

**BIOINDICADORES COMO HERRAMIENTA DE IDENTIFICACIÓN DE
IMPACTOS EN ESCENARIOS VIALES, APROXIMACIÓN AL CASO
COLOMBIANO**

JULIAN EDUARDO FAJARDO RUIZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

**ESPECIALIZACIÓN EN PRESERVACION Y CONSERVACION DE LOS
RECURSOS NATURALES**

BUCARAMANGA

2021

**BIOINDICADORES COMO HERRAMIENTA DE IDENTIFICACIÓN DE
IMPACTOS EN ESCENARIOS VIALES, APROXIMACIÓN AL CASO
COLOMBIANO**

JULIAN EDUARDO FAJARDO RUIZ

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en preservación y conservación de
recursos naturales**

Asesora

Argelina Blanco Torres

Bióloga

PhD. En Ciencias Biología

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

**ESPECIALIZACIÓN EN PRESERVACION Y CONSERVACION DE LOS
RECURSOS NATURALES**

BUCARAMANGA

2021

3 de Enero 2021

Yo Julian Eduardo Fajardo Ruiz,

Declaro que este trabajo de grado no ha sido presentado con anterioridad para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o en cualquiera otra universidad". Art. 92, parágrafo, Régimen Estudiantil de Formación Avanzada.

Firma del autor

DEDICATORIA

A mi familia y personas cercanas por apoyarme a realizar esta especialización y tesis de grado.

A la Universidad Pontificia Bolivariana, tutora de grado profesora Argelina Blanco, profesores de la especialización y compañeros que me permitieron mejorar mis capacidades como profesional y adquirir los suficientes conocimientos para generar este documento.

A el Instituto Nacional de Vías - INVIAS por brindarme los conocimientos e inquietudes desde el área vial para realizar esta propuesta de grado

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo General	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	11
4. ANTECEDENTES, ALCANCES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	12
5. MARCO REFERENCIAL.....	13
5.1. Marco teórico	13
5.1.1. Infraestructura vial.....	13
5.1.2. Impactos ambientales en proyectos viales.....	15
5.1.3. Calidad del aire.....	16
5.1.4. Bioindicador y Biomonitor - características de bioindicadores, documentos modulo.....	17
5.2. Marco normativo	18
5.2.1. Calidad del aire y emisiones.....	18
5.2.2. Vías.....	20
6. METODOLOGÍA.....	21
6.1 Búsqueda de información.....	21
6.2 Formulación de uso de bioindicadores en caso colombiano.....	24
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	27
7.1. Impacto ambiental del proceso vial a evaluar.....	27
7.2. Información disponible sobre bioindicadores de calidad de aire en procesos viales para Colombia	28
7.2.1 Información existente por fuente consultada.....	28
7.2.2 Caracterización de la información	30
7.3 Localización vial escogida	35
7.4 Bioindicador potencial para caso colombiano.....	39
7.4.1 Revisión de bioindicadores factibles para el caso Colombiano	39
7.4.2 Bioindicador propuesto	42
7.5 Propuesta de implementación de uso de bioindicador para un caso colombiano.....	45
7.5.1. Identificación del bioindicador	45
7.5.2 Sitios de muestreo.....	47
7.5.3. Fase de campo	47
7.5.4. Fase de laboratorio.....	48
7.5.5. Actividades de finalización	50
8. CONCLUSIONES.....	51
9. RECOMENDACIONES.....	52
10. BIBLIOGRAFÍA	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 . Bioindicadores replicables al caso colombiano.....	33
--------------------------------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Diagrama de proceso búsqueda en base de datos	22
Figura 2 . Diagrama del proceso de selección de estudios aplicables y bioindicador potencial.....	26
Figura 3 . Porcentaje de estudios según fuente de obtención.	29
Figura 4 . Estudios orientados a vías y emisiones según fuente en Colombia. Estudios revisados vs estudios útiles.....	30
Figura 5 . Porcentaje de estudios según región	31
Figura 6 . Número de estudios total y su relación con la presencia de especies en Colombia según bases de datos SIB Colombia y INaturalist.	31
Figura 7 . Porcentaje de estudios evaluados según el tipo de individuos usados.	32

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1 . Búsqueda avanzada ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador, aire y Carretera.....	23
Imagen 2 . Búsqueda ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador y Carretera.....	23
Imagen 3 . Búsqueda ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador, Carretera y Aire	23
Imagen 4 . Búsqueda ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador, Carretera y Emisiones	24
Imagen 5 . Localización de implementación del proyecto piloto (Recuadros negros) y mapa de cobertura del suelo. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013.	37
Imagen 6 . Imagen satelital tramo de vía Villa Rica - Jamundí. Google Maps, 2020.....	38
Imagen 7 . Localización de implementación del proyecto piloto y capa de reserva de la biósfera del Cinturón Andino.	39
Imagen 8 . Araña <i>Argiope argentata</i> . Velasquez, 2016.....	43
Imagen 9 . Observaciones <i>Argiope argentata</i> en Colombia. INaturalist.com.....	45
Imagen 10 . Observaciones <i>Argiope argentata</i> en el área de estudio. INaturalist.com	46

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 . Compilatorio de estudios investigados relacionados con bioindicadores, calidad del aire-emisiones y vías	62
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: BIOINDICADORES COMO HERRAMIENTA DE IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS EN ESCENARIOS VIALES, APROXIMACIÓN AL CASO COLOMBIANO

AUTOR(ES): JULIAN EDUARDO FAJARDO RUIZ

PROGRAMA: Esp. en Preservación y Conservación de los Recursos Naturales

DIRECTOR(A): PhD. Argelina Blanco Torres

RESUMEN

Con el presente documento se buscó realizar una revisión de estudios orientados a bioindicadores aplicables a la calidad del aire y su relación con los impactos generados por los proyectos viales principalmente en su etapa operativa, partiendo de una metodología de revisión de información en diferentes bases de datos nacionales e internacionales e identificar las especies con aplicabilidad al ámbito colombiano, permitiendo con lo anterior generar una propuesta básica de implementación, innovadora y replicable para el país. Con este proyecto se llegó a la conclusión de que de los setenta y siete (77) estudios revisados para el territorio colombiano son varias las especies (alrededor de 29) que pueden ser implementadas como bioindicadoras y que pueden llegar a ser utilizadas para diferentes zonas, entre estas se destacan las arañas, con las que se profundizó en el estudio llegándose a proponer la especie *Argiope argentata* que ya ha arrojado resultados positivos y que se encuentra en diferentes zonas del territorio colombiano, como una especie bioindicadora de especial usabilidad por su factible replicabilidad gracias a sus características biológicas.

PALABRAS CLAVE:

BIOINDICADOR, CALIDAD AIRE, VÍAS, ARAÑAS, ARGIOPE ARGENTATA

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: BIOINDICATORS AS A TOOL FOR IDENTIFICATION OF IMPACTS IN ROAD SCENARIOS, APPROACH TO THE COLOMBIAN CASE

AUTHOR(S): JULIAN EDUARDO FAJARDO RUIZ

FACULTY: Esp. en Preservación y Conservación de los Recursos Naturales

DIRECTOR: PhD. Argelina Blanco Torres

ABSTRACT

The objective of this document was to do a review of studies aimed at bioindicators applicable to air quality and their relationship with the impacts generated by road projects mainly in their operational stage was sought, based on a methodology for reviewing information in different national and international databases and to identify the species with applicability to the Colombian territory, allowing with the above the generation of a basic proposal for implementation, innovative and replicable for the country. This project concluded that of the seventy-seven (77) studies reviewed, for the Colombian territory there are several species (about 29) that can be implemented as bioindicators and that can be used for different areas, among these the spiders stand out, with which the study was deepened and the species *Argiope argentata* was proposed, which has already yielded positive results and which is found in different areas of Colombian territory, as a bioindicator species of special usability due to its feasible replicability thanks to its biological characteristics.

KEYWORDS:

BIOINDICATOR, AIR QUALITY, ROADS, SPIDERS, ARGIOPE ARGENTATA

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el más reciente informe Nacional de Competitividad 2018-2019, Colombia se ubica en la posición número 83 de 140 en cuanto a competitividad (La República, 2019), los avances en esta posición, según el Gobierno Nacional se han debido entre otros a la inversión en infraestructura la cual ascendió en el año 2016 al 2,7% del PIB Nacional. La constante inversión mencionada en el año 2016, se ha mantenido por los años siguientes, lo que ha conllevado no solo un aumento de la malla vial sino un incremento en los impactos ambientales sobre el territorio mismo.

Si bien la infraestructura vial ha seguido creciendo, está debe desarrollarse acorde con los lineamientos establecidos por la normativa colombiana, entre los que se resalta la ley de infraestructura (Ley 1682 de 2013) en donde según el artículo 8, se define que entre los principios bajo los cuales se planeará y desarrollará la infraestructura de transporte, se debe tener en cuenta aquella que sea adaptada a mitigar y estar adaptada al cambio climático, así como basada en criterios de sostenibilidad.

Lo anterior, conlleva a replantearse de manera constante los procesos que actualmente se usan en la caracterización de impactos en los métodos constructivos existentes y su relación con el Medio Ambiente, lo que permite generar nuevas metodologías y tecnologías a ser implementadas con resultados eficientes y de baja inversión, para un país en desarrollo como lo es Colombia y que conlleven a mejorar la conservación de la biodiversidad y de los Recursos Naturales, tan afectada por procesos antrópicos.

Con el siguiente trabajo se busca hacer uso de lo aprendido en la especialización de Preservación y Conservación de Recursos Naturales, realizando una revisión de bioindicadores de calidad de aire usados en escenarios viales e identificar los de mayor potencial de aplicación a las condiciones actuales de identificación de impactos en el recurso aire en vías colombianas, uno de los más afectados por la construcción, mantenimiento y operación de este tipo de infraestructuras.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Revisar la literatura técnica (instituciones) y científica (bases de datos), del uso de bioindicadores en la evaluación de impactos en el recurso aire, en los diferentes procesos asociados a proyectos viales y realizar un análisis de su factible implementación en un proyecto vial en el territorio colombiano.

2.2 Objetivos Específicos

-Analizar literatura técnica y científica relacionada con bioindicadores de calidad del aire usados en proyectos viales para determinar estado del arte.

-Generar una propuesta preliminar de uso de bioindicadores de calidad del aire para un proyecto vial en el territorio colombiano a partir de la información secundaria analizada.

3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Según datos de La República (2019), la red vial nacional se encuentra estimada en alrededor de 206.708 kilómetros, a pesar de contar con un número que se puede considerar elevado de kilómetros de infraestructura, según datos del BID, el país requiere 45.000 kilómetros de vías adicionales para fomentar el crecimiento económico y aumentar su productividad (Portafolio, 2019). Estos datos, reflejan lo que posiblemente deparará el desarrollo de la infraestructura vial de nuestro país en un futuro próximo.

Si bien las actividades viales buscan generar efectos positivos en cuanto a los beneficios socio-económicos que conlleva su desarrollo, esto no la hace una actividad exenta de impactar de manera negativa el Medio Ambiente, por mencionar su desarrollo es muy relacionado a impactos como la fragmentación de hábitats, el cambio del uso del suelo, alteración en la percepción visual del paisaje, alteración en la calidad del aire, afectación en los niveles de presión sonora, entre otros. Lo anterior, toma una mayor importancia cuando nos ubicamos en el territorio colombiano, el cual se encuentra en el ranking mundial de biodiversidad ocupando el primer lugar en número de especies de aves y orquídeas, el segundo en en riqueza de plantas, anfibios, mariposas y peces de agua dulce, el tercero en número de especies de palmas y reptiles y el cuarto lugar en mamíferos (Humboldt, 2017), lo que nos lleva a plantearnos la importancia de una buena identificación de impactos que puedan estar relacionados a la afectación en la biodiversidad de nuestro país.

Es por esto, y partiendo del incremento de la infraestructura vial y el factible aumento en los impactos ambientales que esta generará, específicamente el relacionado con la afectación a la calidad del aire, impacto que no solo se genera durante la construcción de la vía sino que

permanece durante toda su etapa de operación y funcionamiento, que se necesita la implementación de estrategias costo-efectivas que permitan identificar, prevenir y manejar los efectos sobre el medio ambiente de esta actividad, es en este caso en donde el uso de bioindicadores se presenta como una opción factible de solución para un país con unas condiciones tan particulares (económicas, sociales y ambientales) como lo es Colombia.

4. ANTECEDENTES, ALCANCES Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Según Holt y Miller (2010), la aplicación de los bioindicadores y su desarrollo ha venido evolucionando desde el año 1960, ampliándose su uso en diferentes entornos y atendiendo diferentes problemáticas de tipo ambiental a partir de estos. Su alcance y fácil aplicación, ha ido evolucionando de tal manera que para la gran variedad de actividades en donde interactúa el ser humano, se ha identificado el uso de bioindicadores para cuantificar y verificar el impacto que este genera.

Los bioindicadores en comparación con los métodos físico-químicos, son herramientas que se presentan de bastante utilidad puesto que su implementación es mucho más económica, no se requiere uso de equipos complejos y genera resultados menos demorados (Gonzalez y Vallarino, 2014). De igual manera, permiten análisis más complejos que los métodos tradicionales incluyendo entre otros, la integración de condiciones pasadas a las presentes a ser evaluadas.

Para el caso vial en particular, los bioindicadores se han usado principalmente para identificar impactos relacionados con contaminación atmosférica, ya sea por presencia de metales pesados o material particulado en áreas cercanas a proyectos viales. Por lo anterior, lo que se

busca a partir del uso de biodindicadores, es generar un análisis para un caso colombiano de aquellos bioindicadores que pueden ser usados como instrumento aplicable para las diferentes etapas relacionadas a la existencia y funcionamiento de la infraestructura vial y orientada a ser un documento de referencia por parte de las entidades del sector para identificar de una manera efectiva y económica impactos ambientales, lo que permitirá a futuro establecer acciones en pro de la conservación y mitigación de los efectos que genera la infraestructura vial.

Adicionalmente, es de mencionar que el INVIAS a través de la resolución No. 405 del 13 de febrero de 2020, adoptó la Política de Sostenibilidad para la Infraestructura de Transporte, esta política busca que por medio de diferentes acciones se avance en mejorar las practicas constructivas y con esto generar proyectos en los cuales se fomente el cuidado al medio ambiente, por lo que lo aquí presentado se busca sea un insumo que pueda ser aplicado a través de dicha política.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. Marco teórico

5.1.1. Infraestructura vial

Una vía es una *“Zona de uso público o privado, abierta al público, destinada al tránsito de vehículos, personas y animales”*(Ley N°769, 2002), según su funcionalidad y lo expuesto en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del 2008, adoptado como Norma Técnica para los proyectos de la Red Vial Nacional, mediante la Resolución número 0744 del 4 de marzo

del 2009, las vías se encuentran clasificadas en primarias para aquellas” (...) *troncales, transversales y accesos a capitales de Departamento que cumplen la función básica de integración de las principales zonas de producción*”, secundarias como “*aquellas vías que unen las cabeceras municipales entre sí y/o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera Primaria*” y terciarias “*aquellas vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o unen veredas entre sí*”.

Los proyectos relacionados con la infraestructura vial se encuentran generalmente asociados a diferentes etapas, estas parten de los Estudios de Ingeniería, posteriormente pasan por una Etapa de construcción según el resultado de los anteriores estudios y finalmente de operación vial como se podrían considerar los mantenimientos, mejoramientos y rehabilitación, según sea el interés de la entidad contratante.

Los Estudios de Ingeniería según ley de infraestructura (Ley N°1682, 2013) se encuentran divididos en tres fases:

La Fase 1 de Prefactibilidad, en donde se debe realizar el prediseño aproximado del proyecto, presentando alternativas y realizar la evaluación económica preliminar

Fase 2 de Factibilidad, en la cual se debe diseñar el proyecto y efectuar la evaluación económica final

Fase 3 de Estudios y Diseños Definitivos, en la cual se deben elaborar los diseños detallados tanto geométricos como de todas las estructuras y obras que se requieran

La etapa constructiva, de igual manera definida por la ley de infraestructura (Ley N°1682, 2013) es considerada como “(...) *aquellas obras nuevas que incluyen el levantamiento o armado de algún tipo de infraestructura de transporte*”.

Por otro lado, se tiene la etapa operativa, la cual se encuentra relacionada con el funcionamiento en si de las vías y las operaciones de mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación, estas definidas por la Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura del Subsector Vial (INVIAS, 2011) como:

“- Mantenimiento: Conjunto de acciones tendientes a restablecer, extender y mantener la capacidad estructural y las condiciones superficiales de un corredor vial.

- Mejoramiento: Consiste en el cambio de especificaciones y dimensiones de la vía, para lo cual se hace necesaria la construcción de obras en la infraestructura existente.

