



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Evaluación de la calidad del aire mediante el biomonitoreo con el pinzón mexicano (*Haemorhous mexicanus*) y la percepción social en la ciudad de Puebla.

Tesis presentada para obtener el grado de Maestría en Ciencias Biológicas.

PRESENTA:

BIOL. HÉCTOR GONZÁLEZ OREA

DIRECTORA: Dra. en D. R. Ma. Concepción López Téllez

CODIRECTOR: Dr. en C. Octavio Gamaliel Aztatzi Aguilar

ASESORES:

Dra. en C. Angélica Trujillo Hernández

M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo

Mayo de 2023





**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

H. Puebla de Z. a 26 de abril de 2023

Asunto: Voto Aprobatorio

**Comité Académico del Posgrado
PRESENTE**

Por medio de la presente se hace constar que se revisó y aprobó la tesis titulada:

**“Evaluación de la calidad del aire mediante el biomonitoreo con el pinzón mexicano
Haemorrhous mexicanus y la percepción social en la ciudad de Puebla”**

Que presenta el estudiante **Héctor González Orea** con número de matrícula **220470527**, aspirante al grado de **Maestro en Ciencias Biológicas**, de la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento: **“Ecología y Aprovechamiento de Recursos Bióticos”**, notificamos que la tesis reúne los requisitos y se aprueba para su réplica oral en el examen de grado.

Por lo tanto, emitimos los **VOTOS APROBATORIOS** como miembros del **Comité de Jurado de Examen de Grado** como a continuación se indica:

Tutor Interno: Dra. Angélica Trujillo Hernández

Tutor Externo: M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo

Revisor: Dr. Miguel Betancourt Lozano



Agradecemos de antemano la atención que se sirva prestar a la presente.

DECLARATORIA DE TRABAJO ORIGINAL

Nombre del Autor: Héctor González Orea

Número de matrícula: 220470527

Programa: Maestría en Ciencias Biológicas de la BUAP

Título de la Tesis: “Evaluación de la calidad del aire mediante el biomonitoreo con el pinzón mexicano (*Haemorrhous mexicanus*) y la percepción social en la ciudad de Puebla”.

Lugar: H. Puebla de Zaragoza

Fecha: 12 de Mayo de 2023

Por medio de la presente **DECLARO QUE:** El documento de tesis presentado para la obtención de grado de Maestro en Ciencias Biológicas es una obra original que ha sido desarrollado íntegramente, que no se han utilizado ideas, formulaciones, citas, ilustraciones diversas u otra información de fuentes en medios escritos o electrónicos, sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor (es).

Además, el documento no infringe los derechos de propiedad intelectual ni otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente.

Del mismo modo, la tesis no es plagio y no ha sido usada para otro trámite de graduación por lo cual asumo frente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y ante la instancia que corresponda cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la falta de originalidad del contenido de la tesis terminal presentada en conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.



Biól. Héctor González Orea

Dedicatoria

Por siempre y para siempre dedico mis logros a ti mi mamita chula, gracias por todo hasta el cielo, te amo Teresita.

A mí mismo por darme permiso de ser.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento y apoyo brindado durante la realización de este proyecto a través del número de beca 772670.

Agradezco a la BUAP, a la VIEP por la beca otorgada de los Proyectos VIEP 2022 para el Cuerpo Académico Medio Ambiente y Educación (BUAP-CA-201).

A la Maestría en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Biológicas incluida en el PNPC (Clave 005671), por su apoyo durante mis estudios.

Al Departamento de Investigación en Toxicología y Medicina Ambiental del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas, en especial a la Dra. Martha Patricia Sierra Vargas por las facilidades prestadas para la realización de los ensayos de estrés oxidativo.

Al Departamento de Investigaciones Arquitectónicas y Urbanísticas (DIAU) de la BUAP por otorgarme la información sobre los parámetros atmosféricos de la Red Automática de Monitoreo Meteorológico (RAMM) del Valle de Puebla del periodo de estudio.

A la Dra. en D.R. María Concepción López Téllez, al Dr. Octavio Gamaliel Aztatzi Aguilar, sus conocimientos invaluable que me brindaron para llevar a cabo esta investigación y su apoyo. Agradezco a los miembros del jurado, la Dra. Angélica Trujillo Hernández, al M. en C. Hugo Rodolfo Molina Arroyo y al Dr. Miguel Betancourt Lozano, por las valiosas contribuciones que hicieron al trabajo final y por el tiempo que dedicaron para revisarlo.

Agradezco a los profesores del programa de la maestría.

A Josué Abraham Cruz, Geovanny Ramírez y Rebeca Miguel y sus familias por las facilidades otorgadas para la instalación de las estaciones experimentales y el cuidado de las aves en sus domicilios.

A mi marido Oscar por amarme, estar siempre conmigo y apoyarme.

A mi Leo por traer alegría y felicidad a nuestro hogar. A mi hermana Rocío por estar conmigo.

A mis amigos Luis Aguilar, Ioana Torres, Víctor Santiago, Judith Méndez y Sandy Montero por su amistad y apoyo a través de los años.

Índice

Índice de figuras	8
Índice de tablas.....	10
Resumen.....	11
I. Introducción	12
II. Marco teórico.....	15
II.1. Contaminación del aire	15
II.2. Contaminación del aire y salud.....	17
II.3. Redes de monitoreo de la calidad del aire.....	17
II.4. Contaminantes criterio	20
II.5. Estrés oxidativo	24
II.6. Biomonitorio ambiental	29
II.7. Respiración aviar	32
II.8. Percepción social de la calidad del aire	35
III. Antecedentes.....	38
IV. Justificación	42
V. Pregunta de investigación	43
VI. Hipótesis de investigación	43
VII. Predicciones.....	43
VIII. Objetivos	44
VIII.1. Objetivo General	44
VIII.2. Objetivos específicos	44
IX. Métodos.....	45
IX.1. Área de estudio.....	45
IX.2. Modelo de estudio	46
IX.3. Diseño de investigación	48
IX.4. Adquisición y aclimatación de las aves.....	50
IX.5. Toma de muestras de referencia de las aves.....	51
IX.6. Ensayos de estrés oxidativo	52
IX.7. Obtención de datos de concentración de contaminantes monitoreados por la REMA y parámetros ambientales.....	55

IX.8. Aplicación de encuestas semiestructuradas.....	56
X. Análisis de datos	57
X.1. Biomonitorio de la calidad del aire.....	57
X.1.1. Morfometría de las aves	57
X.1.2. Biomarcadores de estrés oxidativo	57
X.1.3. Contaminantes criterio	58
X.1.4. Temperatura y humedad relativa	59
X.1.5. Análisis de correlación.....	59
X.1.6. Análisis de componentes principales	59
X.1.7. Análisis de clústeres.....	60
X.2. Percepción y representación social.....	60
XI. Resultados.....	62
XI.1. Biomonitorio de la calidad del aire	62
XI.1.1. Morfometría de las aves	62
XI.1.2. Contaminantes criterio	63
XI.1.3. Temperatura y humedad relativa.....	66
XI.2. Biomarcadores de estrés oxidativo	68
XI.3. Correlación de variables climáticas y biomarcadores de estrés oxidativo	80
XI.4. Percepción y representación social.....	83
XII. Discusión.....	91
XIII. Conclusiones.....	95
XIV. Recomendaciones	95
Referencias.....	97

