISBN.
- Semjen, C.Raherison. 2020.** *Contaminación atmosférica y medioambiental y patología respiratoria.* Francia : Volume 24, Issue 3, 2020.
- Silva, Dulcilena de Matos Castro e, y otros. 2018.** *Air pollution and its impact on the concentration of airborne fungi in the megacity of São Paulo, Brazil.* Brazil : Heliyon, ScienceDirect, 2018.
- Tabors, Guntis, y otros. 2017.** *Assessment of atmospheric pollution with heavy metals and nitrogen using Pleurozium schreberi mosses as bioindicator in Latvia: spatial and temporal aspects.* Letonia : Biologia Ambiental y Experimental, 2017. SSN 2255-9582.
- Temkin Yedwab, Benjamín, Ávila Forcada, Sara y Martínez Guerrero, Esther. 2018.** *EL IMPACTO DIFERENCIAL DE LA GLOBALIZACIÓN ECONÓMICA Y LA DEMOCRACIA.* México : Rev. Int. Contam. Ambie., 2018. DOI: 10.20937.
- TEREKHINA, Nataliia V. y UFIMTSEVA, Margarita D. 2020.** *Leaves of trees and shrubs as bioindicators of air pollution by particulate matter in Saint Petersburg.* Saint Petersburg : Geography, Environment, Sustainability, 2020. ISSN.
- VALDIVIA, Diego, RAMIREZ, Angel. 2018.** *Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú.* Ancahs : The ecologist, 2018. ISSN.
- Vargas, Perez y Navarro. 2016.** *Aplicabilidad de líquenes bioindicadores como herramienta de monitoreo de calidad del aire en la ciudad de Cochabamba.* Cochabamba : s.n., 2016.
- Yushin, Nikita, y otros. 2020.** *Mosses as Bioindicators of Heavy Metal Air Pollution in the Lockdown Period Adopted to Cope with the COVID-19 Pandemic.* Moscú : Atmósfera, 2020. 1194.

## ANEXO

**ANEXO 1: Matriz de Operacionalización de Variables**

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Problemas específicos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Criterio 1</b>	<b>Criterio 2</b>	<b>Criterio 3</b>
Describir los tipos de bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos.	¿Cuáles fueron los tipos de bioindicadores para identificar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos?	Tipos de bioindicadores	- Bioindicadores - Clasificación	De acuerdo a la naturaleza del lugar	De acuerdo a la naturaleza del bioindicador	De acuerdo a la naturaleza del contaminante
Describir los cambios que mostraron los bioindicadores ante la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos.	¿Qué cambios mostraron los bioindicadores ante la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos?	Cambios	-Características físicas -Características químicas	De acuerdo a la sensibilidad del Bioindicador	De acuerdo al contaminante de exposición	De acuerdo a la fisiología afectada

<p>Describir el tipo de bioindicador que es más efectivo en determinar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos.</p>	<p>¿Qué tipo de bioindicador es más efectivo en determinar la presencia de PM, NOX, CO2, Fe y Cu atmosféricos?</p>	<p>Efectividad</p>	<p>-Captación -Cantidad</p>	<p>De acuerdo de la actividad de contami Nación</p>	<p>De acuerdo al tiempo de exposición</p>	<p>De acuerdo al método de muestreo</p>
--	--	--------------------	---------------------------------	---	---	---

## ANEXO 2: Instrumento de Recolección de Datos