- Rehabilitación: Actividades que tienen por objeto reconstruir o recuperar las condiciones iniciales de la vía de manera que se cumplan las especificaciones técnicas con que fue diseñada”

5.1.2. Impactos ambientales en proyectos viales

Si bien los proyectos viales pueden generar efectos positivos en la sociedad por la conectividad que generan, normalmente se encuentran asociados a impactos negativos relacionados a su desarrollo. Los impactos ambientales negativos que normalmente se asocian a impactos viales según el tipo de influencia son (Martínez D., 2014):

“Directos: pérdida de la capa vegetal, exclusión de otros usos para la tierra, modificación de patrones naturales de drenaje, interferencia con la movilización de animales silvestres, (...) contaminación del aire y del suelo, (...) derrame de combustibles y aceites, basura, (...) entre otros”, e Indirectos “(...) generalmente asociados a los de tipo sociocultural, la degradación visual debido a la colocación de carteles a los lados del

camino, los impactos de la urbanización no planificada, inducida por el proyecto; la alteración de la tenencia local de tierras, (...) entre otros.”

5.1.3. Calidad del aire

El concepto de Calidad del Aire (IDEAM, 2012) “(...)se refiere al estado de la contaminación atmosférica (...) es un indicador de que tan contaminado se encuentra el aire y por lo tanto, que tan apto es para ser respirado”, por su parte la contaminación atmosférica según la resolución 601 de 2006 “es el fenómeno de acumulación o de concentración de contaminantes en el aire”.

Para que se genere contaminación atmosférica y una afectación en la calidad del aire, se debe tener una fuente de emisión la cual normalmente suele ser categorizada de tipo móvil o fija, una emisión según la resolución 610 de 2010 se considerará como la “descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos(...)”

Para hacer un correcto seguimiento de las emisiones que normalmente se generan se creó para Colombia el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en donde se indican los criterios de diseño y operación de la infraestructura asociada a el Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire. Dentro de la infraestructura usada actualmente para medir la calidad del aire de manera oficial, se hace uso de estaciones automáticas y manuales (IDEAM, 2012), las primeras se diferenciarán de las segundas en que estas no requieren análisis posterior de las muestras tomadas, ni una rutina de recolección de las muestras de

acuerdo a una periodicidad establecida; de igual manera, normalmente que las estaciones automáticas son más costosas que las manuales.

5.1.4. Bioindicador y Biomonitor - características de bioindicadores, documentos modulo

Los bioindicadores son (Capó M., 2007) “(...) *aquellos organismos o comunidades en los que su existencia, sus características estructurales, su funcionamiento y sus reacciones, dependen del medio en que se desarrollan y cambian al modificarse las condiciones ambientales.*”, la modificación en las condiciones mencionadas, provocan respuestas que permiten medir parámetros y evidenciar el estado del ambiente.

Los bioindicadores se pueden clasificar “*por su grado de sensibilidad, forma de respuesta y posibilidad de medida. Respecto a este último se organizan en bioindicadores en sentido estricto, biomonitores por reacciones manifiestas, biomonitores de acumulación, biomonitores de tipo pasivos y activos*”.

Los biomonitores son especies que indican la presencia de contaminantes o perturbaciones no solo de forma cualitativa, sino también de forma cuantitativa, porque sus reacciones son de alguna manera proporcionales al grado de contaminación o perturbación, el biomarcador se considerará la parte del organismo que aislada o no responde ante la acción del contaminante (Capó, M., 2007).

Un buen indicador debe tener como características (Pinilla, 2000; NeubergerCywiak et al., 2009):

- a) Ser de fácil colección y medición (cuantificable)
- b) Estar relacionado con el efecto que se desea indicar.
- c) En lo posible su comportamiento debe poderse modelar o predecir.
- d) Existir información biológica y ecológica sobre el indicador.
- e) No tener mucha variabilidad natural, es decir, debe ser de condiciones esteno (estrecho rango de adaptación).
- f) Preferiblemente debe tener calidad intrínseca (debe ser importante).
- g) Su identificación taxonómica debe ser al nivel de especie. Muchas especies congénicas presentan respuestas totalmente opuestas.
- h) Debe ser comparable en situaciones y sistemas similares.

5.2. Marco normativo

Se enlistan las principales normas relacionadas con la investigación según el tema de búsqueda:

Decreto 1076 de 2015. Por medio del cual se compilan las principales normas ambientales

5.2.1. Calidad del aire y emisiones

DECRETO 948 DE 1995. Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45,

48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

DECRETO 2107 DE 1995. Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995 que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.

DECRETO 1627 DE 1997. Por medio del cual se modifica parcialmente el Decreto 948 de 1995, que contiene el Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire.

DECRETO 979 DE 2006. Por el cual se modifican los artículos 7,10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995. Política para la prevención y control de la contaminación del aire

DECRETO 1552 DE 2000. Por el cual se modifica el artículo 38 del Decreto 948 de 1995, modificado por el artículo 3 del Decreto 2107 de 1995.

RESOLUCIÓN 601 DE 2006. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia

RESOLUCIÓN 910 DE 2008. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.

RESOLUCIÓN 610 DE 2010. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia

RESOLUCIÓN 2254 DE 2017. Por la cual se adopta la Norma de Calidad del Aire Ambiente y se dictan otras disposiciones.

LEY 1972 DE 2019. Se establece la protección de los derechos a la salud y el medio ambiente sano estableciendo medidas tendientes a la reducción de emisiones contaminantes de fuentes móviles y se dictan otras disposiciones

CONPES 3344 DE 2005. "Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire"

CONPES 3943 DE 2018. "Política para el mejoramiento de la calidad del aire"

5.2.2. Vías

DECRETO 2041 DE 2014. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

DECRETO 769 DE 2014. Por el cual se listan actividades de mejoramiento en proyectos de infraestructura de transporte, gestión del Programa de Adaptación a la Guía Ambiental, permisos concesiones, entre otros.

RESOLUCIÓN 111 DE 2015. Por la cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental-EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o de túneles con sus accesos y se toman otras determinaciones

Resolución 751 DE 2015. Por la cual se adopta los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental -EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de los proyectos de construcción de carreteras y/o de túneles con sus accesos y se toman otras determinaciones

Resolución 1258 DE 2018. Por la cual se adoptan los términos para la elaboración del Diagnóstico Ambiental de Alternativas - DAA, en proyectos lineales de infraestructura de transporte (vías carreteras y líneas férreas, incluyendo túneles) y se toman otras determinaciones.

6. METODOLOGÍA

6.1 Búsqueda de información

El estudio parte de una búsqueda de información en la base de datos de Elsevier Scopus y en las de entidades del sector ambiental y principales universidades del país.

A nivel internacional para la búsqueda se parte de la base de datos de Elsevier Scopus la cual es usada por más de 5000 instituciones a nivel gubernamental, institutos académicos y corporaciones (Scopus,SF). Para el caso de entidades nacionales se tomaron las principales del sector ambiental siendo estas el Humboldt, Sinchi, IDEAM, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico y para el caso de corporaciones, a través del SIAC se logra ingresar al Catálogo de la Red de Centros de Documentación del SINA en el buscador del Koha y se realiza la investigación respectiva. Para el caso universitario se tomaron las bases de datos de las 5 universidades con mejor valoración en el ranking de U-Sapiens 2019-2 (Semana, 2020). Se resalta que la investigación en las bases de datos respectivas, abarcó una búsqueda de contenido netamente digital y de información abierta suministrada en la web.

En cada base de datos identificada se realizó la búsqueda de términos correspondiente, la cual reunía los términos asociados a “bioindicadores”, “vías-carretera”, “aire” y “emisiones”, para la base de datos de Elsevier Scopus se hizo uso de términos en el idioma inglés. La búsqueda realizada se intentó fuera lo más concreta posible, mezclando los términos (Ver imagen 1 a 4),

esto para no generar ruido en la información con estudios no relacionados con el tema. Se lograron revisar de manera general alrededor de 300 documentos, de los que finalmente se evaluaron de manera específica alrededor de 77 estudios, visualizables en el documento de matrices anexo, los cuales bajo revisión superficial (lectura de abstract) atendían de manera general los alcances de la tesis.

A continuación, se presenta un diagrama de proceso sobre esta etapa de búsqueda de información.

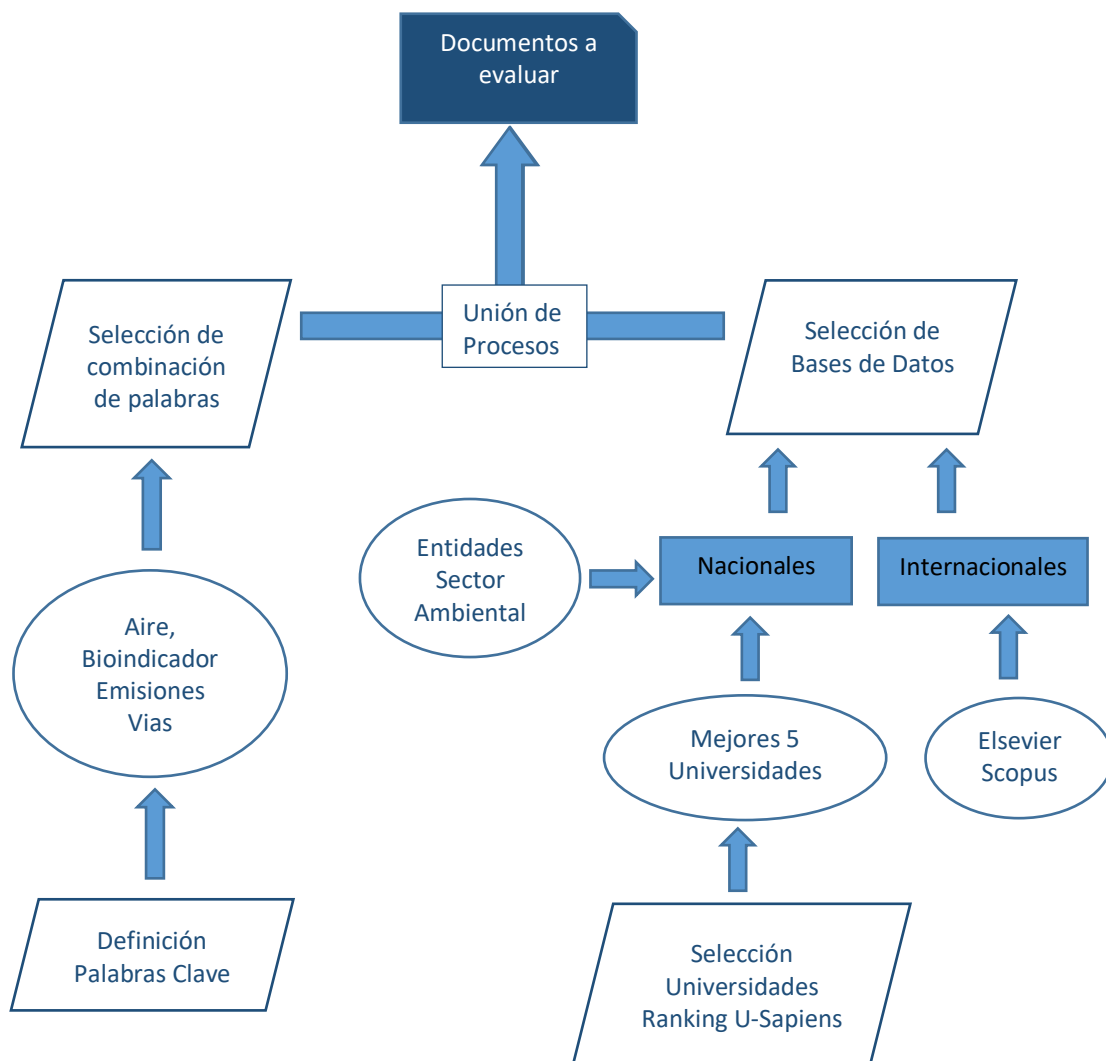


Figura 1. Diagrama de proceso búsqueda en base de datos

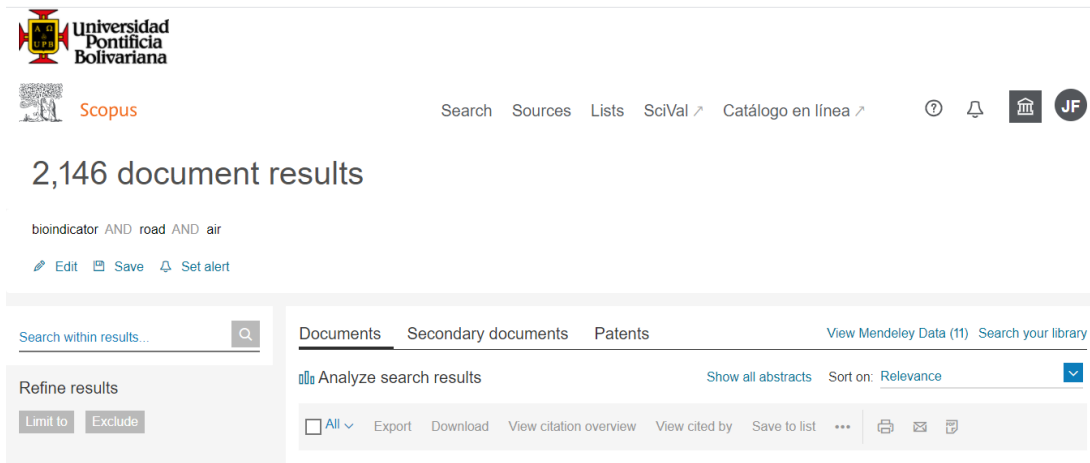


Imagen 1. Búsqueda avanzada ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador, aire y Carretera

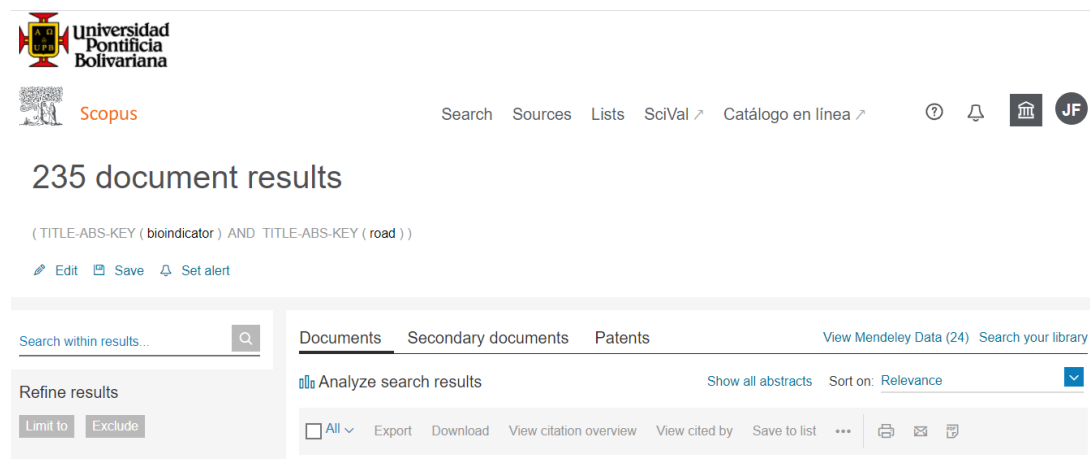


Imagen 2. Búsqueda ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador y Carretera

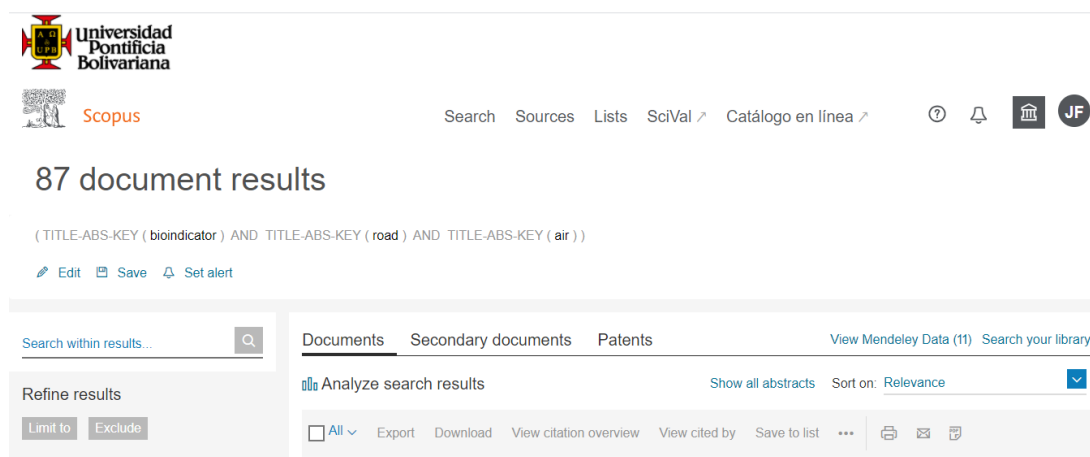


Imagen 3. Búsqueda ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador, Carretera y Aire