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la REMA en el estado de Puebla.....	18
Figura 2. Estrés oxidativo	26
Figura 3. Sistema respiratorio aviar y flujo de aire durante el ciclo respiratorio.....	33
Figura 4. Circulación del aire a través de los diferentes órganos del sistema aire durante el ciclo respiratorio.....	33
Figura 5. Área de monitoreo de contaminantes de la REMA de la ciudad de Puebla y su zona conurbada.....	45
Figura 6. <i>Haemorrhous mexicanus</i> hembra y macho.....	46
Figura 7. Distribución de la especie <i>Haemorrhous mexicanus</i> en el estado de Puebla.....	47
Figura 8. Individuos en jaula utilizada en el proyecto.....	48
Figura 9. Localización de las estaciones experimentales dentro del área de monitoreo de contaminantes de la REMA de la ciudad de Puebla.....	49
Figura 10. Toma de muestra sanguínea.....	50
Figura 11. Parte de los equipos utilizados en el procesamiento de muestras durante los ensayos de estrés oxidativo.....	53
Figura 12. Muestras procesadas después de los ensayos de estrés oxidativo.....	54
Figura 13. Medias ponderadas para el peso durante los muestreos del estudio.....	63
Figura 14. Concentrado total del comportamiento mensual de los diferentes contaminantes criterios obtenidos de las estaciones de monitoreo automatizado de la Ciudad de Puebla REMA	65
Figura 15. Temperatura y humedad relativa durante el periodo de estudio por estación de monitoreo automático.....	67
Figura 16. Comportamiento del biomarcador arginasa para cada estación experimental entre los muestreos.....	68
Figura 17. Comportamiento del biomarcador arginasa entre los muestreos para cada estación experimental.....	69
Figura 18. Comportamiento del biomarcador glutatión-s-transferasa para cada estación experimental entre los muestreos.....	70
Figura 19. Comportamiento del biomarcador glutatión-s-transferasa entre los muestreos para cada estación experimental.....	71

Figura 20. Comportamiento del biomarcador malondialdehído para cada estación experimental entre los muestreos.....	72
Figura 21. Comportamiento del biomarcador malondialdehído entre los muestreos para cada estación experimental.....	73
Figura 22. Comportamiento del biomarcador metilglioxal para cada estación experimental entre los muestreos.....	74
Figura 23. Comportamiento del biomarcador metilglioxal entre los muestreos para cada estación experimental.....	75
Figura 24. Comportamiento del biomarcador mieloperoxidasa para cada estación experimental entre los muestreos.....	76
Figura 25. Comportamiento del biomarcador mieloperoxidasa entre los muestreos para cada estación experimental.....	77
Figura 26. Comportamiento del biomarcador POAP para cada estación experimental entre los muestreos.....	78
Figura 27. Comportamiento del biomarcador POAP entre los muestreos para cada estación experimental.....	79
Figura 28. Biplot del análisis de componentes principales, componente principal 1 y componente principal 2.....	82
Figura 29. Análisis de clúster por estaciones y muestreos de variables climáticas y biomarcadores de estrés oxidativo.....	82
Figura 30. Estructura demográfica de las personas encuestadas por sexo y rango de edad.....	83
Figura 31. Escolaridad de la población encuestada por porcentaje.....	84
Figura 32. Red de la pregunta ¿Cómo considera que es la calidad del aire que respira?....	88
Figura 33. Red de la pregunta ¿Cree que los síntomas relacionados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares pueden ser por causa de la contaminación del aire?.....	88
Figura 34. Red de la pregunta ¿Cree que pueda estar en riesgo su salud por la contaminación del aire?.....	89
Figura 35. Red de la pregunta ¿Qué tanto le preocupa la contaminación del aire?.....	89
Figura 36. Red de la pregunta ¿Cree que las medidas tomadas hasta ahora para reducir la contaminación del aire han tenido éxito?.....	90

Índice de tablas

Tabla 1. Proporción de moléculas en aire limpio y seco (Tomado y modificado de Colls, 2002).	16
Tabla 2. Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA), Puebla.	19
Tabla 3. Normas oficiales mexicanas (NOM) en salud ambiental que regulan los contaminantes criterio para evaluar la calidad del aire en México (INECC, 2019).	20
Tabla 4. Tabla de categorías de la calidad del aire y su identificación por color (INECC, 2019).	21
Tabla 5. Especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno (Tomado de Gutiérrez, 2006).....	24
Tabla 6. Ubicación geográfica de las estaciones experimentales establecidas para el biomonitoreo ambiental en la Ciudad de Puebla.	49
Tabla 7. Fechas de los muestreos realizados en cada una de las unidades experimentales.	52
Tabla 8. Ensayos para determinar el estrés oxidativo utilizados en las muestras de las aves de las unidades experimentales establecidas en la ciudad de Puebla.	53
Tabla 9. Resultados de la prueba de rango de Tukey (error: entre cuadrado medio = 0,09182, gl = 15) para el peso entre muestreos.	62
Tabla 10. Estadísticos descriptivos de los contaminantes criterio enero – mayo 2021.....	66
Tabla 11. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador arginasa.	68
Tabla 12. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador glutatión-s-transferasa.	70
Tabla 13. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador malondialdehído.	72
Tabla 14. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador metilglioxal.	74
Tabla 15. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador mieloperoxidasa.....	76
Tabla 16. Prueba de Friedman para los muestreos por estaciones para el biomarcador POAP.....	78
Tabla 17. Tabla de correlación entre parámetros climáticos, contaminantes criterio y biomarcadores analizados.	80
Tabla 18. Contribución a la varianza explicada de las variables analizadas a los componentes principales 1 y 2 del estudio.	81
Tabla 19. Valores relativos de cada variable para cada clúster de variables climáticas y biomarcadores de estrés oxidativo.	83
Tabla 20. Índices de información totales de la RS sobre la percepción de la calidad del aire de la ciudad de Puebla durante mayo de 2021	86

Resumen

La contaminación del aire es un problema que afecta a zonas urbanas. Los contaminantes atmosféricos se mezclan en el aire, ingresando al respirar, afectan la salud humana y de la fauna. En México existe una red de monitoreo de la calidad del aire que se rige por normas oficiales de calidad del aire. En la ciudad de Puebla, la red de monitoreo reporta las concentraciones de contaminantes criterio de la calidad del aire de manera regular, aunque discontinua por fallas o mantenimiento de las estaciones automáticas. El estrés oxidativo es un estado bioquímico en los seres vivos donde las moléculas oxidantes se encuentran en mayor proporción que las moléculas antioxidantes provocando daño macromolecular en las células y promoviendo diversas enfermedades. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de los “contaminantes criterio” del aire de la ciudad de Puebla sobre la concentración de los biomarcadores de estrés oxidativo en el pinzón mexicano *Haemorrhous mexicanus*, estudio que se refuerza con el análisis de la percepción social sobre la calidad del aire de la zona. Con este propósito se caracterizaron y correlacionaron los valores de concentración de los contaminantes (dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, monóxido de carbono, ozono y material particulado) de la red de monitoreo automática de la ciudad de Puebla con los niveles de concentración de biomarcadores de estrés oxidativo (arginasa, glutatión s-transferasa, malondialdehído, metilglioxal, mieloperoxidasa y productos de oxidación avanzados de proteínas) del *H. mexicanus* y algunas variables climatológicas tales como la temperatura y la humedad relativa. Se realizó un análisis de componentes principales para establecer las relaciones entre las variables. Se llevó a cabo una encuesta vía electrónica para efectuar después un análisis de percepción social con números de Hill y redes de representación social. Las variables que se relacionaron estadísticamente fueron la temperatura con los contaminantes ozono y PM_{2.5}, estos a su vez, se relacionaron positivamente con los biomarcadores malondialdehído y metilglioxal sugiriendo una relación entre estos biomarcadores y la exposición inhalatoria en las aves. A partir del análisis de percepción y representación social se reporta que el conocimiento de las personas respecto a la calidad del aire es “regular”, la población indicó que desconoce dónde informarse sobre el estado de la calidad del aire y que la exposición a una mala calidad del aire influye de manera negativa en su salud, además las ideas que tienen las personas sobre el tema confluyen en temas generales bien definidos como salud y enfermedades relacionadas, calidad de vida y futuro de los hijos. El presente estudio es pionero en su tipo para la ciudad de Puebla y el Estado, la contribución de este es un acercamiento a un problema que va en aumento y que requiere tomar medidas para prevenir y resolver a través de la colaboración entre academia, sociedad y gobierno.

Palabras clave: contaminación del aire, estrés oxidativo, aves, representación social.

I. Introducción

La contaminación del aire es un problema que afecta directamente a la sociedad en varios aspectos, uno de ellos es en el ámbito de la salud. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la calidad de vida se ve afectada y miles de personas mueren al año prematuramente por la acción de los contaminantes presentes en la atmosfera en las ciudades grandes y medianas (OMS, 2018), además, los costos que conlleva el tratamiento de enfermedades asociadas a la contaminación atmosférica se elevan, tanto para las familias que pagan este o el gobierno que brinda la atención (Banco Mundial, 2016). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU), el porcentaje de personas que vivirán en áreas urbanas fue del 55% en 2018 y para el 2050 será del 68%, por lo que; la contaminación del aire como consecuencia de la urbanización será un tema importante de investigar y regular (ONU, 2018).

El biomonitoreo es una herramienta que permite de manera económica y relativamente fácil analizar cómo los contaminantes afectan parámetros fisiológicos de los organismos de experimentación o de vida silvestre, permitiendo extrapolar los resultados obtenidos para explicar los efectos de la contaminación en la fisiología del ser humano u otras especies (Elarabany y El-Batrawy, 2019). El grupo de las aves se ha utilizado como bioindicador de contaminación del aire, debido a su eficiente sistema respiratorio (Brown et al., 1997), las respuestas al estrés producidas por los contaminantes se pueden utilizar como biomarcadores que alertan sobre la presencia de estos en la atmósfera y permiten analizar el efecto en la salud del ave y relacionarla con otros parámetros como el lugar donde habita, la edad o la capacidad reproductiva (Herrera-Dueñas et al., 2014; Amri et al., 2016; Eikenaar et al., 2020).

Existen diversos biomarcadores que permiten analizar los efectos de la contaminación atmosférica en el ave estudiada, los biomarcadores elegidos dependerán del objetivo del estudio (Markert et al., 2003). Los biomarcadores de estrés oxidativo son frecuentemente utilizados ya que los contaminantes del aire son moléculas prooxidantes (Delfino et al., 2011). El estrés oxidativo es un desequilibrio en el balance de moléculas prooxidantes/antioxidantes en el organismo, respirar aire contaminado aumenta la presencia de moléculas prooxidantes; en la célula existen mecanismos para mantener el equilibrio de este balance aumentando la

producción de moléculas antioxidantes, cuando estos mecanismos son insuficientes, se produce el estrés oxidativo que causa daño a lípidos, carbohidratos, proteínas y al ADN de la célula (Monaghan et al., 2009). El aumento en la producción de moléculas antioxidantes y la presencia de productos derivados del daño a las biomoléculas son los biomarcadores que permiten llevar a cabo los estudios en sangre y tejidos para el biomonitoreo de contaminantes en el aire.

Las aves del orden Passeriformes han sido utilizadas de una manera continua en el biomonitoreo ambiental de la calidad del aire por su estrecha relación a ambientes urbanos y, en algunos casos debido su amplia distribución por lo que se convierten en una excelente opción para realizar estos estudios que complementa la información que generan los sistemas automatizados (Isaksson et al., 2009; Herrera-Dueñas et al., 2014; Amri et al., 2016; Salmón et al., 2018; Angeoletto et al., 2019).

Los gobiernos de diferentes países han establecidos redes de monitoreo ambiental que miden la concentración de contaminantes criterio en las ciudades (INECC, 2017), de acuerdo con las normas de cada país estos pueden cambiar pero en general se monitorean las moléculas que se ha demostrado contribuyen con más peso a la contaminación atmosférica y efectos adversos a la salud, las cuales son: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO), ozono (O₃) y material particulado menor a 2.5 y 10 µm (PM_{2.5} y PM₁₀, respectivamente) (OMS, 2006, 2018). En la ciudad de Puebla existe una red de monitoreo ambiental que mide estos contaminantes criterio y que consta de cinco estaciones de monitoreo automático, esta red al igual que muchas otras en México presenta datos incompletos o insuficientes en su información (INECC, 2019), por lo que añadir otros métodos de monitoreo como el propuesto puede ayudar a complementar la información generada por esta.

En el país son pocos los estudios sobre el uso de especies silvestres en áreas urbanas como bioindicadores de la contaminación atmosférica, para el estado de Puebla no existen estudios publicados sobre el tema, por lo que, en este proyecto de investigación se buscó analizar el efecto de la concentración de contaminantes criterio de la atmósfera sobre algunos biomarcadores de estrés oxidativo en el pinzón mexicano *Haemorhous mexicanus* mediante un biomonitoreo en la ciudad de Puebla durante la temporada seca de 2021, esto para

generar conocimiento de que tan alterado está el aire que se respira en la ciudad y como este puede afectar fisiológicamente al ser humano y otras especies animales; esta información puede generar nuevo conocimiento relacionado con el tema que podría permitir a las autoridades responsables tomar decisiones para regular y controlar la calidad del aire en la ciudad no solo a nivel de monitoreo sino un manejo integrado de este problema.

Sin duda la contaminación del aire es un tema que estará presente en las siguientes décadas, y seguirá siendo abordado como hasta ahora desde diferentes perspectivas tanto de investigación como de gobernanza en donde la población tendrá un papel central para su manejo (Simioni, 2003). Generar conciencia sobre los efectos en la salud del aire que se respira puede producir que haya más atención al tema y por ende se inviertan más recursos a la disminución del problema (Hernández, 2011), por lo que, con el fin de integrar una perspectiva social al estudio se incorporó el análisis de la percepción a través de la representación social sobre la calidad del aire de la población residente de la ciudad de Puebla, para sentar una base sobre la cual se empiece a analizar el tema, es decir, conocer primero que tanto está informada la sociedad con el tema para establecer futuras líneas de trabajo de investigación que se traduzcan en acciones de educación ambiental, de regulación y manejo de la calidad del aire en la ciudad y en el país.

II. Marco teórico

II.1. Contaminación del aire

La contaminación del aire es un problema presente en todas las zonas urbanas del mundo. Dentro del objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” que forma parte de los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU se persigue reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades (ONU, 2019) ya que el desarrollo contemporáneo se ha dado en respuesta a los intereses de los grupos de poder de la sociedad con el establecimiento de industrias y zonas habitacionales, cambiando el uso de suelo y las actividades de la sociedad que transforman una zona rural a una urbana mediante un proceso de urbanización desorganizado (ONU, 2018). La industrialización cambia las actividades productivas en las ciudades por lo que se recurre a la quema de combustibles fósiles y el aumento del uso de vehículos automotores que junto con la quema de biomasa no controlada y los procesos naturales de producción de gases suman para que la contaminación atmosférica sea un fenómeno persistente en las zonas urbanas, el cual, causa problemas en la salud de la población humana y de las especies silvestres que habitan en estas (Molla, 2015; Scanes, 2017).