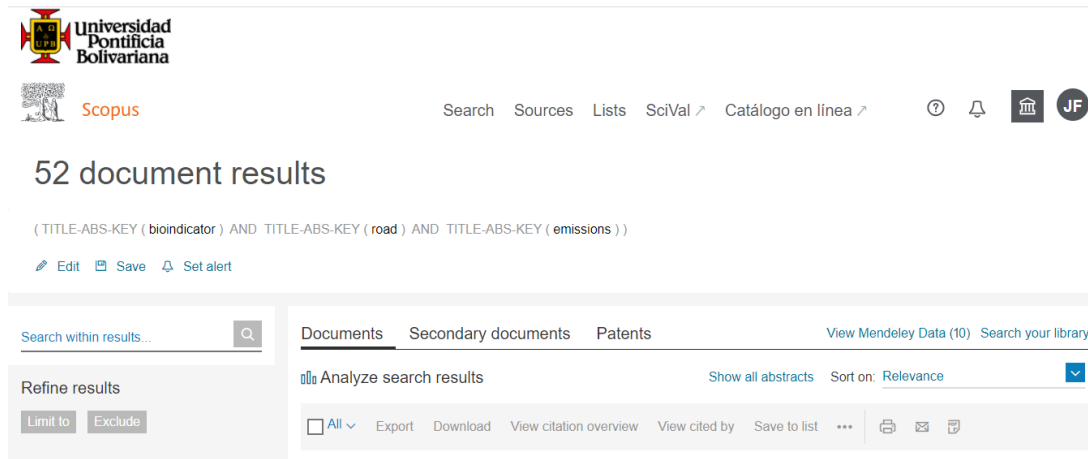


Imagen 4. Búsqueda ejemplo Base de Datos Scopus Bioindicador, Carretera y Emisiones

6.2 Formulación de uso de bioindicadores en caso colombiano

Posterior al proceso de identificación de estudios, se procedió a evaluar cuales de los mencionados eran de mejor uso para la propuesta de implementación para el caso colombiano, para lo anterior se hizo uso de dos matrices que permitieron realizar el compendio de estudios orientados a vías y realizar la propuesta de implementación para el caso colombiano. Las matrices contenían la siguiente estructura:

Primera matriz. Enfoque de descarte indiscutible de los documentos según los siguientes parámetros, se debían cumplir si o si los parámetros:

1. Fácil Acceso Documento
2. Asociado con vías
3. Asociado a emisiones
4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)

Segunda matriz. Revisión de factible uso según los siguientes parámetros, no era necesario el cumplimiento de los parámetros, sino permitir evidenciar cual es el de mejor uso y clasificar los artículos según su estructura.

1. El estudio evidencio cuantificación de parámetros contaminantes
2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)
3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)
4. Especie posiblemente identificada en Colombia.

Para el caso de identificar si las especies usadas se encontraban en Colombia, se hizo uso de la herramienta Sistema de Información sobre biodiversidad de Colombia - SIB Colombia que reúne registros de biodiversidad de diferentes fuentes y del aplicativo iNaturalist en donde se publican de igual manera presencia de especies por parte de observadores expertos.

Según el cumplimiento de los parámetros, se realiza una entrevista con el Dr. Eduardo Flores reconocido experto en arácnidos colombianos, con él se verifica la presencia de especies en Colombia y la posible utilidad de las arañas como bioindicador deseado. Se toma una alternativa como la mejor opción de propuesta de implementación para el fin deseado.

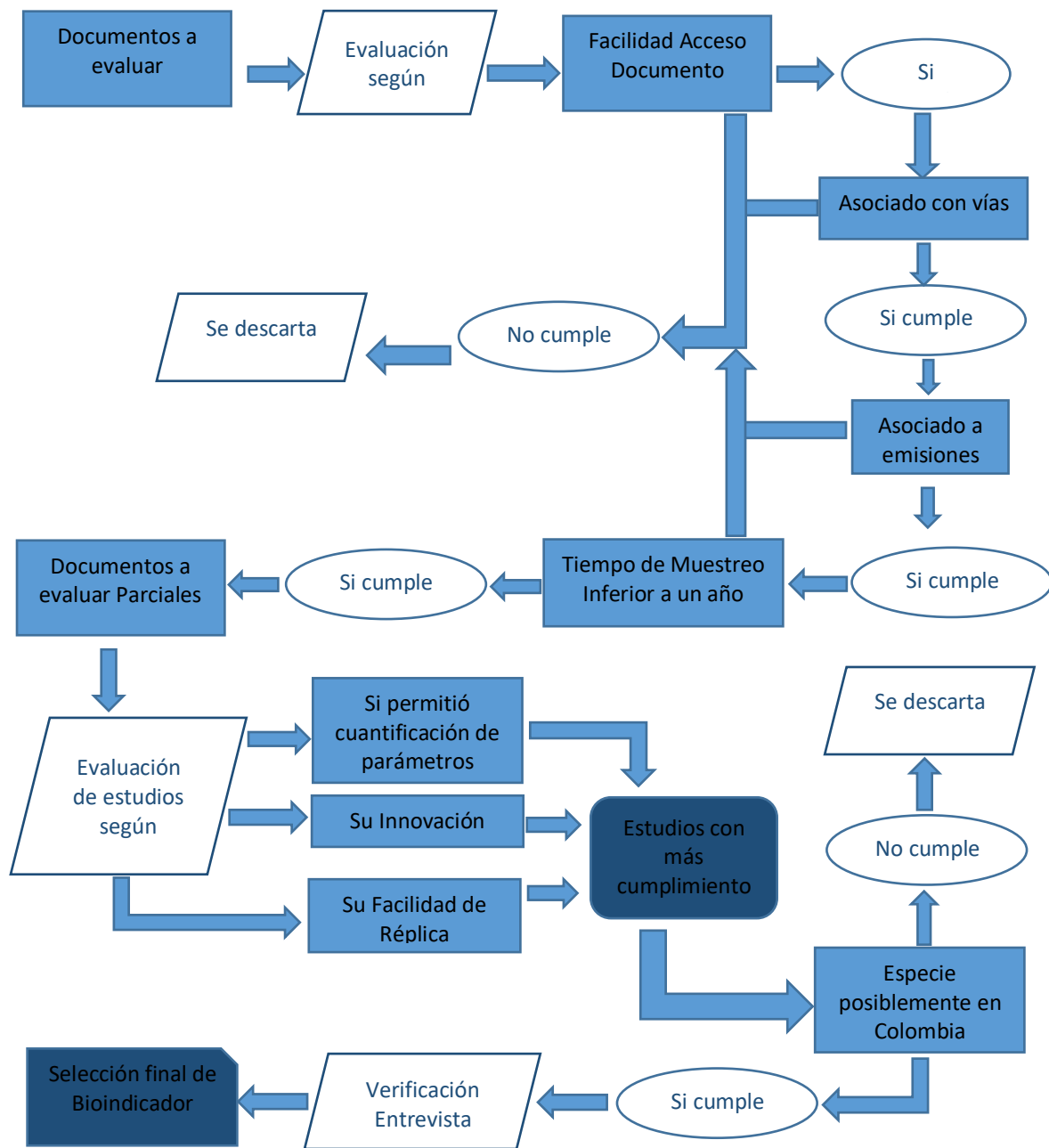


Figura 2. Diagrama del proceso de selección de estudios aplicables y bioindicador potencial.

Finalmente, con la alternativa considerada y los documentos base de investigaciones realizadas, se define como se realizará la propuesta de implementación, así como el corredor o corredores factibles para el piloto de prueba, los cuales partirá su elección según el hábitat y el flujo vehicular. Este último se identificará a través del aplicativo oficial de TPD(Tránsito Promedio Diario) creado por el INVIAS de donde se tomarán para la propuesta inicial dos

tramos del mismo recorrido, con dos valores de TPD diferentes y dos temporalidades (una inicial y final) para verificar la efectividad del bioindicador.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.1. Impacto ambiental del proceso vial a evaluar

Según datos de la Organización Mundial de la Salud y en cuanto a la calidad del aire se estima que *“(...)alrededor de 249 mil muertes prematuras fueron atribuibles a la contaminación del aire exterior”*; a nivel nacional conforme a lo expuesto por el Departamento Nacional de Planeación, durante el año 2015, en Colombia *“(...) los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades.”*

La calidad del aire generalmente se ve afectada por diferentes fuentes de emisión, en Colombia de acuerdo a datos expuestos en la página del SIAC, el impacto sobre este medio se asocia a *“(...)la quema de combustibles fósiles, por el transporte automotor y el sector industrial. Se estima que aproximadamente el 80 % de las partículas PM2,5 son generadas por las fuentes móviles mientras que el 20 % restante lo aportan las fuentes fijas. (...) los vehículos pesados PRE-EURO generan cerca del 25 % de las emisiones de material particulado, lo que permite concluir que aproximadamente un 1,3 % del parque automotor del país es responsable del 25 % de las emisiones de este contaminante”*.

Adicionalmente, la mayoría de emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), de óxidos de Nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) se considera son ocasionadas por fuentes móviles (University College London – Universidad de los Andes, 2013).

Todos estos valores emitidos se considera son causados por (DNP, 2018)“(…) *la tecnología determinada por la edad y las características del proceso de combustión, así como la calidad del combustible utilizado*”. Por lo anterior, se le da prioridad al CONPES 3943 y al desarrollo de actividades encaminadas al fomento de una renovación del parque automotor, del uso de tecnologías alternativas menos contaminantes, de la implementación de las debidas medidas de mantenimiento de los vehículos, entre otras medidas.

7.2. Información disponible sobre bioindicadores de calidad de aire en procesos viales para Colombia

7.2.1 Información existente por fuente consultada

Partiendo de identificar el impacto específico relacionado con el objeto del estudio, la revisión de los estudios arrojó en primera medida un filtro de alrededor de 77 documentos como útiles a ser implementados para este estudio, visualizables en el documento de matrices anexo, de los alrededor de 300 documentos revisados. Sobre estos documentos se logró identificar que los relacionados a la base de datos Scopus, se repetían según los criterios de consulta utilizados, por lo que no fue factible a simple vista verificar cuales criterios arrojaron mejores resultados de búsqueda.

La revisión realizada de igual manera, permitió evidenciar que de la totalidad de los documentos revisados, identificados en el compendio ubicado en la segunda matriz del

Anexo 1, alrededor de 53 documentos (18%) de estos se encontraron orientados al enfoque específico del proyecto, siendo estudios relacionados a emisiones, vías y bioindicadores.

Adicionalmente, que la base de datos que arrojó mejores resultados fue la de Elsevier Scopus de donde se logró identificar alrededor de un 90% de los documentos útiles a ser evaluados, en donde claramente predomina el idioma inglés como la lengua en la que son mayormente presentados estos artículos investigativos.

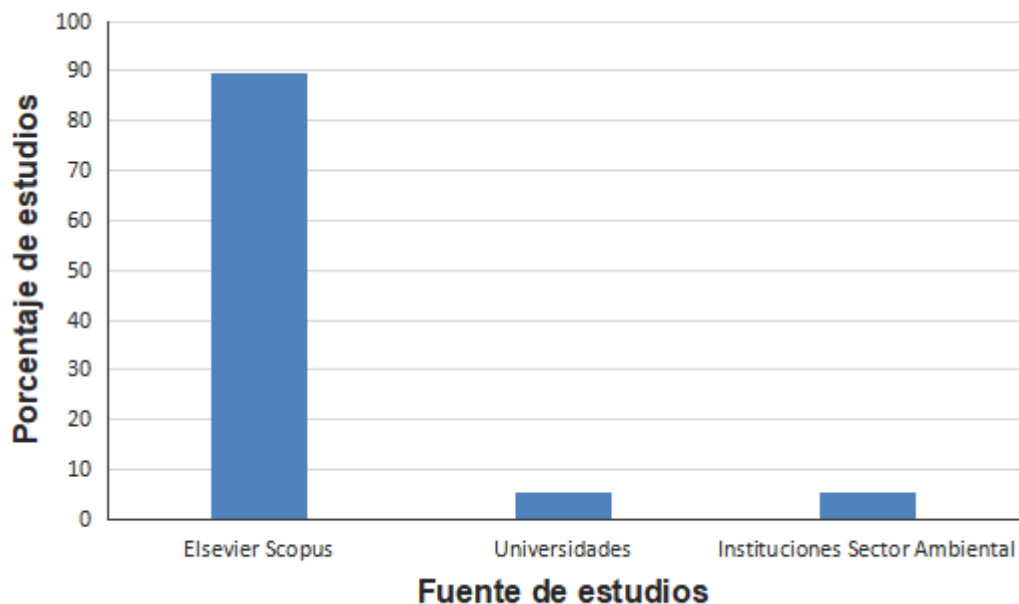


Figura 3. Porcentaje de estudios de bioindicación de calidad de aire según fuente de obtención.

De los estudios revisados se destaca que para el caso colombiano son pocos los que se han realizado por la línea investigativa de bioindicadores orientados a la calidad del aire, específicamente relacionadas con contaminaciones por infraestructura vial. Como resultado de manera general revisadas las bases de datos de universidades se obtuvo que, de un total de 90 estudios, solo 2 se pueden considerar de utilidad por su cercanía al componente de emisiones y de vías. Por su parte para el caso de instituciones del sector ambiental (No

corporaciones) solo se logra identificar 1 estudio de 11 documentos observados. Se destaca que no fue factible para el caso de las corporaciones, identificar estudios aplicados a Colombia, pues si bien se lograron identificar alrededor de 160 estudios, estos correspondían algunos a adquisiciones obtenidas por parte de las diferentes instituciones más no se observó fueran desarrollados por estas mismas.

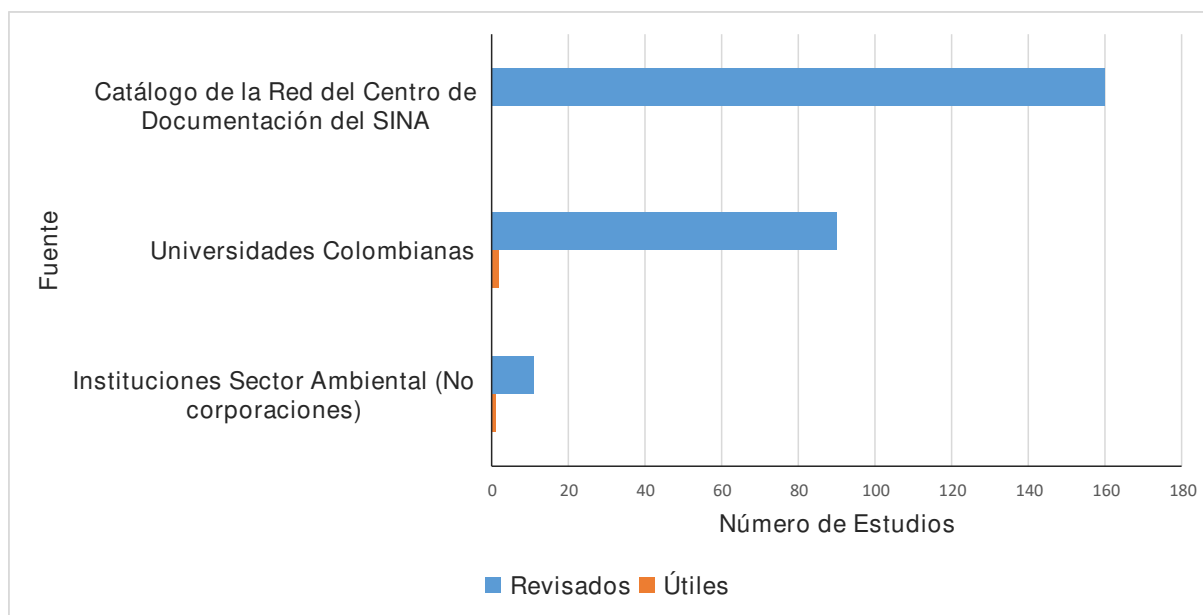


Figura 4. Estudios orientados a vías y emisiones según fuente en Colombia. Estudios revisados vs estudios útiles.

7.2.2 Caracterización de la información

Con base en la revisión bibliográfica realizada, identificada en el compendio ubicado en la segunda matriz del Anexo 1, se logró identificar que la mayoría de estudios realizados se realizaron en la región de Asia (41,5%), destacándose la India y China de los estudios revisados, como de los países de mayor producción de documentos, por su parte le siguió Europa (32,1%), América (18,9%) y África (7,54%).