En su definición más simple la contaminación del aire es la alteración de la composición natural de la atmosfera por partículas contaminantes, de acuerdo con Colls (2002) una definición desde el punto de vista de sus interacciones engloba no solo sus componentes sino sus efectos en el ambiente: *“Es el material sólido, líquido o gaseoso emitido al aire de fuentes fijas o móviles, moviéndose posteriormente a través de una trayectoria aérea y tal vez estar involucrado en transformaciones químicas o físicas antes de que sea devuelto a la superficie”*, este material debe interactuar con algo para tener un impacto ambiental, puede formar otras moléculas como la conversión del producto de la quema de hidrocarburos en ozono por acción fotoquímica, o producir lluvia acida al reaccionar el dióxido de azufre (SO₂) con el agua de lluvia o con superficies como la suciedad en edificios o con los tejidos de animales (daño respiratorio).

En su constitución original el aire de la atmósfera es una mezcla de gases que tienen una proporción constante (Tabla 1) en diferentes momentos y posiciones tanto horizontales como verticales:

Tabla 1. Proporción de moléculas en aire limpio y seco (Tomado y modificado de Colls, 2002).

Molécula	Símbolo	Proporción por volumen
Nitrógeno	N ₂	78.1%
Oxígeno	O ₂	20.9%
Argón	Ar	0.93%
Dióxido de carbono	CO ₂	370 ppm*
Neón	Ne	18 ppm
Helio	He	5 ppm
Metano	CH ₄	1.7 ppm
Hidrogeno	H ₂	0.53 ppm
Dióxido de nitrógeno	N ₂ O	0.31 ppm

*ppm= partes por millón

Además de los componentes antes mencionados en el aire de la atmosfera se presentan componentes mezclados uniformemente que varían en concentración en el espacio y el tiempo, por ejemplo:

- **Dióxido de azufre (SO₂)** que puede ser liberado por la actividad volcánica o producto de la actividad del fitoplancton marino.
- **Óxidos de nitrógeno (NO_x)** producto de la combustión de cualquier material.
- **Sulfuro de hidrogeno (H₂S)** producido por descomposición aeróbica.
- **Amoniaco (NH₃)** liberado a la atmósfera por los desechos de los animales.
- **Ozono** que se forma en la estratosfera por la acción de la radiación UV sobre el oxígeno, y en la troposfera por difusión de la estratosfera hacia abajo o por acción fotoquímica natural.
- **Compuestos orgánicos volátiles (COV)** emitidos por diferentes tipos de vegetación.
- **Partículas no biogénicas** como polvo o partículas del suelo o emitidas por los volcanes.
- **Partículas biogénicas** como polen y esporas.

Por otro lado, el vapor de agua en la atmosfera dependerá de las condiciones locales en un momento dado lo que definirá la humedad relativa del lugar en cuestión (Colls, 2002).

Como se mencionó previamente la contaminación del aire se produce cuando estas proporciones de componentes del aire se ven alteradas, estas alteraciones son debidas a diversas fuentes que dependen del ámbito donde se encuentran (rural o urbano) y de su origen (naturales o antropogénicas) (OMS, 2018) por ejemplo: actividades industriales y de suministro energético, transporte, gases producidos por la gestión de desechos, energía doméstica, prácticas agrícolas y erosión, entre las principales.

II.2. Contaminación del aire y salud

La contaminación del aire es un riesgo ambiental importante para la salud. Para 2016 a nivel mundial alrededor de 4.2 millones de personas murieron prematuramente por la contaminación del aire de los cuales el 91% correspondió a países de ingresos bajos y medianos. Se tiene una amplia evidencia de que la contaminación del aire tiene relación con estas muertes prematuras donde cerca del 58% se debieron a cardiopatías isquémicas y accidentes cerebrovasculares, 18% a enfermedad pulmonar obstructiva crónica e infecciones de las vías respiratorias inferiores y el 6% a cáncer de pulmón (Loomis, 2013; OMS, 2018).

Para México el Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud (IHME, por sus siglas en inglés) estimó un total de 48,072 muertes prematuras a causa de la contaminación del aire en 2017 (INECC, 2019). Estas representan el 6.9% de las muertes totales en el país. El mayor número de muertes se presentaron en el estado de México con 6,237, Ciudad de México con 5,391 y Veracruz con 3,823. El 89% de las muertes atribuidas son debido a enfermedades cardiovasculares (15,999), diabéticas y renales (15,728) y respiratorias crónicas (11,083) (IHME, 2018). Se estima que para 2018 los costos en salud por el tratamiento de estas enfermedades atribuibles a la contaminación atmosférica habrían sido 9,898 millones de pesos (mdp), de los cuales 8,225 mdp corresponden a muertes prematuras, productividad y ausentismo laboral y 1,763 mdp a gasto de salud (García et al., 2019).

II.3. Redes de monitoreo de la calidad del aire

Debido a estos riesgos sobre la salud y al costo que la contaminación ambiental genera, los gobiernos de diferentes países del mundo han establecido sistemas de monitoreo de la calidad del aire que miden “contaminantes criterio” para poder establecer políticas públicas que generen planes de manejo y prevención de la contaminación atmosférica en las grandes ciudades (Cañada, 2012; OMS, 2018).

En México existe una red de monitoreo de la calidad del aire la cual es insuficiente para lograr los objetivos que persiguen estas políticas, ya que en algunas ciudades no se cuenta con estaciones de monitoreo y en otras no se cuenta con datos completos sobre las mediciones tomadas por falta de seguimiento y presupuesto (INECC, 2017).

En el país el desarrollo de un sistema de medición de la calidad de aire se remonta a los años 50's cuando se comenzó con la medición de la calidad del aire en la Ciudad de México. A partir de los años 60's entró en operación la Red Panamericana de Muestreo Normalizado a nivel nacional. Con el apoyo de la Organización Panamericana de la Salud, durante los años 70's se introdujo el uso de equipo automático para medir gases y parámetros meteorológicos. Con recursos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, a partir de los 90's se crean los Sistemas de Monitoreo de Calidad del Aire (SMCA) de Baja California, Guadalajara, Estado de México, Monterrey y Ciudad Juárez y a partir de 2007 se extiende la red de SMCA a través de apoyos gubernamentales en todo el país (INECC, 2016).

Para 2018 existían 36 SMCA distribuidos en treinta estados de la república, en su conjunto agruparon un total de 242 estaciones de monitoreo/muestreo repartidas en ciento tres ciudades y zonas metropolitanas (INECC, 2019) donde se realiza monitoreo de calidad del aire, estas estaciones tienen un rango de alcance de medición de contaminantes de 4 km aproximadamente. De acuerdo con el INECC (2016) se ha reportado que no todas las estaciones funcionan de manera continua, por lo que la información generada presenta vacíos; con lo que se pierde la oportunidad de informar y prevenir a la población sobre los niveles de contaminación y sus posibles riesgos (INECC, 2016).

En el estado de Puebla la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA) se encuentra en la capital, está a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) del Gobierno del Estado y está conformada por cinco estaciones de monitoreo (Figura 1), cuatro de las cuales se encuentran en el municipio de Puebla y la estación Velódromo que se localiza en el municipio de Coronango (Figura 1, Tabla 2), están equipadas con aparatos de monitoreo automático. Esta red mide los contaminantes criterio (SO_2 , NO_2 , CO , O_3 , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_{10}) y algunos parámetros climatológicos (dirección del viento, temperatura, humedad relativa, entre otros) (INECC, 2019).