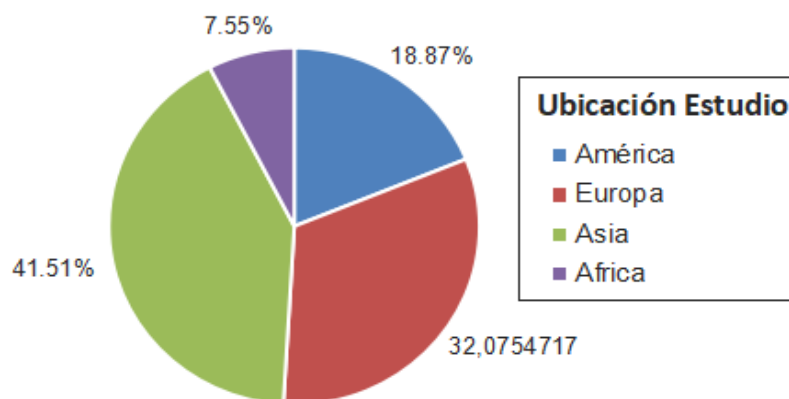


Figura 5. Porcentaje de estudios de bioindicación en vías según región

Respecto a las especies usadas en los diferentes estudios y haciendo uso de las bases de datos de biodiversidad informadas en la metodología, se logró establecer que de los 53 estudios identificados en el compendio ubicado en la segunda matriz del Anexo 1, 29 contenían especies presentes en el territorio colombiano, estas 29 especies se encontraron en las dos bases de datos indicadas y se pueden identificar en el documento de matrices Anexo 1.

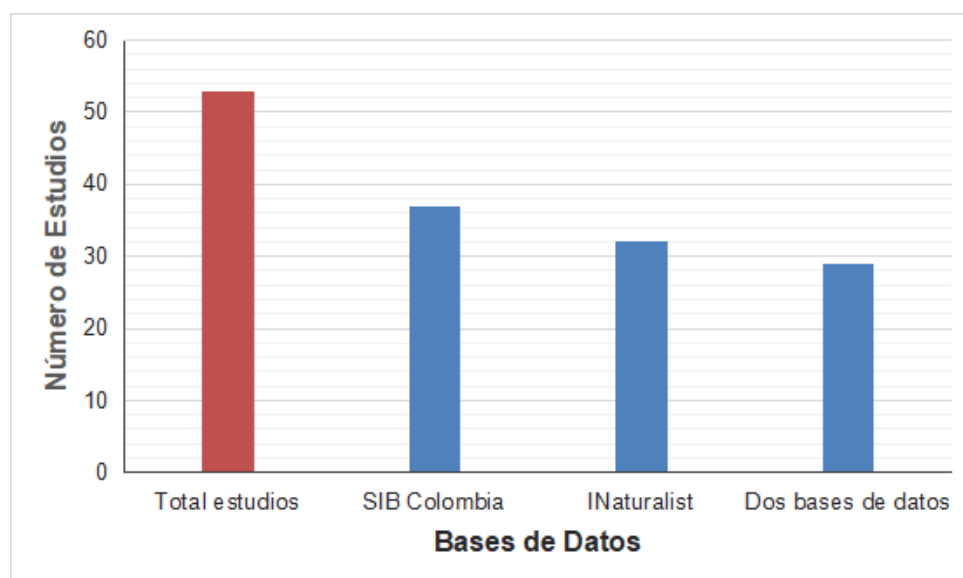


Figura 6. Número total de estudios de bioindicación en vías y su relación con la presencia de especies en Colombia según bases de datos SIB Colombia y INaturalist.

Sobre los estudios evaluados se logró identificar que más de la mitad de estos (50,9%) hizo uso de plantas arbóreas para evaluar contaminantes atmosféricos, le siguió el uso de líquenes (16,98%), mamíferos y plantas no arbóreas (7,55%), Musgos (5,66%), Insectos y aves (3,77%) y finalmente moluscos y humanos (1,89%).

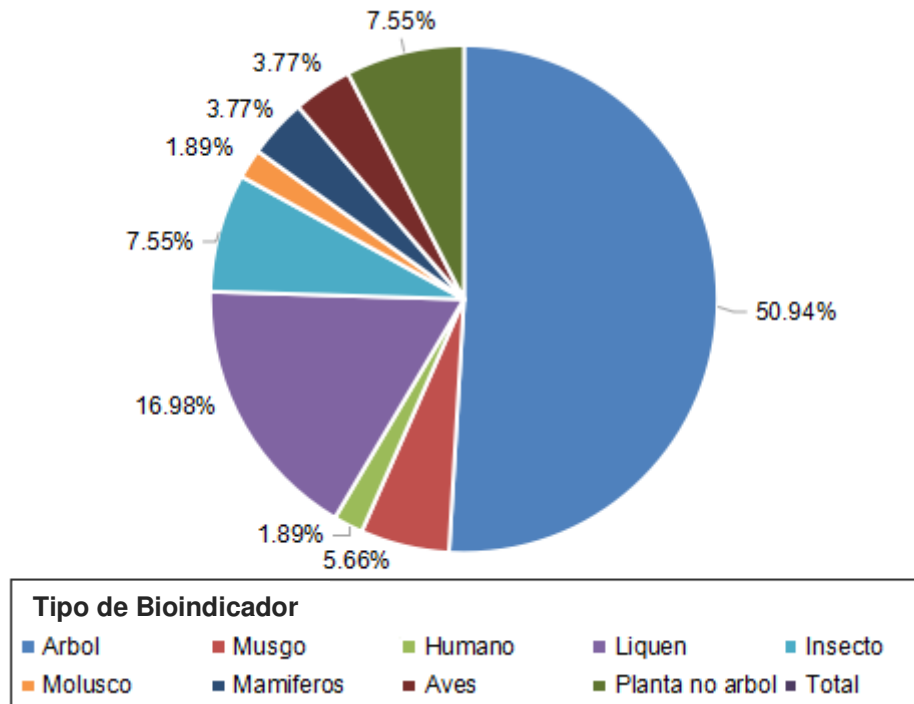


Figura 7. Porcentaje de estudios de bioindicación en vías evaluados según el tipo de individuos usados.

Se logró identificar que los estudios realizados en su mayoría (83%) permitieron medir parámetros asociados a contaminación por emisiones, tales como metales pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, CO₂ de combustibles fósiles atmosféricos, entre otros.

Adicionalmente, que directamente relacionado con la emisión de CO₂ vehicular uno de los compuestos contaminantes más importantes de los Gases de Efecto Invernadero - GEI, un estudio desarrollado en China (Zhenchuan Niu Et Al, 2013) permitió evaluar la emisión de CO₂ por medio de la medición de carbono 14, este estudio se puede presentar como uno pionero sobre metodologías de evaluación de GEI a través de bioindicadores.

De igual manera que 16 estudios de los 53 identificados en el compendio ubicado en la segunda matriz del Anexo 1, se podrían considerar innovadores a concepto del tesista, en cuanto a que según lo revisado no se relacionaban con el uso de líquenes, corteza de árboles y hojas de los mismos, sino que generaron propuestas de uso de otras metodologías o especies normalmente no usadas como bioindicadores. Adicionalmente y con el interés de poder replicar la metodología en otros proyectos viales, los estudios se categorizaron según su posibilidad de réplica, de estos solo 9 fue posible considerar como viables de réplica.

De la anterior matriz se logró observar que sólo 6 documentos de los presentados cumplen con todos los parámetros presentados en las dos matrices, siendo estos tres relacionados al uso de telarañas, uno a musgos, uno a caracoles y uno a pastos. Se destaca que respecto a la identificación de las especies en Colombia se verificó que estas se encontrarán en las dos bases de datos identificadas en la metodología (Tabla 1).

Tabla 1. Bioindicadores replicables al caso colombiano

Estudio	Especie Bioindicadora
Heavy metals assessment in Urban air of national capital region of Delhi using spider webs as bioindicator	<i>Cyrtophora citricola</i>
Analysis of Zn, Cd, As, Cu, Pb, and Fe in snails as bioindicators and soil samples near traffic road by ICP-OES	Oxychilus
Biomonitoring of atmospheric pollution by moss bags: Discriminating urban-rural	<i>Hypnum cupressiforme</i>

structure in a fragmented landscape	
Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the spider webs in the vicinity of road traffic emissions	Familia Agelenidae
Integrated assessment of air pollution by metals and source apportionment using ryegrass (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.) in southern Brazil	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.
Spider webs and lichens as bioindicators of heavy metals: A comparison study in the vicinity of a copper smelter (Poland)	Familia Agelenidae

El resultado de los estudios nos permitió identificar que para el caso colombiano y a pesar de ser el causante de alrededor de 8000 muertes en Colombia, según datos del DNP (2015), son pocos los estudios asociados a bioindicadores usados para cuantificar parámetros de calidad del aire relacionados a vías, esto posiblemente asociado a que en Colombia hasta ahora se está incursionando en controlar los impactos generados sobre el aire, con gestiones como la del CONPES 3943 Política para el Mejoramiento de Calidad del Aire y a la falta de transmisión de información asociada a la importancia de la medición de contaminantes del aire.

De igual manera, el país debe mejorar la calidad de sus bases de datos puesto que a simple vista no fue factible observar muchos de los estudios que posiblemente desde el área de conocimiento se han desarrollado, a modo de ejemplo el aplicativo Koha no permitió

evidenciar estudios claros desarrollados por corporaciones sino posiblemente los que se encuentran en las bibliotecas comprados por las corporaciones ambientales.

Fue posible evidenciar que la mayoría de estudios se orientaban a el uso de líquenes y hojas y cortezas de árboles como bioindicadores, tal cual como se puede observar en los estudios de Chaparro et al (2020), Youssaf et al (2020), Hasairin et al (2020), Coffey et al.(2012), Ugolini et al (2013), entre otros, identificados en el compendio ubicado en la segunda matriz del Anexo 1. Para el caso de los líquenes su uso extenso se puede deber a lo mencionado por Holt y Miller (2010), en cuanto a que la estructura de líquenes al no tener raíces, ni cutícula, y adquirir todos sus nutrientes de la exposición directa a la atmósfera, los hacen de los organismos más aptos para medir contaminantes atmosféricos. Por su parte para el caso de los árboles, se podría considerar que su uso extenso es debido a la facilidad de encontrar de manera conjunta especies arbóreas, incluso de campos cultivados junto a industrias, de las principales emisoras de contaminantes atmosféricos, tal cual lo menciona Caselles (1997), en su estudio realizado en el Sur de España.

7.3 Localización vial escogida

La propuesta partiendo de que de manera preliminar la especie seleccionada es la araña de la especie *Cyrtophora citricola*, se da en primera medida definiendo la localización de desarrollo del piloto y su temporalidad. Para definir la localización inicial del piloto, partiremos de hábitats que permitan el desarrollo de la especie, para lo cual tomamos como

base la región del Valle del Cauca en la zona cercana a Calí en donde esta ya ha sido identificada (Betancur, N. Et Al, 2011).

Para establecer las áreas que nos permitan verificar el correcto funcionamiento como bioindicadora de la especie se parte del aplicativo del INVIAS de volúmenes de tránsito (INVIAS, S.F.), de donde se escogen por su cercanía y a la vez diferencia en tránsito, las vías que conducen de Puerto Tejada a Te de Villarica y Jamundi a Te de Villarica, siendo sus valores de tránsito de 4445 vehículos y 11120 vehículos respectivamente.

Los tramos seleccionados cruzan el municipio de Villa Rica, Cauca, el cual según el documento Sistema De Información Geográfica Municipal (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013) del municipio, presenta una distribución del suelo caracterizada por cultivos permanentes herbáceos para el caso de la vía Villa Rica a Jamundí y mosaico de cultivos y tejido urbano discontinuo, para la vía de Puerto tejada a Te de Villarica. Los usos de suelo indicados se presentan positivos para la implementación del bioindicador y el futuro análisis de sus resultados, en razón de que al no presentarse como suelos de tipo industrial los resultados del bioindicador principalmente se verán afectados por las emisiones generadas por los vehículos.

De manera adicional, si bien se resalta la zona no presenta según lo indicado conformación del suelo de tipo bosque o con presencia de árboles, en las imágenes satelitales de Google tomadas en el año 2020, se logra evidenciar la presencia de árboles en los costados de la vía, lo que facilitaría la implementación del bioindicador pensado para el proyecto. De igual manera se corrobora la distribución del suelo como cultivos permanentes herbáceos.

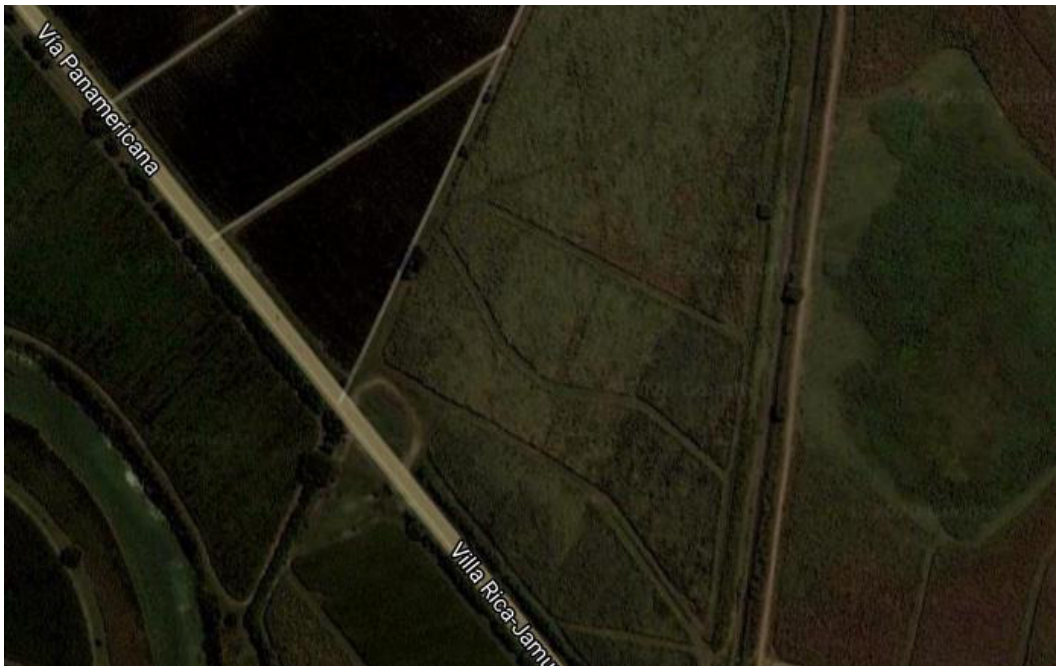


Imagen 6. Imagen satelital tramo de vía Villa Rica - Jamundí. Google Maps, 2020

Como tal y según lo evidenciado a través de la capa de Zonificación Ambiental del Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, los puntos seleccionados no presentan puntos de mayor interés o importancia biológica fuera de limitar con la Reserva de la Biósfera del Cinturón Andino.



Imagen 7. Localización de implementación del proyecto piloto y capa de reserva de la biósfera del Cinturón Andino.

Debido a los intereses de evidenciar el uso de manera replicable del bioindicador, la idea es plantear dos temporalidades de estudios, una inicial que durará un mes en la que se plantea la ubicación de los individuos bioindicadores en el área de estudio y otra de dos meses en donde se realice la captura de las emisiones y el levantamiento de las telarañas. El ideal será a futuro replicar la puesta en marcha de esta metodología en otras vías y de manera frecuente con el fin de hacer seguimiento en la evolución de la emisión de gases contaminantes.

7.4 Biondicador potencial para caso colombiano

7.4.1 Revisión de bioindicadores factibles para el caso colombiano

Si bien tanto líquenes como las diferentes especies arbóreas permiten medir diferentes parámetros y han arrojado buenos resultados, el fin de este estudio fuera de realizar un

compendio de bioindicadores, compendio presentado en la segunda matriz del Anexo 1, era generar una propuesta práctica e innovadora de ser aplicada en Colombia y replicada en otras zonas, en donde los anteriores bioindicadores no se presentan como las mejores opciones a ser implementadas, esto no solo por los resultados evidenciados en estudios como el realizado por Stojanowska At. Et Al (2020) en donde se concluyó que el uso de telarañas trasplantadas arrojó mejores resultados que el uso de especies liquénicas del mismo tipo, sino por los elevados costos que implicaría mover las especies forestales que han arrojado resultados positivos como bioindicadores.

Por lo anterior, se partió de los seis estudios que debido a los parámetros mencionados en el numeral 6.2.2 Caracterización de la información, pueden ser factibles de implementación, de manera inicial se pueden unificar los resultados relacionados a los individuos de los estudios identificados, en donde las arañas abarcaron tres de estos, estudios realizados por Stojanowska et al(2020), Rybak et al (2013) y Bathi (2018), cuyo resultado fue favorable de ser implementados como bioindicadores debido a medir con mayor precisión y por mayores periodos de tiempo contaminantes atmosféricos, sin contar con los beneficios mencionados por Rybak et al (2013), en donde las telarañas se presentan de mayor ventaja debido a su bajo costo de recolección, disponibilidad de información investigativa, su fácil ubicación que permite proteger el bioindicador de verse afectado por el medio ambiente, entre otros beneficios. Esta metodología presenta en contraposición la problemática asociada a el exceso de telaraña de algunas especies que termina como lo menciona Edwards (2012) desencadenando en pérdida de hojas, ramas e incluso muerte de las plantas.

Respecto a la especie de musgo *Hypnum Cupressiforme* musgo usado por Capozzi et al (2016) como bioindicador para determinar contaminantes atmosféricos, se destaca su uso como una

herramienta muy sensitiva para identificar elementos de la calidad del aire y PAHS, en especial en regiones pequeñas en donde no es factible contar con estaciones de monitoreo. Esta metodología presentó inconvenientes relacionados a el vandalismo que vió afectada su implementación en el tiempo de monitoreo del estudio.

Por su parte el género de caracoles *Oxychilus* presentada en el documento realizado por Massadeh et al (2016) resalta la importancia de su uso como bioindicador partiendo de que representan especies presa de muchos depredadores, por lo que podría permitir evidenciar en mayor medida impactos sobre especies asociadas, sin contar los beneficios que presentan como grandes acumuladores de contaminantes atmosféricos. Concluyéndose que son especies adecuadas para medir metales pesados, pero que presentarían inconvenientes en cuanto a su captura de muestras, debido a la movilización de los individuos en el área de estudio.

De manera similar, según el documento de Illi et al (2016), la especie de plantas *Lolium multiflorum* Lam. se presenta como un método de bajo costo y aplicación a implementar como bioindicador, que arroja resultados positivos para ser implementada como una herramienta de evaluación de metales pesados en la atmósfera, el cual presenta como defecto la necesidad de un espacio en donde plantarse y el carácter de esta especie de ser considerado una maleza, según Gigón et al (2017) lo cual la hace una especie invasiva que incluso resiste a su eliminación por medio de Glifosato.

Finalmente y bajo lo mencionado, los bioindicadores indicados se podría considerar son factibles de ser implementados puesto que estos cumplen con las características que un buen bioindicador debe llevar (Pinilla, 2000; NeubergerCywiak et al., 2009), a pesar de esto y con el fin de especificar una propuesta, se resalta la condición particular de las arañas de ser

comparable en situaciones y sistemas similares (Betancur, 2011), de contarse con una especie definida y que arroje buenos resultados y de importancia para evaluar contaminantes atmosféricos (Upasana Bhati et al, 2018), por lo anterior se selecciona la especie de arañas *Cyrtophora Citricola* como el posible bioindicador a ser propuesto.

7.4.2 Bioindicador propuesto

De manera inicial, el bioindicador propuesto pasa por la revisión de un especialista experto en esta área, de donde se logra corroborar que si bien presenta utilidad para su implementación, esta especie presenta condiciones de invasora en América los cuales se han podido corroborar en estudios (Sanchez, 2019), en donde se transmite que la especie se considera de invasión reciente (20 años), posiblemente originados en el Sur de África y la región Mediterránea.

Por lo anterior, se revisa la posibilidad de proyectar una especie que cumpla con condiciones similares a la especie de arañas *Cyrtophora citricola* para su implementación como especie bioindicadora innovadora, aplicable al ámbito colombiano y replicable, que a futuro pudiera proyectarse como tecnología a ser implementada.

En este proceso y bajo sugerencia del especialista experto, se revisa la posibilidad de proyectar la especie de arañas *Argiope argentata* como el bioindicador útil a ser implementado, esto partiendo de compartir familiaridad (Araneidae) con la especie de arañas *Cyrtophora citricola* cuya característica a destacar es la construcción de telas circulares u orbitales, condición particular que la proyecta como buena especie bioindicadora.

La especie de arañas *Argiope argentata* partiendo de información secundaria podría ser considerada como una buena indicadora, estudios como el de Sarah (2015) han demostrado su utilidad para identificar metales pesados en ambientes de contaminación atmosférica, lo que permite evidenciar sus buenas características de bioindicación al ser de fácil colección, comparable según lo observado a partir de las diferentes áreas a evaluar y de calidad intrínseca si la comparamos con la especie de arañas *Cyrtophora citricola*.

Adicionalmente, es de mencionar que es una especie sobre la cual existe variada información de tipo biológica y ecológica, lo que permite facilitar su análisis como especie bioindicadora. Dentro de la información de importancia a destacar, se resalta que existen tres variables que han sido identificadas como relevantes para el desarrollo de poblaciones de Araneidos: la estructura de la vegetación, la abundancia de las presas y su temperatura (Velasquez, 2016), condicionada esta última por su ubicación en el territorio.

En cuanto a vegetación, es de destacar que según lo evidenciado son especies que se han identificado desde vegetación de manglar, matorrales, pastos, entre otros; esto permitiría indicar que su adaptación dependerá de la vegetación asociada a su hábitat (Velasquez, 2016).



Imagen 8. Araña *Argiope argentata*. Velasquez, 2016

Respecto a su alimentación, si bien la especie es generalista, se ha logrado identificar su preferencia por los insectos dípteros, esto posiblemente asociado a la adaptación de los hábitats en donde las presas de mayor tamaño se presentan de forma limitada (Velasquez, 2016), esto contrastando con lo expuesto de la red INaturalist por Godoy (2019), permite corroborar el buen uso de esta especie como controladora de plagas; información soportada a través de estudios en donde la especie *A. argentata*, podría estar desempeñando un papel importante en la península de Araya al actuar como un posible regulador de poblaciones de insectos de importante entomología médica y veterinaria (Velasquez, 2016), lo que nos podría permitir darle una doble utilidad al uso de la araña no solo como bioindicadora.

Respecto a su hábitat y ubicación en el territorio colombiano, realizando las búsquedas respectivas en los aplicativos del SIB Colombia y INaturalist, se logra identificar que la especie se distribuye en el territorio colombiano, observándose 156 resultados en la base de datos del SIB Colombia y alrededor de 665 observaciones en la base de datos de INaturalist, se logra resaltar la región andina como la que representa una mayor distribución, sin dejar de lado su presencia en la región Pacífica y Caribe.



Imagen 9. Observaciones *Argiope argentata* en Colombia. INaturalist.com

Bajo lo anteriormente expuesto, se propone la implementación del bioindicador para el caso colombiano.

7.5 Propuesta de implementación de uso de bioindicador para un caso colombiano

7.5.1. Identificación del bioindicador

En primera medida, se realiza una corroboración previa según la localización vial escogida, es de recordar que la propuesta partía de la implementación de la especie de arañas *Cyrtophora citricola*, la cual ha sido identificada previamente en estudios en la región del Valle, según la revisión respectiva se identifica de igual manera la presencia de la especie de arañas *Argiope argentata* en el área de estudio seleccionada, por lo que se mantiene el piloto planteado en las áreas indicadas en el numeral 6.3 de este documento.

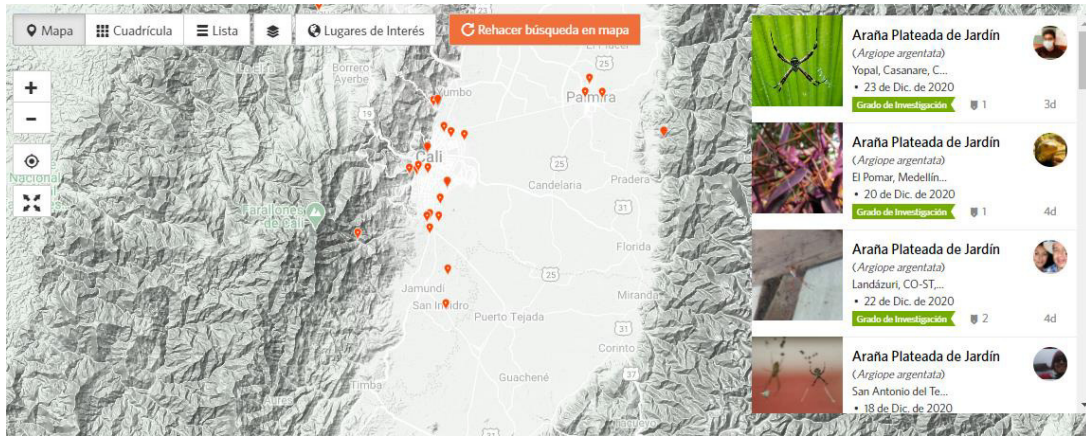


Imagen 10. Observaciones *Argiope argentata* en el área de estudio. INaturalist.com

Posterior a definir la localización del estudio, los tiempos proyectados y elegir el bioindicador deseado, se presenta la propuesta de implementación respectiva, dividida en dos partes, puesta en campo de la especie y levantamiento de muestras para medición de parámetros contaminantes.

La propuesta de implementación parte de tomar como guía los estudios “*Heavy metals assessment in Urban air of national capital region of Delhi using spider webs as bioindicator*” de Upasana et al (2018), “*Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the spider webs in the vicinity of road traffic emissions*” de Rybak et al (2013), “*Notas acerca de la ecología de argiope argentata (fabricius, 1775) (araneidae) en Chile*” de Taucare (2012) “*A Preliminary Study of Argiope Argentata as Indicators of Southern California Metal Contamination*” de Carrat et al. (2015) y “*Biología y ecología de la araña plateada Argiope Argentata (Fabricius, 1775) (araneidae) en un sector xerófilo del noreste de la Península de Araya, Venezuela*” de Velasquez et al (2016), en donde para la evaluación orientados a Medición de parámetros de metales pesados e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos - PAHs en telarañas se hizo uso de estudios asociados a otras especies de arañas.

7.5.2 Sitios de muestreo

Definidos los tramos viales en el numeral 7.3 Localización vial escogida, se proyecta la implementación de los sitios de muestreo en dieciséis (16) puntos a lo largo de las vías escogidas, divididos en ocho (8) puntos para cada vía. En cada tramo vial los puntos se dividirán en dos zonas, siendo cuatro (4) puntos en áreas en donde haya presencia de tejido urbano y se logre identificar presencia de industrias a menos de 200 metros, de ser posible y cuatro (4) puntos en áreas de cultivos o pastos con baja presencia de actividad antrópica de tipo industrial. Adicionalmente, se establecerá una muestra de control en laboratorio que se encuentre exenta de contaminantes

Lo anterior, se propone con el fin de poder generar las respectivas comparaciones entre la contaminación presente en las dos vías cuyo tráfico vial es diferente y como se ve afectada la calidad del aire por las actividades antrópicas desarrolladas en las zonas aledañas de los tramos viales seleccionados. La puesta en marcha de cuatro (4) muestras por cada localización, se realiza con el fin de disminuir el error en la captura de los contaminantes. Cabe aclarar que los puntos propuestos se realizan sobre vías primarias existentes, por lo que el interés con esta propuesta de implementación es analizar los impactos de la etapa operativa de un proyecto vial.

7.5.3. Fase de campo

- Se deben preparar marcos de madera asentados con la telaraña de la especie *Argiope argentata*.

- Se deben ubicar los marcos de madera asentados preferiblemente en arbustos cercanos a sectores con agua y colindantes con las vías.

- Respecto a su localización en el arbusto, se debe ubicar la araña en la parte media o baja de los arbustos (40, 50, 71 y 80 cm), en donde a nivel de predación según lo identificado se han obtenido mejores resultados de otros estudios.

- Realizar visitas constantes por medio de un equipo de profesionales especializados para verificar el estado de las muestras de telaraña implementadas en campo.

Posterior a los tiempos de muestreo deseados, se debe realizar el levantamiento de las muestras correspondientes, los cuales se dividirán en dos métodos según la araña consuma o no la telaraña, es de mencionar que la especie *Argiope Argentata* tiene la característica de alimentarse de su propia telaraña (Carrat et al. 2015).

+ Para el levantamiento de las arañas y su uso como bioindicadoras:

- Realizar la captura de las arañas puestas en campo por medio del método de captura manual, en donde con la identificación de los puntos en donde fueron puestos se captura la araña y se disponen en un frasco de plástico hasta que se movilizan las arañas al laboratorio.

7.5.4. Fase de laboratorio

Arañas:

- Por medio de un microscopio o estereoscopio se separan las patas de cada araña separándolas del cefalotórax. Estas podrán ser usadas para un futuro estudio de asimetría.
- El abdomen y cefalotórax se deshidratan por medio de un rotor de secado.
- Se realiza la correspondiente digestión del abdomen y cefalotórax por medio de una mezcla de HCl, HNO₃ y H₂O₂.
- Las muestras se pasan por un proceso de análisis de espectrometría de masas por plasma - ICP-MS. (Carrat S.A. Et Al. 2015)

Telarañas:

En el caso del levantamiento de las telarañas el mismo se hará con la correspondiente telaraña y marco en donde fue plantada, se debe buscar que las telarañas colectadas presenten unas mismas dimensiones en tamaño y peso (Hose et al. 2002). Las muestras se tomarán con ayuda de las puntas de pipetas, enrollándose en las mismas y se transferirán cuidadosamente a tubos de vidrio para su almacenamiento y movilización a laboratorio.

En el caso en que se capture la telaraña para la medición de metales pesados:

- Las telas recolectadas se secarán a 70°C durante 48 horas y se lavarán con alcohol. Se aplicará HNO₃ concentrado y H₂O₂ para realizar la correspondiente digestión. Después de la digestión, las muestras se filtrarán y se mantendrán a -20°C hasta el análisis correspondiente.

- Las estimaciones de los valores de metales pesados se harán mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS).(Upasana et al, 2018)

En el caso en que se capture la telaraña para la medición de PAHS:

- Las telas se pesarán y se tratarán usando solución de Cloruro de Metileno y Metanol. Se centrifugarán los extractos y se vaporizarán por medio de una corriente de Nitrógeno. Los residuos se disolverán de nuevo en Cloruro de Metileno.
- El contenido de PAH se determinará mediante cromatografía de gases GC MS. Se analizarán las muestras después de realizar una curva de calibración para cada compuesto por medio de una mezcla tipo de valores de los 16 PAHs a concentraciones conocidas. (Rybak et al, 2013)

7.5.5. Actividades de finalización

- Se deberá realizar finalmente la limpieza que corresponda en los árboles en donde se plantó la especie, con el interés de dispersar los individuos que puedan quedar en la zona, para lo anterior se recomienda el uso de agua a alta presión (Edwards, 2012).
- Se realizarán los análisis estadísticos correspondientes que permitan evidenciar la emisión de gases contaminantes y su relación respecto a el tráfico que circula por las vías correspondientes.

8. CONCLUSIONES

Debido a sus características físicas, topográficas, climatológicas y biológicas Colombia presenta una gran variabilidad para el uso de bioindicadores (ya identificados) orientados a la identificación de la calidad del aire.

De los estudios evaluados, se logra identificar que los continentes con países más desarrollados (Europa y Asia) son los que presentan mayor cantidad de estudios en el área de bioindicadores orientados a la calidad del aire. Para el caso colombiano, de los estudios revisados se logra identificar que relacionados al componente de calidad del aire son mínimos los realizados.

Se logra concluir de manera general, que la mayoría de investigaciones revisadas orientadas a bioindicadores de calidad del aire para la identificación de contaminantes, parten del uso de especies arbóreas (Aprox. 51%), líquenes (Aprox. 17%), insectos (Aprox. 7,5%), planta sin ser especie arbórea (Aprox. 7,5%), musgos (Aprox. 5,6%), aves (Aprox. 3,8%), mamíferos (Aprox. 3,8%), humanos (Aprox. 1,9%) y moluscos (Aprox. 1,9%) .

Debido a la gran variabilidad de información y a la caracterización correspondiente, se logró proponer un bioindicador innovador de calidad de aire con alto potencial para el caso colombiano, como es el uso de arañas y telarañas. Cuyas condiciones costo beneficio del monitoreo de calidad de aire podrían permitir obtener datos más eficientes para el manejo de los efectos ambientales de proyectos viales y conservación de los recursos naturales.

La identificación de diferentes estudios que relacionan a las arañas como buenos bioindicadores permite establecer que estas se presentan como una opción de interés para profundizar en el campo de la investigación. Se resalta lo identificado en bibliografía secundaria en donde las telarañas se presentan de mayor ventaja debido a su bajo costo de recolección, disponibilidad de información investigativa, su fácil implementación, entre otros beneficios

9. RECOMENDACIONES

Las entidades ambientales deberían mejorar el método de almacenamiento en digital de sus investigaciones, pues no es factible encontrar información de estudios desarrollados por estas entidades de manera sencilla en la web.

Logrando identificar la gran variedad de bioindicadores aplicables a el territorio colombiano, se recomienda desde la academia y el gobierno fomentar estudios relacionados a esta área, con el fin de coadyuvar a la implementación del CONPES 3943 DE 2018. "Política para el mejoramiento de la calidad del aire"

Con el fin de poder establecer una tecnología orientada a identificación de parámetros contaminantes de la calidad del aire, se recomienda continuar y profundizar con lo propuesto en esta monografía, evaluando su posibilidad de implementación en las diferentes etapas de desarrollo de un proyecto vial.