Durante el año 2018 para la ciudad de Puebla y el municipio de Coronango se tiene registrado que la calidad del aire fue mala, al reportar que los niveles de PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y O_3 incumplieron las Normas Oficiales Mexicanas que regulan estos contaminantes en el 32% de los días de ese año para el municipio de Puebla y 0.3% para el municipio de Coronango (INECC, 2019),

por lo que la situación en la ciudad de Puebla necesita ser considerada como una zona potencialmente contaminada con riesgo para las poblaciones humanas y silvestres.

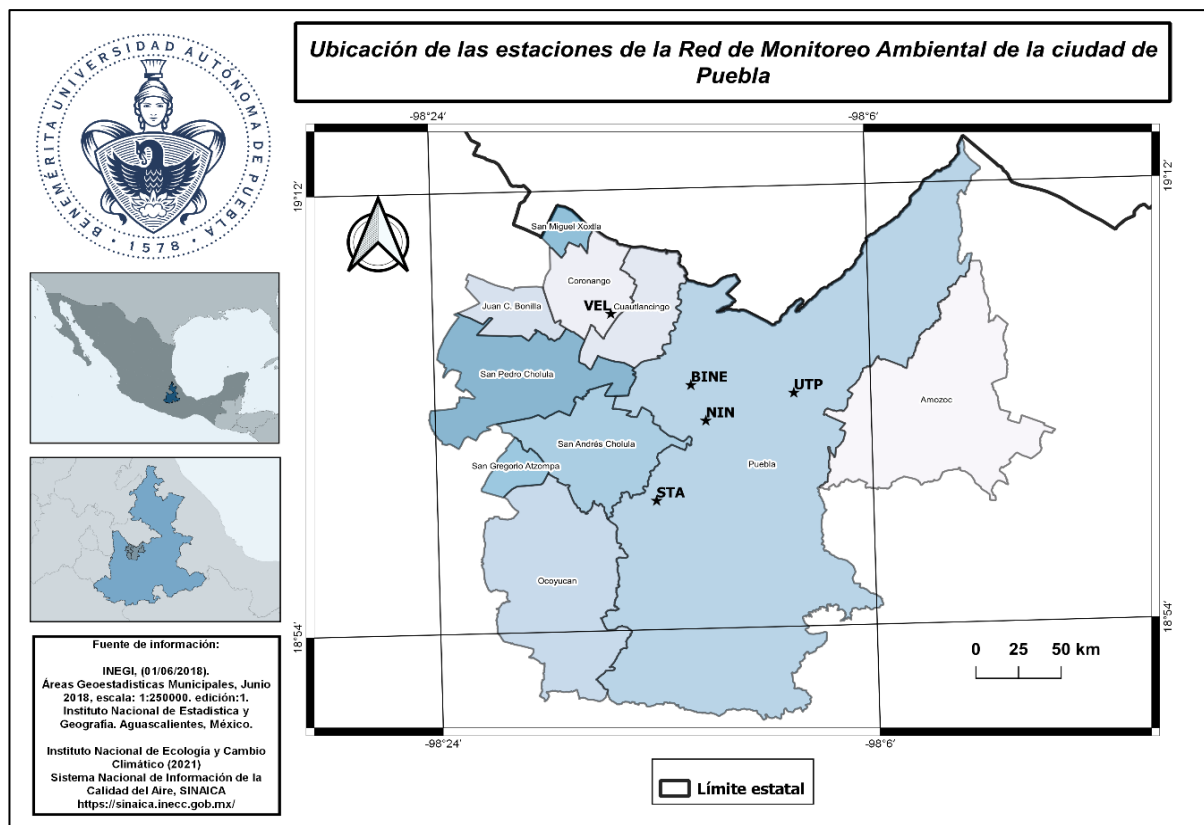


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la REMA en el estado de Puebla (**BINE**=Benemérito Instituto Normal del Estado, **UTP**=Universidad Tecnológica de Puebla, **NIN**=Parque de las Ninfas, **STA**=Agua Santa, **VEL**=Velódromo) (Elaboración propia con el programa QGIS V. 3.12.3).

Tabla 2. Estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA), de la Ciudad de Puebla, México.

Estación	Dirección	Coordenadas
Agua Santa, (STA)	Prolongación 11 Sur y 121 Pte., Col. Agua Santa, Municipio de Puebla, C.P. 72490.	18.99 N, 98.25 O
Benemérito Instituto Normal del Estado, (BINE)	Blvd. Hermanos Serdán No. 203, Col. Valle del Rey, Municipio de Puebla C.P. 72140.	19.06 N, 98.22 O
Parque de la Ninfas, (NIN)	23 poniente entre 15 y 17 Sur, Col. Santiago, Municipio de Puebla, C.P. 72410	19.04 N, 98.21 O
Universidad Tecnológica de Puebla, (UTP)	Calle Mariano Escobedo s/n esq. Francisco I. Mariano Col. Joaquín Colombres Municipio de Puebla, C.P. 72300.	19.07 N, 98.15 O
Velódromo, (VEL)	Av. Zaragoza S/N entre Periférico Ecológico y Calle de las Flores, Municipio de Coronango. C.P. 72680.	19.12 N, 98.28 O

*Tomado y modificado de http://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/view_principal.php y <https://sinaica.inecc.gob.mx/>

II.4. Contaminantes criterio

Como se ha mencionado anteriormente los “contaminantes criterio” son aquellos que mediante análisis y estudios tanto toxicológicos como epidemiológicos se han identificado como perjudiciales a la salud y que sirven de base para el establecimiento de criterios sobre la calidad del aire. En México mediante normas oficiales mexicanas (NOM) en el apartado de salud ambiental la Secretaría de Salud evalúa la evidencia del impacto de la contaminación del aire sobre esta y establece los límites permisibles de concentración de contaminantes en la atmosfera (Tabla 3) (INECC, 2019).

Tabla 3. Normas oficiales mexicanas (NOM) en salud ambiental que regulan los contaminantes criterio para evaluar la calidad del aire en México (INECC, 2019).

Contaminante	Dato base utilizado para la evaluación	Exposición	Frecuencia Tolerada	Valor límite indicador con el que se evalúa	Criterio de suficiencia anual	Norma Oficial Mexicana
Partículas menores de 10 micrómetros, PM10	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	75 µg/m³ Máximo	Por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de los promedios de 24 horas válidas	NOM-025-SSA1-2014 (DOF, 2014)
		Crónica	---	40 µg/m³ Promedio anual		
Partículas menores de 2.5 micrómetros, PM2.5	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	45 µg/m³ Máximo		
		Crónica	---	12 µg/m³ Promedio anual		
Ozono, O ₃	Dato horario	Aguda	No se permite	0.095 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-020-SSA1-2014 (DOF, 2014)
	Promedios móviles de 8 horas		No se permite	0.070 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios	
Dióxido de azufre, SO ₂	Máximo diario	Aguda	1 % de veces al año	0.075 ppm promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales	Al menos 75% de los promedios de 24 horas por trimestre o de los meses con concentraciones altas de tres años consecutivos	NOM-022-SSA1-2019(DOF, 2019)
	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	0.110 ppm Máximo	---	
	Dato horario	Crónica	---	0.025 ppm Promedio anual	---	
Dióxido de nitrógeno, NO ₂	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.210 ppm Segundo máximo	---	NOM-023-SSA1-1993(DOF, 1994)
Monóxido de carbono, CO	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	11 ppm Segundo máximo	---	NOM-021-SSA1-1993 (DOF, 1994)
Plomo, Pb	Muestreo 24 horas	Crónica	No se permite	1.5 µg/m³ Promedio trimestral	---	NOM-026-SSA1-1993 (DOF, 1994)

Dichos indicadores que se evalúan determinan el cumplimiento de la NOM con respecto a cada contaminante criterio usado en el país para medir la calidad del aire, los parámetros tomados son: periodo de tiempo para la evaluación, tipo de exposición, frecuencia tolerada y el valor límite permitido del contaminante durante la medición de acuerdo con la NOM, un criterio de suficiencia de datos para su validación y el código de dicha norma.