Para la puesta en marcha de la propuesta aquí presentada, se debe buscar una asesoría con un experto en el campo de las arañas y de la química, que permita definir con mayor

especificidad su método de implementación en campo y evaluación de parámetros en laboratorio.

Para la evaluación química de las muestras mediante los métodos espectrofotometría de absorción atómica, cromatografía de gases, entre otros indicados, se recomienda realizar posteriormente en otro estudio, la evaluación económica pertinente que permita analizar el método más económico a ser implementado de manera replicable.

10. BIBLIOGRAFÍA

Aristizábal, M. (2019). En los rankings de competitividad Colombia ocupa el puesto 83 en infraestructura. Revista La República. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/infraestructura/en-los-rankings-de-competitividad-colombia-ocupa-el-puesto-83-en-infraestructura-2886150>

Congreso de Colombia. (2013). Ley 1682 de 2013, ley de infraestructura. Recuperado de: https://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic5_col_andje_anex8.pdf

Rodriguez, C. (2019). Del total de la red vial terciaria con la que cuenta Colombia, 96% está en mal estado. Revista La República. Recuperado de: <https://www.larepublica.co/infraestructura/del-total-de-la-red-vial-terciaria-con-la-que-cuenta-colombia-96-esta-en-mal-estado-2828335>

Carolina, A (2019). Colombia requiere 45.000 km de vías adicionales, dice el BID. Revista Portafolio. Recuperado de:

<https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/colombia-requiere-45-000-km-de-vias-adicionales-dice-el-bid-528658>

Wilfredo Martínez D. (2014). ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT IN ROAD WORKS. www.revistanegotium.org.ve / núm 29 (año 10) pág 5-21. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/782/78232555002.pdf>

Humboldt. (2017). Biodiversidad colombiana: números para tener en cuenta. Página Web de Humboldt. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/es/boletines-y-comunicados/item/1087-biodiversidad-colombiana-numero-tener-en-cuenta>

Holt, E. A. & Miller, S. W. (2010). Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge*. 3(10):8. Recuperado de: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/bioindicators-using-organisms-to-measure-environmental-impacts-16821310/>

Gonzalez C. y Vallarino A. (2014). Los bioindicadores ¿una alternativa real para la protección del medio ambiente?. *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental* / pág 28-29. Recuperado de: http://aleph.ecosur.mx:8991/exlibris/aleph/a22_1/apache_media/P7TYHDXMR37AG9J2G8K8A1QY885QA3.pdf

Ley N°769. Diario Oficial 44932 del Senado de la República de Colombia, Bogotá, Colombia, 13 de septiembre de 2002.

Resolución N°744. Diario Oficial 47218 del Ministerio de Transporte de Colombia, 4 de Marzo de 2002.

Ley N°1682. Diario oficial 48.982 del Congreso de la República de Colombia, noviembre 22 de 2013

Instituto Nacional de Vías - INVIAS (Ed.). (2011). Guía de Manejo Ambiental de Proyectos de Infraestructura del Subsector Vial. Bogotá, Colombia: INVIAS. Recuperado de: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/guia-de-manejo-ambiental-de-proyectos/971-guia-de-manejo-ambiental/file>.

Martínez D., Wilfredo (2014). Evaluacion del impacto ambiental en obras viales. Negotium, vol. 10, núm. 29, pp. 5-21. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/782/78232555002.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (Ed.). (2012). Informe del Estado de la Calidad del Aire en Bogotá 2007-2010. Bogotá D.C, Colombia. Distribución Gratuita. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/68521396/5.+Informe+del+estado+de+la+calidad+del+aire+2007-2010.pdf/52d841b0-afd0-4b8e-83e5-444c3d17ed29?version=1.0>.

Resolución N°601. Diario Oficial 46232 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 5 de Abril de 2006.

Resolución N°610. Diario Oficial 47.672 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 6 de Abril de 2010.

Capó. M., (2007). Principios de Ecotoxicología. Editorial Tebar, 320 páginas.

Pinilla, G. 2000. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Fundación Universidad de Jorge Tadeo Lozano. Centro de Investigaciones Científicas. Bogotá, Colombia. Disponible en:

https://www.academia.edu/23956863/Indicadores_biologicos_en_ecosistemas_continentales_de_Colombia.

Neuberger-Cywiak, L.; Reyes Gil, R. & Cruz Castejón, D. 2009. Biomarkers of pollution as tools for Ecological Risk Assessment (ERA). In: Ecotoxicology Research Developments edited by Eduardo B. Santos. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-60692-167-8.

Chapter 3, pp: 111-124. Disponible en:

https://www.researchgate.net/profile/Lya_NeubergerCywiak/publication/250309973_Biomarkers_of_pollution_as_tools_for_Ecological_Risk_Assessment_ERA/links/0deec51eaf13599d0d000000/Biomarkers-of-pollution-as-tools-for-Ecological-Risk-AssessmentERA.pdf

Elsevier Scopus, (S.F). The leading abstract and indexing research discovery solution for academia, business and government. Recuperado de:

https://www.elsevier.com/solutions/scopus/who-uses-scopus_

Semana (11/10/2020). Ranking de las mejores universidades de Colombia en este 2020, según Sapiens Research. Semana.com. Recuperado de: <https://www.semana.com/educacion/articulo/ranking-de-las-mejores-universidades-de-colombia-en-este-2020-segun-sapiens-research/202059/>

OMS (S.F.). Calidad del aire, OMS.com. Recuperado de: <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>

SIAC (S.F.). Emisiones, Recuperado de: <http://www.siac.gov.co/emisionesaire>

University College London - Universidad de Los Andes (Ed.) (2013). Caracterización de la contaminación atmosférica en Colombia. Recuperado de: http://aleph.ecosur.mx:8991/exlibris/aleph/a22_1/apache_media/P7TYHDXMR37AG9J2G8K8A1QY885QA3.pdf

Departamento Nacional de Planeación - DNP (2018). Política para el mejoramiento de la calidad del aire. Consejo nacional de política económica y social. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3943.pdf>

Zhenchuan Niu (Et Al), (2013). The spatial distribution of fossil fuel CO₂ traced by $\Delta^{14}\text{C}$ in the leaves of ginkgo (*Ginkgo biloba* L.) in Beijing City, China. Environmental Science and Pollution Research. Volume 23, Issue 1, 1 January 2016, Pages 556-562.

Holt, E. A. & Miller, S. W. (2010) Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge* 3(10):8

Caselle, J. (1998). Levels of lead and other metals in citrus Alongside a motor road. *Kluwer Academic Publishers. Water, Air, and Soil Pollution* 105: 593–602.

Betancur N.(Et Al), (2011). Arañas asociadas a redes de *Cyrtophora citricola* (Forsskål, 1775) (Araneae: Araneidae) en zonas urbanas y rurales del valle alto del río Cauca, Colombia. *Revista Ibérica de Aracnología. Volumen 19. Páginas 15-21.*

INVIAS (S.F.). Galeria de Volumenes de Transito.Web Mapping Application. Recuperado de: <https://hermes.invias.gov.co/volumenes/>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2013). Oferta Agropecuaría: Sistema de Información Geográfica Municipal 2013. Villa Rica, Cauca. Recuperado de: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/8016/1/SIG-MUNICIPAL%20VILLA%20RICA_CAUCA.pdf

Google. (2020). [Imagen Satelital de vía Villa Rica - Jamundí, Colombia en Google maps]. Recuperado el 15 de Diciembre, 2020, de: <https://www.google.com.co/maps/place/Villa+Rica-Jamund%C3%AD/@3.2023574,-76.4946738,1353m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x8e309ea4780d9d57:0x73151a57ddd384dd!8m2!3d3.2036429!4d-76.4933434>

SIAC. (S.F.). [Mapa de vía Villa Rica - Puerto Tejada, Colombia. Capa de Zonificación Ambiental en SIAC]. Recuperado el 15 de Diciembre, 2020, de: <http://sig.anla.gov.co:8083/>

Stojanowska A. Et Al (2020). Spider Webs and Lichens as Bioindicators of Heavy Metals: A Comparison Study in the Vicinity of a Copper Smelter (Poland). Sustainability Vol: 12, issue: 19, 8066.

Rybak J. Et Al (2013). Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the spider webs in the vicinity of road traffic emissions. Environ Sci Pollut Res (2014) 21:2313–2324.

Upasana B. Et Al (2018). Heavy metals assessment in urban air of national capital region of Delhi using spider webs as bioindicator. J. Environ. Sci. Technol., 11: 49-55.

Edwards G.B. (2012). Common Name: a colonial tentweb orbweaver, Scientific Name: *Cyrtophora citricola* (Arachnida: Araneae: Araneidae). University of Florida. DPI Entomology Circular 411. EENY-535. Recuperado de: http://entnemdept.ufl.edu/creatures/MISC/SPIDERS/Cyrtophora_citricola.htm

Capozzi F. Et Al (2016). Biomonitoring of atmospheric pollution by moss bags: Discriminating urban-rural structure in a fragmented landscape. Chemosphere 149 (2016) 211 - 218

Massadeh A. Et Al (2016). Analysis of Zn, Cd, As, Cu, Pb, and Fe in snails as bioindicators and soil samples near traffic road by ICP-OES. Environmental Science Pollution Research. (2016) Vol: 23:13424–13431

Illi J, Et Al(2016). Integrated assessment of air pollution by metals and source apportionment using ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) in southern Brazil. Environmental Science Pollution Research. (2017) Vol 24:2790–2803.

Illi J, Et Al(2016). Manejo de malezas problema: Raigrás, *Lolium* spp. AAPRESID. Volumen VIII – Año 2017. Recuperado de: <http://www.aapresid.org.ar/rem-malezas/archivos/emergencias/documentos/gig-n-vigna-y-yaniccari-manejo-de-malezas-problema-raigr-s-lolium-spp.pdf>

Sánchez A., Et Al(2006). Acerca de la presencia de *Cyrtophora citricola* (Forskål, 1775) (Araneae: Araneidae) en Cuba. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, n1 38 (2006) : 335–336. Recuperado de: <http://sea-entomologia.org/PDF/BSEA38ARACNO/B38335.pdf>.

Blanke R. 1972. Field studies on the ecology and ethology of *Cyrtophora citricola* Araneidae in Andalusia. Forma et Funcio 5: 125-206.

Leborgne R, Cantarella T, Pasquet A. 1998. Colonial life versus solitary life in *Cyrtophora citricola* (Araneae, Araneidae). Insectes Sociaux 45: 125-134.

Sanchez L., 2019. En busca de la fuente: definiendo el origen de *Cyrtophora citricola* (Araneae: Araneidae), una especie invasora en América utilizando comparaciones ambientales. Proyecto de graduación (licenciatura en biología con énfasis en zoología)--Universidad de Costa Rica.

Facultad de Ciencias. Escuela de Biología, 2019. Recuperado de:
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/6283>

Carrat S.A. Et Al. 2015. A Preliminary Study of *Argiope argentata* as Indicators of Southern California Metal Contamination. *Arachnology* 16(9), 314-318.

Velasquez R. Et Al, 2016. Biología y ecología de la araña plateada *Argiope argentata* (Fabricius, 1775) (araneidae) en un sector xerófilo del noreste de la Península de Araya, Venezuela. *Saber* vol.28 no.3 Cumaná set. 2016. Recuperado de:
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622016000300004.

Godoy R., 2019. Observaciones sobre la especie *Argiope Argentata*. *Red Colombiana INaturalist*. Recuperado de:
<https://colombia.inaturalist.org/posts/25411-observaciones-sobre-la-especie-argiope-argentata>

Taucare A., 2012. NOTAS ACERCA DE LA ECOLOGÍA DE *ARGIOPE ARGENTATA* (FABRICIUS, 1775) (ARANEIDAE) EN CHILE. Departamento de Ciencias del Mar, Universidad Arturo Prat, Casilla 121, Iquique, Chile. *Boletín de Biodiversidad de Chile* 7: 42–47 (2012).

ANEXOS

Anexo 1. Matrices compilatorias de los estudios identificados mediante revisión de literatura relacionados con bioindicadores, calidad del aire-emisiones y vías

Primera matriz de eliminación de artículos

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
SCOPUS	Physiological responses of two different epiphytic bromeliads exposed in a polluted subtropical region in southeast Brazil characterized by seasonal climate	1	Aechmea fasciata y Tillandsia usneoides	Si	No	Si	2 años	Si
	Fine air pollution particles trapped by street tree barks: In situ magnetic biomonitoring	2	Corteza Cordyline australis, Fraxinus excelsior and F. pensylvanica (Dentro de 9 especies)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Evaluation of Acer rubrum Tree Bark as a Bioindicator of Atmospheric Heavy Metal Pollution in Toronto, Canada	3	Acer Rubrum	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Traffic noise playback reduces the activity and feeding behaviour of free-living bats	4	5 especies género Myotis	Si	Si	No	6 meses	Si
	Accumulation of Lead (Pb) in the Lichen Thallus of Mahogany Trees in Medan City Road	5	Familia Parmeliaceae, Parmelia saxatilis, Lepraria incana, Pertusaria amara, others	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	The usability of scotch pine (<i>Pinus sylvestris</i>) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey	6	Scotch pine (<i>Pinus sylvestris</i>)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Tree Bark as a Bioindicator for Arsenic and Heavy Metal Air Pollution in Rajnandgaon District, Chhattisgarh, India	7	<i>M. indica</i> , <i>P. sylvestris</i> , <i>E. globulus</i> , <i>D. sissoo</i> , <i>A. marmelos</i> , and <i>F. benghalensis</i>	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Study on arbor leaf and ring as a potential biological indicator for atmospheric polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) distribution at e-wastes recycling sites	8	Magnoliagrandidiflora > Il exchinensis > Cinnamom umcamphora > Cedardeodara > Sabinachinensis > Cunninghamialanceolata > Metasequoia glyptostroboides > Salixbabylonica	Si	No	Si	No indica	Si
	Study of the responses of two biomonitor plant species (Datura alba & Ricinus communis) to roadside air pollution	9	i.e. Datura alba and Ricinus communis	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Using mosses as bioindicators of potentially toxic element contamination in ecologically valuable areas located in the vicinity of a road: A case study	10	Musgo Pleurozium schreberi	Si	Si	Si	5 años	Si
	Size fractionated phytomonitoring of airborne particulate matter (PM) and speciation of PM bound toxic metals pollution through Calotropis procera in an urban environment	11	Calotropis procera	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Role of Dracaena marginata plants as absorbent of lead (Pb) pollutants in city park of Surabaya: A preliminary study	12	Dracaena marginata	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Genotoxic assessment of selected native plants to deferentially exposed urban ecosystems	13	Artemisia vulgaris L., Ballota nigra L., Cichorium intybus L., Linaria vulgaris Mill., Silene latifolia Poir., and Trifolium pratense L. Bellis perennis L., Calystegia sepium (L.) R. Br., and Chelidonium majus L	Si	Si	Si	2 años	Si

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Factors influencing mercury uptake by leaves of stone pine (Pinus pinea L.) in Almadén (Central Spain)	14	Pinus pinea L.	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Accumulation of heavy metals in forest dwarf shrubs and dominant mosses as bioindicators of atmospheric pollution	15	Musgos: glittering wood moss (<i>Hylocomium splendens</i>) and feathermoss (<i>Pleurozium schreberi</i>) Arbustos enanos: European blueberry (<i>Vaccinium myrtillus</i>) and lingonberry (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Biomonitoring and health risks assessment of trace elements in various age- and gender-groups exposed to road dust in habitable urban-industrial areas of Hefei, China	16	Cabello y uñas de personas	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Fluctuating Asymmetry as a Bioindicator of Environmental Stress Caused by Pollution in a Pioneer Plant Species	17	C. pachystachya	Si	Si	Si	6 meses	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Biomonitoring of atmospheric particulate pollution via chemical composition and magnetic properties of roadside tree leaves	18	i.e. Chamaecyparis lawsoniana (English name: Lawson falcy) with scale-like leaves, Ligustrum japonicum (English name: wax-leaf privet) with broad leaves, and Pinus brutia subsp. eldarica (Medw) Silba (English name: Eldar pine)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Efficiency of biomonitoring methods applying tropical bioindicator plants for assessing the phytotoxicity of the air pollutants in SE, Brazil	19	Psidium guajava	Si	Si	Si	7 años	Si
	Bioindicator responses and performance of plant species along a vehicular pollution gradient in western Himalaya	20	26 especies, se incluyen G. robusta, J. regia, Q. floribunda, and T. ciliata	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Characterization of atmospheric emission sources in lichen from metal and organic contaminant patterns	21	<i>X. parietina</i>	Si	Si	Si	2 meses	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	The use of bioindicators for assessing atmospheric pollution with platinum metals	22	Lichen (<i>Xanthoria parietina</i>), moss (<i>Pleurozium schreberi</i>) and needle (<i>Pinus nigra</i>)	No	N.A.	N.A.	N.A.	Si
	Heavy metals assessment in Urban air of national capital region of Delhi using spider webs as bioindicator	23	Redes of <i>Cyrtophora citricola</i> (<i>C. citricola</i>) (Especie tropical)	Si	Si	Si	3 meses	No
	Tree bark as bioindicator of metal accumulation from road traffic and air quality map: A case study of Chiang Mai, Thailand	24	<i>Cassia fistula</i>	Si	Si	Si	6 meses	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Metal bioaccumulation by plants in roadside soils: Perspectives for bioindication and phytoremediation	25	Estudio tipo Review	Si	N.A.(Review de estudio de vías)	N.A.(Review de emisiones)	N.A.(Review de búsqueda de información)	Si
	Phthalate pollution in an Amazonian rainforest	26	Hormigas	Si	Si	No	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	Si

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Analysis of Zn, Cd, As, Cu, Pb, and Fe in snails as bioindicators and soil samples near traffic road by ICP-OES	27	Caracoles (Helix pelasga, Eobania vermiculata, Xeropicta derbentina, Oychilus, Xerocrassa seetzenii, Xerocrassa simulata, and Pila)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Biomonitoring of atmospheric pollution by moss bags: Discriminating urban-rural structure in a fragmented landscape	28	Hypnum cupressiforme	Si	Si	Si	2 meses	No
	Effect of automobile pollution on the chlorophyll content of oxalis corniculata L. leaves	29	oxalis corniculata L	Si	Si	Si	Alrededor de 8 meses	No
	Ambient ozone levels in the eastern mediterranean region	30		Si	No	Si	No indica	Si

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	and assessment of its effect on the forested mountain areas of southern Turkey							
	The spatial distribution of fossil fuel CO ₂ traced by $\Delta^{14}\text{C}$ in the leaves of ginkgo (<i>Ginkgo biloba</i> L.) in Beijing City, China	31	<i>Ginkgo biloba</i> L.	Si	Si	Si	Alrededor de 8 meses	No
	Bioaccumulation and translocation of heavy metals by <i>Plantago major</i> L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution	32		Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the spider webs in the vicinity of road traffic emissions	33	Family Agelenidae	Si	Si	Si	Alrededor de 2 meses	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Pine needles (<i>Pinus sylvestris</i> L.) as bioindicators in the assessment of urban environmental contamination with heavy metals	34	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Small mammals as biomonitors of metal pollution: A case study in Slovenia	35	<i>Apodemus flavicollis</i> , <i>Microtus agrestis</i> , <i>Microtus arvalis</i> , <i>Microtus liechensteini</i> , and <i>Myodes glareolus</i>	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Air-quality biomonitoring: Assessment of genotoxicity of air pollution in the Province of Kayseri (Central Anatolia) by use of the lichen <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf and amplified fragment-length polymorphism markers	36	lichen <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	<i>Quercus ilex</i> L. as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: Effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic	37	<i>Quercus ilex</i> L	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Accumulation of Mn and Pb in linden (<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.) bark and wood	38	linden (<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in Hypogymnia physodes (L.)Nyl. Thalli and changes to morphological structure	39	Hypogymnia physodes (L.)Nyl	Si	Si	Si	Periodo del 2004 al 2007	Si
	Relative effects of vehicle pollution, moisture and colonization sources on urban lichens	40	Alrededor de 20 macrolíquenes	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Inhabitants close to main roads on outskirts of metropolitan cities are exposed more to SOx; Eucalyptus tree as bioindicator	41	Hojas de arbol de Eucalipto	Si	Si	Si	Alrededor de 3 meses de captura de información	No
	The influence of traffic noise on vertebrate road crossing through underpasses	42	8 animales vertebrados	Si	Si	No	9 meses	Si

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Multielement profiles of soil, road dust, tree bark and wood-rotten fungi collected at various distances from high-frequency road in urban area	43	linden tree bark (Tilia sp.) and wood-rotting fungi (Schizophyllum commune)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Metal contamination in mammalian fauna of Sariska Tiger Reserve, Alwar, India	44	Mamiferos (No posible de ser observados)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Metals associated with airborne particulate matter in road dust and tree bark collected in a megacity (Buenos Aires, Argentina)	45	Fraxinus pennsylvanica (green ash)	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Roadside Rhododendron pulchrum leaves as bioindicators of heavy metal pollution in traffic areas of Okayama, Japan	46	R. pulchrum	Si	Si	Si	No indica (Solo se parte de una fecha de captura de las muestras)	No
	Assessment of air pollution by traffic-related metals near a motorway using bioindicators	47	Liquen (Hypogymnia physodes) y Lolium multiflorum	No	Si	Si	Alrededor de 12 meses	Si
	Towards an understanding of the effect of road pollution on adjacent food crops: Zea mays as an example	48		Si	Si	Si	No indica	No
	Pilot study on road traffic emissions (PAHs, heavy metals) measured by using mosses in a tunnel experiment in Vienna, Austria	49	moss species Hylocomium splendens	Si	Si	Si	Alrededor de 1 mes	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Higher plants as bioindicators of sulphur dioxide emissions in urban environments	50	Pyracantha coccinea and Cedrus deodara. Nerium oleander and Pinus pinea.	Si	Si	Si	1 año	No
	Environmental labeling of car tires—toxicity to Daphnia magna can be used as a screening method	51	Daphnia magna	Si	Si	No	N.A.	Si
	Heavy metal concentration in the moss Pleurozium schreberi in the Niepołomice Forest, Poland: Changes during 20 years	52	Musgo Pleurozium Schreberi	Si	Si	Si	20 Años	Si
	Diversity and abundance of vascular epiphytes: a comparison of secondary vegetation and primary montane rain forest in the Venezuelan Andes	53	Gran número de especies de epífitas	Si	Si	Si	Más de 1 año	Si

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Quality Assessment, Functional Potentials, and Safety Evaluation of Stored Egyptian Honey as an Environmental Pollution Bioindicator	54	Miel, no se especifica la especie	Si	Si	Si	Mes de Mayo	No
	Lichens as bioindicators of atmospheric heavy metal pollution in Singapore	55	Dirinaria picta	Si	Si	Si	No indica	No
	Self-organizing feature map (neural networks) as a tool to select the best indicator of road traffic pollution (soil, leaves or bark of Robinia pseudoacacia L.)	56	soil, leaves or bark of Robinia pseudoacacia L.	Si	Si	Si	No indica	No
	Use of pigeons as bioindicators of air pollution from heavy metals at Rabat-Salé (Morocco)	57	Palomas	Si	Si	Si	Alrededor de 5 meses	No
	Peroxidase and superoxide dismutase activities in fig leaves in response to ambient air pollution in a subtropical city	58	Higuera, Ficus microcarpa	Si	Si	Si	Alrededor de 1 años	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Assessment of the air pollution tolerance index and Anticipated Performance Index of commonly growing plant species along the National Highway (NH-7) in Nahan to Paonta Sahib Stretch in Himachal Pradesh, India	59	Ficus roxburghii, Mallotus philippensis, Shorea robusta, Woodfordia fruticosa	Si	Si	Si	No indica	No
	Characterization of pollution by the No2 using twinning of a biological and physicochemical technique in the area of Annaba (Algeria)	60	Xanthoria parietina	No	Si	Si	No indica	Si
	Alstonia scholaris (L.) R.Br.- Planted bioindicador along different road-sides of Lahore city	61	Alstonia scholaris (L.) R.Br.- Planted bioindicador along different road-sides of Lahore city	Si	Si	Si	2 años	Si

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Levels of lead and other metals in citrus alongside a motor road	62	Citrus limon (L.)	Si	Si	Si	No indica	No
	Integrated assessment of air pollution by metals and source apportionment using ryegrass (Lolium multiflorum Lam.) in southern Brazil	63	Ryegrass (Lolium multiflorum Lam.)	Si	Si	Si	Alrededor de 2 meses	No
	Spider webs and lichens as bioindicators of heavy metals: A comparison study in the vicinity of a copper smelter (Poland)	64	Agelenidae family (Eratigena atrica and Agelena labyrinthica) and lichens Hypogymnia physodes	Si	Si	Si	2 meses	No
	Antimony as a tracer of non-exhaust traffic emissions in air pollution in Granada (S Spain) using lichen bioindicators	65	lichen Xanthoria parietina	Si	Si	Si	No indica	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Assessing atmospheric particulate matter distribution based on Saturation Isothermal Remanent Magnetization of herbaceous and tree leaves in a tropical urban environment	66	Amaranthus spinosus (Amaranthaceae), Eleusine indica (Poaceae), Panicum maximum (Poaceae) and Ficus benjamina (Moraceae)	Si	Si	Si	No indica	No
	Tillandsia usneoides: a successful alternative for biomonitoring changes in air quality due to a new highway in São Paulo, Brazil	67	Tillandsia usneoides	Si	Si	Si	3 años	Si
	Leaves of Bauhinia blakeana as indicators of atmospheric pollution in Hong Kong	68	Bauhinia blakeana	Si	Si	Si	No indica	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
	Lichens and bromeliads as bioindicators of heavy metal deposition in Ecuador	69	Parmotrema arnoldii and Tillandsia usneoides	Si	Si	Si	No indica	No
Repositorio de la UNAL	USO DE BIOTIPOS DE LÍQUENES COMO BIOINDICADORES DE PERTURBACIÓN en fragmentos de BOSQUE ALTOANDINO	70	Weinmannia tomentosa como forófitos para los líquenes	Si	No	Ligeramente	No indica	Si
	Comunidades liquénicas como bioindicadores de calidad del aire	71	H. speciosa(Wulf.) Trev yP. petricolaNyl., mientras que para la estación UdeM, fueronCanoparmeliaspy P.austrosinense(Zahlbr.) Hale	Si	SI	Si	No indica	No

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
UNIVALLE	EFFECTO DE LA CONTAMINACION URBANA SOBRE LA VIABILIDAD HUEVO-ADULTO DE DROSOPHILA MELANOGASTER (DROSOPHILIDAE) EN CALI, COLOMBIA	72	HUEVO-ADULTO DE DROSOPHILA MELANOGASTER (DROSOPHILIDAE)	Si	No	Si	Más de 1 mes	Si
UNIANDES	Toxic metal detection on hummingbird feathers captured in the Sabana de Bogotá and characterization of the associated sporulated bacteria.	73	Plumas de colibríes	Si	Ligeramente	Si	No indica	No
Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, revista Bioetnia	Calidad del aire en Quibdó mediante bioindicadores	74	Alrededor de 15 familias de líquenes	Si	Si	Si	No indica	No
Catálogo de la Red de	PHYSIOLOGICAL REACTION OF TOBACCO PLANTS TO AMBIENT AIR	75	Tobacco plant	Si	No	Si	Más de 1 mes	Si

Ubicación Respositorio	Título	Estudio	Bioindicador usado (si esta a especie mejor si no el grupo)	1. Fácil Acceso Documento	2. Asociado con vías	3. Asociado a emisiones	4. Tiempo de muestreo y desarrollo estudio (Se espera sea inferior o igual a 1 año)	Alguna variable no se cumple
Centros de Documentación del SINA (Buscador KOHA)	POLLUTION WITH TROPOSPHERIC OZONE – PRELIMINARY STUDIES							
	Delimitación de áreas de isocontaminación en Cali y Medellín utilizando líquenes como bioindicadores	76	Urapán o fresno (<i>Fraxinus chinensis</i>) y en una proporción reducida, al álamo temblón (<i>Populus tremuloides</i>) y a la yuca (<i>Yucca elephantipes</i>)	Si	No	Si	No indica	Si
	Musgos y líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica por metales pesados en el área del Gran Bilbao, España.	77	N.A.	No	N.A.	N.A.	N.A.	Si

Segunda matriz de artículos factibles a ser implementados, verificación al caso colombiano.

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencio cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltán diseño estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Fine air pollution particles trapped by street tree barks: In situ magnetic biomonitoring	1 Corteza Cordyline australis, Fraxinus excelsior and F. pennsylvanica (Dentro de 9 especies)	Mar del Plata, Buenos Aires Argentina	Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Sb, Sn, V, and Zn were determined in 27 samples by inductively coupled plasma optical emission spectrometry.	Si	No	No	Cordyline australis(Si), Fraxinus excelsior(No) y Fraxinus Pennsylvanica(No) (Dentro de 9 especies)	Cordyline australis(Si), Fraxinus excelsior(No) and F. pennsylvanica(No) (Dentro de 9 especies)	1	1	Arbol
Evaluation of Acer rubrum Tree Bark as a Bioindicator of Atmospheric Heavy Metal Pollution in	2 Acer Rubrum	Toronto, Canada	copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), and zinc	Si	No	No	No	No		1	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Toronto, Canada			(Zn								
Accumulation of Lead (Pb) in the Lichen Thallus of Mahogany Trees in Medan City Road	3 Familia Parmeliaceae, Parmelia saxatilis, Lepraria incana, Pertusaria amara, others	Medan, Sumatera Utara, Indonesia	Pb	Si	No	No	No	Si (Familia Parmicelaeae)		3	Liquen
The usability of scotch pine (Pinus sylvestris) as a biomonitor for traffic-originated heavy metal concentrations in Turkey	4 Scotch pine (Pinus sylvestris)	Ankara-Istanbul route, Turquia	Ni, Cr and Zn	Si	No	No	Si	Si (Identificación en Ecuador)	2	3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Tree Bark as a Bioindicator for Arsenic and Heavy Metal Air Pollution in Rajnandgaon District, Chhattisgarh, India	5 M. indica, P. sylvestris, E. globulus, D. sissoo, A. marmelos, and F. benghalensis	Rajnandgaon District, Chhattisgarh, India	As, Cr, Mn, Cu, Zn, and Pb	Si	No	No	M. indica(Si), P. sylvestris (Si), E. globulus (Si), D. sissoo(No), A. marmelos(No), and F. benghalensis(Si)	M. indica(Si), P. sylvestris (Si), E. globulus (Si), D. sissoo(No), A. marmelos(No), and F. benghalensis(Si)	3	3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Study of the responses of two biomonitor plant species (Datura alba & Ricinus communis) to roadside air pollution	6 i.e. Datura alba and Ricinus communis	Punjab, Pakistan	soil carbon (C) and nitrogen (N) content. Heavy metals - Pb, Cd, Ni, and Zn Chlorophyll a, b, total chlorophylls, carotenoids, total free amino acids, total soluble proteins, total antioxidant activity, stomatal conductance, photosynthetic rate, internal	Si	No	No	Datura alba -Metel(Si) and Ricinus communis (Si)	Datura alba -Metel(Si) and Ricinus communis (Si)	4	3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada	
Size fractionated phytomonitoring of airborne particulate matter (PM)and speciation of PM bound toxic metals pollution through Calotropis procera in an urban environment	7	Calotropis procera	Bilaspur, India	Cd, Al, Si, Cu, Zn, Cr, Pb, Ni, K, Fe, Zr, and Mg. PM 0 a 100 Micrometros	Si	No	No	Si	Si	5	3	Arbol
Role of Dracaena marginata plants as absorbent of lead (Pb) pollutants in city park of Surabaya: A preliminary study	8	Dracaena marginata	Surabaya, Indonesia	Pb	Si	No	No	Si	No		3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencio cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALI ST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Factors influencing mercury uptake by leaves of stone pine (Pinus pinea L.) in Almadén (Central Spain)	9 Pinus pinea L.	Almadén, España	Hg	Si	No	No	No	No		2	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Accumulation of heavy metals in forest dwarf shrubs and dominant mosses as bioindicators of atmospheric pollution	10 Musgos: glittering wood moss (Hylocomium splendens) and feathermoss (Pleurozium schreberi) Arbustos enanos: European blueberry (Vaccinium myrtillus) and lingonberry (Vaccinium vitis-idaea)	Lithuania and Sweden	Cd-, Zn-, Cr- Cu- and Pb	Si	No	No	Hylocomium splendens (Si), Pleurozium schreberi(Si), Vaccinium myrtillus(Si), Vaccinium vitis-idaea(No)	Hylocomium splendens (No), Pleurozium schreberi(No), Vaccinium myrtillus(No), Vaccinium vitis-idaea(No)		2	Musgo