De acuerdo con los límites establecidos por cada NOM, se ha asignado un código de color específico (Tabla 4) una vez que se rebasa el límite admitido se declara la calidad del aire como mala (color naranja) y en cada extremo de bueno a peligrosa teniendo de esta manera un estado de la calidad del aire para que la población pueda informarse e identifique durante el día el estado de esta y tome las precauciones necesarias para cuidar su salud (INECC, 2019).

Tabla 4. Tabla de categorías de la calidad del aire y su identificación por color (INECC, 2019).

Concentración de O ₃ (Promedio de 1 hora, ppm)	Concentración de NO ₂ (Promedio de 1 hora, ppm)	Concentración de SO ₂ (Promedio móvil de 24 horas, ppm)	Concentración de CO (Promedio móvil de 8 horas, ppm)	Concentración de PM ₁₀ (Promedio móvil de 24 horas, µg/m ³)	Concentración de PM _{2.5} (Promedio móvil de 24 horas, µg/m ³)	Categoría
0 - 0.070	0 - 0.105	0 - 0.025	0 - 5.5	0 - 40	0 - 12	Buena
0.071 - 0.095	0.106 - 0.210	0.026 - 0.110	5.6 - 11.0	41 - 75	12.1 - 45	Regular
0.096 - 0.154	0.211 - 0.430	0.111 - 0.207	11.1 - 13.0	76 - 214	45.1 - 97.4	Mala
0.155 - 0.204	0.431 - 0.649	0.208 - 0.304	13.1 - 15.4	215 - 354	97.5 - 150.4	Muy mala
0.205 - 0.504	0.650 - 1.249	0.305 - 0.604	15.5 - 30.4	355 - 424	150.5 - 250.4	Extremadamente mala
0.505 - 0.604	1.250 - 1.649	0.605 - 0.804	30.5 - 40.4	425 - 504	250.5 - 350.4	Peligrosa

Los contaminantes tienen un diverso origen y efectos en la salud, como se describe a continuación:

a) Dióxido de nitrógeno (NO₂)

El dióxido de nitrógeno es formado sobre todo durante la combustión de combustibles fósiles usados en los vehículos y sistemas de calefacción casera o industrial. En altas concentraciones puede causar irritación en las mucosas, producir dificultad para respirar y causar la muerte en última instancia. La elevada exposición aguda es más tóxica que la exposición crónica en bajas concentraciones. Las altas concentraciones dañan a los alveolos aun después de la exposición y provocan la muerte. En ratas y ratones de laboratorio se ha observado que el umbral de mortalidad es de 40 a 50 ppm durante una hora (Carson,

2004). Este contaminante ataca el sistema respiratorio aumentando los síntomas del asma repercute en un aumento de la mortalidad sobre todo en adultos mayores y niños (U.S. EPA, 2016; OMS, 2018). Existe una gran preocupación por regular las emisiones de NO₂ ya que en presencia de luz solar forma ozono junto a otros compuestos volátiles.

b) Dióxido de azufre (SO₂)

Es un gas hidrosoluble con un olor fuerte, además de causar irritación en los ojos también irrita las mucosas respiratorias causando broncoconstricción y secreción de moco con lo que se aumentan los síntomas de asma y bronquitis, también agrava los problemas cardiovasculares. Es producido por la quema de combustibles que contienen azufre, fuentes comunes de su emisión son las fundidoras, los vehículos que usan diésel, el transporte marítimo y las centrales eléctricas (OMS, 2018). Se ha confirmado que participa en la formación de lluvia ácida afectando tanto al ecosistema como a los materiales de construcción y que viajar a grandes distancias entre fronteras internacionales (Meiwes y Meesenburg, 2004).

c) Monóxido de carbono (CO)

Cuando ocurre una quema incompleta de combustibles fósiles que contienen carbono se produce monóxido de carbono. Este es un gas altamente tóxico, incoloro e inodoro, más ligero que el aire, el cual, tiene como fuente primaria de emisión los vehículos automotores seguida del uso de estufas y calentadores defectuosos además del consumo de cigarro. Causa dolor de cabeza, somnolencia y en altas concentraciones asfixia y a nivel fisiológico reduce la capacidad para el transporte de oxígeno que en altas concentraciones del contaminante causa la muerte (Carson, 2004).

La dosis letal de este contaminante varía con la edad, la tasa metabólica, la actividad y función cardíaca, pulmonar y entre especies (Pickrell, 2007). La alta capacidad pulmonar de las aves por su intercambio eficiente de gases, la tasa metabólica y su pequeño tamaño hacen que sean especialmente sensibles a los tóxicos inhalados como el CO con una respuesta más severa y aguda con respecto a los mamíferos (Brown et al., 1997).

d) Ozono (O₃)

Es un gas incoloro e inodoro, formado en la atmosfera por reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles en presencia de luz solar. Este contaminante irrita también las mucosas del tracto respiratorio aumentando los síntomas del asma, enfisema pulmonar y bronquitis con lo que se reduce la capacidad pulmonar. También causa daños al ecosistema ya que algunas plantas son sensibles a la presencia de este contaminante que en altas concentraciones disminuye la capacidad de absorción de CO₂ lo que impacta en el proceso de afectando el crecimiento vegetal (OMS, 2018).

e) Material particulado (PM)

El material particulado está formado por una mezcla de múltiples sólidos y líquidos, por ejemplo, sulfuros, material orgánico como el polen, metales y polvo. Las partículas se clasifican según su tamaño en material particulado menor a 2.5 µm (PM_{2.5}) y material particulado menor a 10 µm (PM₁₀), este tamaño está relacionado con el daño que causa en el sistema respiratorio. Pueden acentuar los síntomas del resfriado o el asma hasta contribuir al desarrollo de cáncer. Entre más pequeña la partícula mayor será el daño causado, las PM₁₀ se alojan en los pulmones causando irritación y obstrucción mientras que las PM_{2.5} debido a que tienen un menor tamaño pueden atravesar la pared de los alveolos pulmonares e integrarse al torrente sanguíneo viajando a través de este y llegando a afectar a órganos como el riñón o el hígado en su función. Este contaminante afecta a más personas que otro contaminante, se ha encontrado que incluso a concentraciones bajas aumenta la mortalidad y morbilidad por lo que su regulación persigue que se logren las concentraciones más bajas posibles, a nivel internacional los estudios están migrando hacia a estas partículas (OMS, 2018).

f) Plomo (Pb)

Es un metal pesado utilizado como antidetonante de la gasolina usada en vehículos automotores, a diferencia de los otros contaminantes, este se deposita en el organismo sobre todo en el sistema nervioso central pudiendo causar la muerte. En niños retrasa el desarrollo y causa problemas como retraso mental y problemas en la conducta. En adultos puede causar anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad, entre otras afectaciones a la salud (OMS, 2019). Dado que se ha reducido la concentración de este contaminante

utilizando gasolinas sin plomo este contaminante no se monitorea, pero es muy probable que continúe presente en la atmosfera a concentraciones no permitidas. De acuerdo con estudios realizados se ha detectado que el comportamiento temporal de los contaminantes varia en cada época climática. En la época seca-caliente (marzo a mayo) se presentan mayores concentraciones para el O₃, mientras que para el resto de los contaminantes las concentraciones aumentan en la temporada seca-fría (noviembre a febrero). El efecto de la lluvia en los meses de junio a octubre permite la disminución de los contaminantes al ser arrastrados al suelo (INECC, 2016).

II.5. Estrés oxidativo

Los contaminantes del aire pueden actuar como oxidantes en la célula, estos oxidantes son átomos o moléculas denominados radicales libres (RL) y se caracterizan por tener un electrón desapareado en su orbital más externo lo que les confiere una gran reactividad para interactuar con otras moléculas oxidándolas, por ello también se les llama especies reactivas, las más importantes en los seres vivos son las derivadas del oxígeno y el nitrógeno. También existen moléculas que no son RL, pero que al interactuar con otros químicos o por ser inestables pueden transformarse o producir RL, estas son llamadas pro-radicales (Gutiérrez, 2006). De acuerdo con el átomo del cual provienen los RL y los pro-radicales se clasifican en especies reactivas del oxígeno (ERO) y especies reactivas del nitrógeno (ERN) (Tabla 5).

Tabla 5. Especies reactivas del oxígeno y del nitrógeno (Tomado de Gutiérrez, 2006).

Especies reactivas del oxígeno	
Radical libre	Pro-radical
Superóxido (O ₂ ^{·-})	Peróxido de hidrogeno (H ₂ O ₂)
Hidroxilo (OH [·])	Ácido hipocloroso (HOCl)
Peroxilo (R-O ₂ [·])	Ácido hipobromoso (HOBr)
Alcoxilo (RO [·])	Ozono (O ₃)
Hidroperoxilo (HO ₂ [·])	Oxígeno singlete (¹ Δg)
Especies reactivas del nitrógeno	
Radical libre	Pro-radical
Óxido nítrico (NO [·])	Ácido nitroso (HNO ₂)
Dióxido de nitrógeno (NO ₂ [·])	Catión nitrosilo (NO ⁺)
	Anión nitrosilo (NO ⁻)
	Tetraóxido de dinitrógeno (N ₂ O ₄)
	Trióxido de dinitrógeno (N ₂ O ₃)
	Ácido peroxinitroso (ONOOH)
	Catión nitrilo (NO ₂ ⁺)
	Alquil-peroxinitritos (R-OONO)

Los RL pueden formarse por dos tipos de reacciones, una de ellas es por ruptura homolítica donde el enlace covalente se rompe de tal forma que cada especie química que lo formaba se queda con un electrón desapareado, es decir se forma un RL. La otra vía es la ruptura heterolítica, donde al romperse el enlace covalente una de las especies químicas se queda con los dos electrones del enlace formando así iones. Los RL también pueden formarse endógenamente como consecuencia del metabolismo celular o de forma espontánea si existen las condiciones adecuadas. Las especies reactivas del oxígeno pueden formarse por reacciones de Haber-Weiss donde una especie reactiva reacciona con un pro-radical para dar como resultado varios RL; en una reacción Fenton un pro-radical reacciona con un catalizador por lo general un metal de transición por ejemplo el hierro para formar los RL.

Al interior de la célula hay tres procesos principales donde se producen ERO (Isaksson et al., 2011) como producto de: a) La respiración de la mitocondria en la fosforilación oxidativa (Complejo III en la cadena de transporte de electrones), b) del catabolismo de purina por xantina oxidasa y c) el estallido respiratorio por NADPH oxidasas en células inmunes.

Las células donde se producen mayormente son los eritrocitos, seguidos de las células del cerebro, hígado y riñón donde existe una mayor actividad metabólica. Las ERN se producen en el citosol y como producto de la actividad de enzimas de la membrana celular en células endoteliales de vasos sanguíneos (Gutiérrez, 2006).

Cabe señalar que los RL participan en procesos metabólicos de forma natural y en procesos de señalización intra y extracelular; las ERO participan en la producción de hormonas, proteínas y carbohidratos, así como en estar presentes en la reacción acrosómica en la fecundación. Las ERN participan en el proceso de la contracción del músculo liso del endotelio de vasos sanguíneos y la regulación del proceso metabólico de las neuronas (Gutiérrez, 2006).

Debido a la elevada reactividad los RL (principalmente ERO) tienen acción oxidativa y atacan moléculas que tienen dobles enlaces carbono-carbono o anillos de carbono, debido a ello las biomoléculas pueden ser dañadas afectando la estructura y función celular. A través del tiempo los organismos han desarrollado mecanismos para contrarrestar la acción de los RL cuando se encuentran en exceso, estos mecanismos pueden incluir una reacción catalizada

por una enzima antioxidante para eliminar al radical libre, reacciones de Fenton utilizando metaloproteínas que reducen la actividad oxidante de los radicales y proteínas que protegen a las biomoléculas del daño producido. Estos mecanismos forman un sistema antioxidante que incluye α -tocoferol y β -caroteno en la dieta, y antioxidantes producidos de manera endógena como catalasa, glutatión, superóxido dismutasa y bilirrubina que reducen, apagan, eliminan RL y protegen a la célula. Cabe señalar que en exceso los antioxidantes pueden actuar como prooxidantes (Isaksson et al., 2011).

El estrés oxidativo es un desequilibrio celular entre los sistemas oxidantes y antioxidantes que produce daño a las biomoléculas y que afecta la forma y función de la célula, cuando este se mantiene por un tiempo prolongado puede provocar un daño irreversible y llevarla a la apoptosis. El estrés oxidativo puede deberse a la falta de moléculas antioxidantes por ejemplo en la dieta, o como consecuencia de un exceso de RL durante el estrés ambiental, producto de la exposición a metales pesados, radiación UV, xenobióticos, aumento de la temperatura o deshidratación y por supuesto la contaminación del aire (Figura 2).

Como se ha explicado existe una batería amplia de enzimas y moléculas que actúan como agentes antioxidantes o que son producidas por efecto del daño a estructuras celulares. En este estudio se determinarán las actividades enzimáticas las cuales son:

Arginasa: Participa en la hidrólisis del grupo amidino de la L-arginina en L-ornitina y urea. Existe en dos isoformas (I y II). La arginasa tipo I se localiza en el citoplasma celular y es abundante en el hígado. El tipo II se encuentra en las mitocondrias sobre todo de células hepáticas. Regula la biodisponibilidad de L-arginina para otras vías metabólicas como la síntesis de óxido nítrico (NO) y en procesos de remodelación y proliferación celular. Cuando la actividad de la arginasa aumenta, disminuye la arginina disponible para la síntesis de NO favoreciendo la producción de ERO aumentando el estrés oxidativo. Por lo que se considera que diversas enfermedades donde está involucrado el metabolismo de NO se encuentran relacionadas con la actividad de esta enzima (Corraliza et al., 1994; North et al., 2009).