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Biomonitoring and health risks assessment of trace elements in various age- and gender-groups exposed to road dust in habitable urban-industrial areas of Hefei, China	11	Cabello y uñas de personas	Hefei, China	Zn > Mg > Fe > Cr > Al > Sn > Sr > Ti > Cu > As > Cd	Si	Si	No	N.A.	N.A.	3	Humano
Fluctuating Asymmetry as a Bioindicator of Environmental Stress Caused by Pollution in a Pioneer Plant Species	12	C. pachystachya	Minas Gerais State, Brazil	Datos de asimetría, contenido de clorofila, planta como alimento y opacidad	No	No	No	No	No	1	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltán diseño estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Biomonitoring of atmospheric particulate pollution via chemical composition and magnetic properties of roadside tree leaves	13 i.e. Chamaecyparis lawsoniana (English name: Lawson falcly) with scale-like leaves, Ligustrum japonicum (English name: wax-leaf privet) with broad leaves, and Pinus brutia subsp. eldarica (Medw) Silba (English name: Eldar pine)	Babolsar, Babol y Boumehen (Iran)	Al, Ca, Fe, Mg, Mn, Na, Si, Ti, Ba, Co, Cr, Cu, Ni, Rb, V, Zn and Zr. Cl, K, P, S, As, Cd, Cs, Pb, Sn and Sr	Si	No	No	Chamaecyparis lawsoniana(No), Ligustrum japonicum (Si), Genero Pinus (Si)	Chamaecyparis lawsoniana(Si), Ligustrum japonicum (Si) y Gnero Pinus (Si)	6	3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Bioindicator responses and performance of plant species along a vehicular pollution gradient in western Himalaya	14 26 especies, se incluyen G. robusta, J. regia, Q. floribunda, and T. ciliata	Himachal Pradesh (India)	dust accumulation, total chlorophyll, relative water content (RWC), ascorbic acid, and pH using standard protocols. Later, assessment of Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Anticipated Performance Indices (API)	No	No	No	G. robusta (No), J. regia(No), Q. floribunda (No), and T. ciliata (No)	G. robusta (Si), J. regia (Si), Q. floribunda(No), and T. ciliata (No)		3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Characterization of atmospheric emission sources in lichen from metal and organic contaminant patterns	15 <i>X. parietina</i>	Marseille (France)	V, Cr, Mn, Fe, Cd, and Pb Al, Co, Ni, Zn, As, and Mo Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) Dioxins and furans Polychlorinated biphenyls	Si	No	No	Si	Si	7	2	Liquen
Heavy metals assessment in Urban air of national capital region of Delhi using spider webs as bioindicator	16 Redes of <i>Cyrtophora citricola</i> (<i>C. citricola</i>) (Especie tropical)	National Capital Region (NCR) of Delhi	Pb, Zn, Ni, Cd, Cu and Cr	Si	Si	Si	Si	N.A.	8	3	Insectos

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALI ST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Tree bark as bioindicator of metal accumulation from road traffic and air quality map: A case study of Chiang Mai, Thailand	17 Cassia fistula	Chiang Mai, Thailand	Al (1,238) > Fe (707) > Zn (162) » Cu (21.1) » Pb (6.37) > Cr (2.14)	Si	No	No	Si	Si	9	3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Analysis of Zn, Cd, As, Cu, Pb, and Fe in snails as bioindicators and soil samples near traffic road by ICP-OES	18 Caracoles (Helix pelagosa, Eobania vermiculata, Xeropicta derbentina, Oychilus, Xerocrassa seetzenii, Xerocrassa simulata, and Pila)	Irbid-Jordan	Zn, Cd, As, Cu, Pb, and Fe	Si	Si	Si	Helix pelagosa(Si), Eobania vermiculata(No), Xeropicta derbentina(No), Oychilus(Si), Xerocrassa seetzenii(No), Xerocrassa simulata(No), and Pila(No)	Helix pelagosa(No), Eobania vermiculata(No), Xeropicta derbentina(No), Oychilus(Si), Xerocrassa seetzenii(No), Xerocrassa simulata(No), and Pila(No)	10	3	Molusco
Biomonitoring of atmospheric pollution by moss bags: Discriminating urban-rural structure in a	19 Hypnum cupressiforme	Napoles, Italia	Al, Ca, Ce, Co, Cs, Cu, Fe, La, Mn, Mo, Nb, Sn, Sr, Ti, U, Y, Zr	Si	Si	Si	Si	Si	11	2	Musgo

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
fragmented landscape											
Effect of automobile pollution on the chlorophyll content of oxalis corniculata L. leaves	20	oxalis corniculata L	Shillong, India	Concentración de Clorofila	No	No	No	Si	Si	12	3 Arbol
The spatial distribution of fossil fuel CO2 traced by $\Delta 14C$ in the leaves of ginkgo (Ginkgo biloba L.) in Beijing City, China	21	Ginkgo biloba L.	Beijing City, China	Atmospheric fossil fuel CO2 (CO2ff)	Si	Si	No	Si	No		3 Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidenció cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Bioaccumulation and translocation of heavy metals by <i>Plantago major</i> L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution	22 <i>Plantago major</i> L.	Zagazig y Banha, Egipto	Al > Fe > Mn > Zn > V > Sr > Cr > Cu > Ni > Co > Pb > Cd	Si	Si	No	Si	Si	13	4	Planta no arbol
Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on the spider webs in the vicinity of road traffic emissions	23 Family Agelenidae	Wroclaw (Southwest of Poland)	polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution	Si	Si	Si	Si	Si	14	2	Insectos
Pine needles (<i>Pinus sylvestris</i> L.) as bioindicators in the assessment of urban	24 <i>Pinus sylvestris</i> L.	Slupsk , Polonia	Zn, Pb and Mn	Si	No	No	No	No		2	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
environmental contamination with heavy metals											
Small mammals as biomonitors of metal pollution: A case study in Slovenia	25 Apodemus flavicollis, Microtus agrestis, Microtus arvalis, Microtus liechensteini, and Myodes glareolus	Norte de Eslovenia	Pb y Cd	Si	Si	No	Apodemus flavicollis(No), Microtus agrestis(No), Microtus arvalis(No), Microtus liechensteini(No), and Myodes glareolus(No)	Apodemus flavicollis(No), Microtus agrestis(No), Microtus arvalis(No), Microtus liechensteini(No), and Myodes glareolus(No)		2	Mamífero
Air-quality biomonitoring: Assessment of genotoxicity of air pollution in the Province of	26 lichen Pseudevernia furfuracea (L.) Zopf	Kayseri, Turquía	Cambios en la estructura del ADN	No	Si	No	No	No		3	Liquen

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Kayseri (Central Anatolia) by use of the lichen <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf and amplified fragment-length polymorphism markers											
Quercus ilex L. as bioaccumulator for heavy metals in urban areas: Effectiveness of leaf washing with distilled water and considerations on the trees distance from traffic	27 Quercus ilex L	Florencia, Italia	Zn, Pb, Cd, Cu, Fe, Mn, Cr, and Ba	Si	No	No	No	No		2	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Accumulation of Mn and Pb in linden (Tilia platyphyllos Scop.) bark and wood	28 linden (Tilia platyphyllos Scop.)	Majdanpek , Belgrado, Neovisad., Serbia	Mn y Pb	Si	Si	No	Si	No		2	Arbol
Relative effects of vehicle pollution, moisture and colonization sources on urban lichens	29 Alrededor de 20 macrolíquenes	Ottawa, Canada	Cobertura de macrolíquenes y riqueza de variedad de líquenes	No	No	No	Candelaria concolor(Si), Xanthomendoza fallax(No) and Physciella chloantha(No)	Candelaria concolor(Si), Xanthomendoza fallax(No) and Physciella chloantha(No)		1	Liquen
Inhabitants close to main roads on outskirts of metropolitan cities are exposed more to SO _x ; Eucalyptus tree as bioindicator	30 Hojas de árbol de Eucalipto (Género Eucalipto)	Punjab province, Pakistan	SO _x	Si	No	No	Si	Si	15	3	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Multi-element profiles of soil, road dust, tree bark and wood-rotten fungi collected at various distances from high-frequency road in urban area	31 linden tree bark (Tilia sp.) and wood-rotting fungi (Schizophyllum commune)	Banja Luka, Bosnia and Herzegovina	Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn y Hg	Si	No	No	Tilia sp.(No) y Schizophyllum commune(Si)	Tilia sp.(No) y Schizophyllum commune(Si)	16	2	Arbol
Metal contamination in mammalian fauna of Sariska Tiger Reserve, Alwar, India	32 Mamíferos (No posible de ser observados), se evalúan solo algunos	Sariska Tiger Reserve, Alwar, India	Pb, Cd, Cr, Cu y Zn	Si	Si	No	Boselapus Tragocamel (No), Hystrix indica (No), Macaca mulatta (No)	Boselapus Tragocamel (No), Hystrix indica (No), Macaca mulatta (Si)		3	Mamífero
Metals associated with airborne particulate matter in road dust and tree bark collected	33 Fraxinus pennsylvanica (green ash)	Buenos Aires, Argentina	Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb and Zn	Si	No	No	Fraxinus (Si)	Fraxinus pennsylvanica (No)		1	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
in a megacity (Buenos Aires, Argentina)											
Roadside Rhododendron pulchrum leaves as bioindicators of heavy metal pollution in traffic areas of Okayama, Japan	34	Rhododendron pulchrum	Okayama, Japón	Zn, Pb, Cr, Cd, and Cu	Si	No	No	Rhododendron (si)	No		3 Arbol
Towards an understanding of the effect of road pollution on adjacent food crops: Zea mays as an example	35	Zea Mays	Cabo Pappas, Grecia	C, Al, Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Fe, Mn, Cr, Co, P, Ca, Mg and Na	Si	No	No	Si	Si	17	2 Planta no arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Pilot study on road traffic emissions (PAHs, heavy metals) measured by using mosses in a tunnel experiment in Vienna, Austria	36 moss species Hylocomium splendens	Vienna, Austria	PAHs, especially benzo(g,h,i)perylene (150.7), coronene (134.7), benzo(a)anthracene (125.0), indeno(1,2,3-c,d)pyrene (79.8), chrysene (78.1), pyrene (69.6) and benzo(b)-fluoranthene (67.4), and among the other elements for	Si	Si	Si	No	No		2	Musgos

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencio cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltán dose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALI ST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
			Sb (73.1), Mo (59.6), Cr (33.9), As (24.1), Cu (19.6), and Zn (17.1)								
Higher plants as bioindicators of sulphur dioxide emissions in urban environments	37 Pyracantha coccinea and Cedrus deodara. Nerium oleander and Pinus pinea.	Madrid, España	SO2	Si	No	No	Pyracantha coccinea (Si), Cedrus deodara (No). Nerium oleander(Si) and Pinus pinea.(No)	Pyracantha coccinea (Si), Cedrus deodara(No). Nerium oleander(Si) and Pinus pinea.(No)	18	2	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Quality Assessment, Functional Potentials, and Safety Evaluation of Stored Egyptian Honey as an Environmental Pollution Bioindicator	38 Apis mellifera lamarekii (Miel)	Egipto	Contenido de agua, TSS, EC, pH, Acidez, HMF, Calcio, Hierro, cobre, magnesio, potasio, sodio y Zinc	Si	Si	Si	No	No		4	Insecto
Lichens as bioindicators of atmospheric heavy metal pollution in Singapore	39 Dirinaria picta	Singapur	As, Cd, Cu, Ni, Pb y Zn	Si	No	No	Si	No		3	Liquen
Self-organizing feature map (neural networks) as a tool to select the best indicator of road traffic pollution	40 soil, leaves or bark of Robinia pseudoacacia L.	Wroclaw, Polonia	Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn, Cd y Cu	Si	No	No	No	No		2	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio o Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
(soil, leaves or bark of Robinia pseudoacacia L.)											
Use of pigeons as bioindicators of air pollution from heavy metals at Rabat-Salé (Morocco)	41	Palomas, Columbia Livia	Rabbat Salé, Marruecos	Pb, Cd y Zn	Si	Si	No	Si	Si	19	4 Aves
Peroxidase and superoxide dismutase activities in fig leaves in response to ambient air pollution in a subtropical city	42	Higuera, Ficus microcarpa	Taipei, Taiwan	SO ₂ , CO, O ₃ , PM ₁₀ , and NO _x	Si	No	No	Si	Si	20	3 Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Assessment of the air pollution tolerance index and Anticipated Performance Index of commonly growing plant species along the National Highway (NH-7) in Nahan to Paonta Sahib Stretch in Himachal Pradesh, India	43 Ficus roxburghii, Mallotus philippensis, Shorea robusta, Woodfordia fruticosa	HIMACHAL PRADESH, INDIA	Relative water content, Corofila Total, pH hoja, Ácido ascórbico, APTI	No	No	No	Ficus roxburghii(No), Mallotus philippensis(No), Shorea robusta(No), Woodfordia fruticosa(No)	Ficus roxburghii(No), Mallotus philippensis(No), Shorea robusta(No), Woodfordia fruticosa(No)		3	Arbol
Levels of lead and other metals in citrus alongside a motor road	44 Citrus limon (L.)	Murcia - Alicante, España	Pb, Cu, Mn y Zn	Si	No	No	Si	Si	21	2	Arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidenció cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Integrated assessment of air pollution by metals and source apportionment using ryegrass (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.) in southern Brazil	45 Ryegrass (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	Porto Alegre, Brasil	Fe, Al, Pb, Cu, Zn, Ni, Ba, Cr y Mn	Si	Si	Si	Si	Si	22	1	Planta no arbol
Spider webs and lichens as bioindicators of heavy metals: A comparison study in the vicinity of a copper smelter (Poland)	46 Agelenidae family (<i>Eratigena atrica</i> and <i>Agelena labyrinthica</i>) and lichens <i>Hypogymnia physodes</i>	Legnica, western Poland	Cu, Zn, Pb, As and Ni.	Si	Si	Si	Agelenidae family(Si), <i>Eratigena atrica</i> (No), <i>Agelena labyrinthica</i> (No) y lichens <i>Hypogymnia physodes</i> (No)	Agelenidae family(Si), <i>Eratigena atrica</i> (No), <i>Agelena labyrinthica</i> (No) y lichens <i>Hypogymnia physodes</i> (No)	23	2	Insecto

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidenció cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia no	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada	
Antimony as a tracer of non-exhaust traffic emissions in air pollution in Granada (S Spain) using lichen bioindicators	47	lichen Xanthoria parietina	Granada, España	Al, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, As, Cd, Sn, Sb, Ba, Tl, Pb, Th, and U	Si	No	No	Si	Si	24	2	Liquen
Assessing atmospheric particulate matter distribution based on Saturation Isothermal Remanent Magnetization of herbaceous and tree leaves in a tropical urban environment	48	Amaranthus spinosus (Amaranthaceae), Eleusine indica (Poaceae), Panicum maximum (Poaceae) and Ficus benjamina (Moraceae)	Abiyán, Costa de Marfil	SIRM Leaf,	No	No	No	Amaranthus spinosus (Si), Eleusine indica (Si), Panicum maximum (Si) and Ficus benjamina (Si)	Amaranthus spinosus (Si), Eleusine indica (Si), Panicum maximum (Si) and Ficus benjamina (Si)	25	4	Planta no arbol

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
Leaves of Bauhinia blakeana as indicators of atmospheric pollution in Hong Kong	49 Bauhinia blakeana	Hong Kong	Fe Cu Zn Pb SO2	Si	No	No	No	No		3	Arbol
Lichens and bromeliads as bioindicators of heavy metal deposition in Ecuador	50 Parmotrema arnoldii and Tillandsia usneoides	Loja, Ecuador	Cd, Pb, Mn, Cu y Zn	Si	No	No	Parmotrema arnoldii(Si) y Tillandsia usneoides (Si)	Parmotrema arnoldii(No) y Tillandsia usneoides (Si)	26	1	Liquen
Comunidades líquénicas como bioindicadores de calidad del aire	51 H. speciosa(Wulf.) Trev yP. petricolaNyl., mientras que para la estación UdeM, fueronCanoparmeliaspyP.austr	Medellín	Área de liquen en superficie	No	No	No	Si		27	1	Liquen

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencia cuantificación de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALIST	Especies Presentes en el Territorio Colombia	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada
	osinense(Zahlbr.) Hale										
Toxic metal detection on hummingbird feathers captured in the Sabana de Bogotá and characterization of the associated sporulated bacteria.	52 Plumas de colibríes	Cundinamarca, Colombia	Pb y Cr	Si	Si	No	Si		28	1	Aves

Estudio (Bioindicador)	Bioindicador usado	Lugar del estudio	Parámetros medidos (Número)	1. El estudio evidencio cuantifica ción de parámetros contaminantes	2. Innovador (Resaltándose estudios diferentes a uso de hojas y corteza de plantas y líquenes)	3. Facilidad de replica (Posibilidad de ubicar el bioindicador en cualquier parte y hacer uso de su función- No costoso)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. SIB COLOMBIA- (Catalogo de Plantas y Líquenes de Colombia, Lista de especies de plantas -RESNATUR)	4. Especie posiblemente identificada en Colombia. INATURALI ST	Especies Presentes en el Territorio o Colombiano	Ubicación Respositorio	Tipo de Especie identificada	
Calidad del aire en Quibdó mediante bioindicadores	53	Alrededor de 15 familias de líquenes	Quibo-Choco/ Colombia	Número de especies y área de cobertura	No	No	No	Si		29	1	Liquen