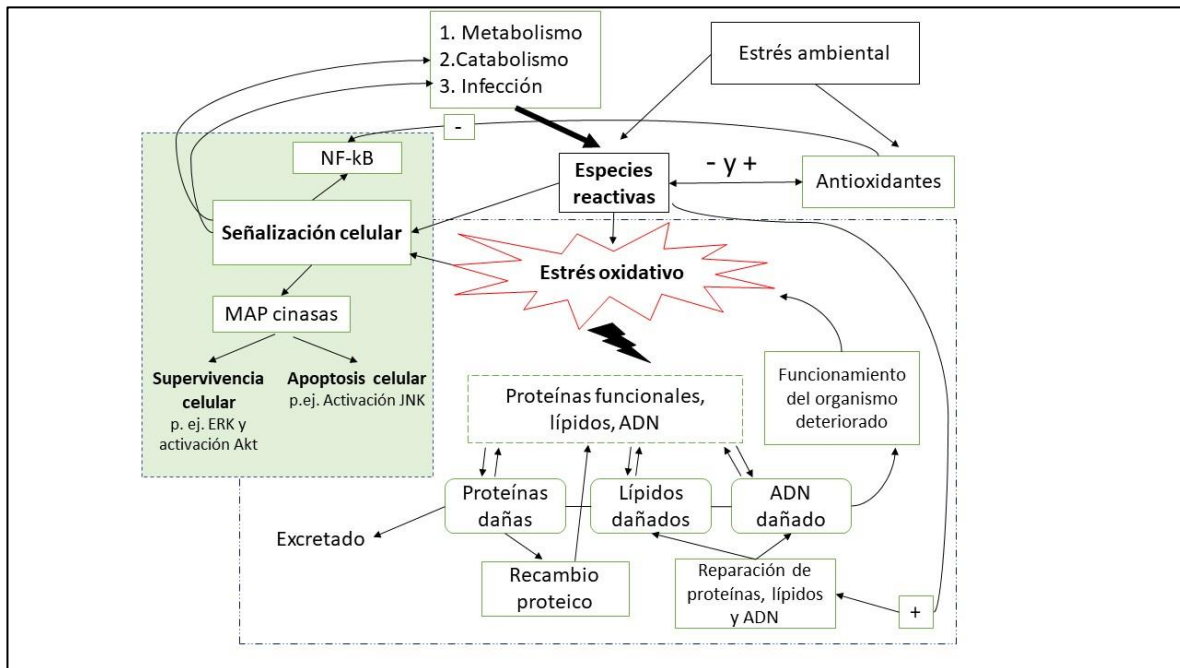


Figura 2. Estrés oxidativo. Abreviaturas: Akt: proteína quinasa B, ERK: quinasa relacionada con señales extracelulares, JNK: quinasa N-terminal c-Jun, MAP cinasas: proteína quinasa activada por mitógenos, NF-kB: Factor nuclear potenciador de las cadenas ligeras kappa de las células B activadas. Tomado y traducido de Isaksson et al. (2011).

Glutación S-Transferasa (GST): Se considera como una enzima desintoxicante, se encuentra en la célula en el citosol, la mitocondria, los microsomas hepáticas y en membranas de Fase II en la biotransformación depurativa. Participa en la eliminación de sustancias exógenas, agentes electrofílicos y alquilantes (carcinógenos) así como en la eliminación de citotóxicos en la hidroperoxidación de lípidos. Al conjugarse el grupo -SH de GSH se genera un producto soluble en agua que es menos toxico y que se puede destruir de manera más fácil para ser excretado. Se han descrito siete isoformas de GST (catiónicas, neutras y aniónicas) que se expresan de acuerdo con las necesidades específicas de desintoxicación. Por su actividad peroxidasa la GST es una enzima de respaldo de CAT y de la GSHPx (Glutación peroxidasa) (Habig, 1974; Armstrong y Stratton, 2016).

Malondialdehído (MDA): La peroxidación de lípidos o la reacción oxígeno con lípidos insaturados genera varios productos de oxidación. Uno de los principales aldehídos como producto secundario durante la peroxidación es el malondialdehído que ha sido ampliamente estudiado y es considerado como el producto más mutagénico de este proceso. Se ha utilizado durante muchos años como un biomarcador para la peroxidación lipídica

(Esterbauer et al. 1991). Su uso se basa debido a que durante la peroxidación los peróxidos se descomponen en aldehídos como el MDA que es altamente tóxico. Es altamente reactivo y tiene una vida media larga lo que permite que afecte a las células en el interior como en el exterior. Al interactuar con proteínas y ADN se le ha relacionado con diversas enfermedades como la arteriosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares (Ayala, et al., 2014; Muñiz et al., 2014).

Metilglioxal (MGO): Resultado de la oxidación de la glucosa, el metilglioxal es un oxoaldehído fuertemente reactivo con otras especies moleculares y alto poder glicante. Se produce por la descomposición de ácidos grasos por la acción de acetona y treonina o a partir de triosas fosfato. Mediante reacciones de Maillard produce fructosamidas a partir de proteínas que dan como resultado productos finales de glicación avanzada (AGEs) (Voyer y Alvarado, 2019). Cuando los AGEs se acumulan en la célula se produce un estado que se conoce como “estrés del dicarbonilo” que produce daño celular e incluso llevar a la muerte celular y que está relacionado con diversos trastornos como la diabetes, insuficiencia renal, envejecimiento y otros (Allaman, 2015). La acción de las glicolasas en conjunto con glutatión en el citosol como sistema de protección y desintoxicación celular transforma al metilglioxal en hemitioacetal que se descompone en peróxido de hidrogeno, farnesal y cisteína. En diversas patologías donde el daño celular se presenta, el aumento de la concentración de MGO es un indicador de alto estrés oxidativo (Digits et al., 2002).

Mieloperoxidasa (MPO): Es una enzima oxidoreductasa que se encuentra en los gránulos azurófilos de neutrófilos polimorfonucleares. Su peso molecular es de 150,000 kDa. Es un tetrámero con dos mitades, dos pesadas y dos ligeras que contiene un grupo hemo. Cataliza la formación de ácido hipocloroso, que es una molécula altamente oxidante formada a partir de iones cloruro (Cl^-) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y que tiene una función bactericida ($\text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{HClO} + \text{H}_2\text{O}$). Se libera cuando estas células se rompen durante la inflamación llegando a concentraciones en plasma de alrededor de 1 nM. Oxida a las lipoproteínas de baja densidad, tiene propiedades que promueven la oxidación además de inhibir la formación de ácido nítrico con lo cual reduce la vasodilatación además de tener acción sobre el sistema inmune. El aumento en la actividad de MPO induce daños a tejidos por el aumento de moléculas prooxidantes lo cual forma ER de lípidos y proteínas. MPO participa también en la

formación de proteínas de alta densidad con funciones alteradas lo que aumenta el proceso de inflamación (González et al., 2018; Suzuki et al., 1983).

Productos avanzados de la oxidación de proteínas (PAOP): Los PAOP son proteínas predominantemente albúmina y sus agregados dañados por el estrés oxidativo (Kalousová et al., 2005). De manera similar a las moléculas antes descritas los PAOP reflejan entonces el daño oxidativo presentado en los tejidos. En un estado de estrés oxidativo las ERO y los oxidantes cloraminados sobre todo el ácido hipocloroso (HCIO) causan daño oxidativo en las proteínas plasmáticas, ocasionando un entrecruzamiento ditirosinico y dando origen a los PAOP (Villalpando et al., 2017). Estos están directamente relacionados con los productos finales de glicación avanzada (AGE), y mediadores también de inflamación y activación de células monocíticas. Se acumulan cuando se presentan enfermedades renales y cardiovasculares y se ha encontrado que un aumento en los niveles de PAOP es un marcador de progresión de insuficiencia renal crónica (Mert et al., 2016).

La medición de la actividad de estas moléculas permite usarlas como biomarcadores para medir el estrés oxidativo en el biomonitoreo ambiental, permitiendo realizar comparaciones entre sitios de muestreo y haciendo inferencias sobre el estado de salud de las poblaciones expuestas a los contaminantes que actúan como prooxidantes.

II.6. Biomonitoreo ambiental

El biomonitoreo se define como el uso sistemático de respuestas biológicas de un organismo que permiten evaluar los cambios en el medio ambiente y establecer un programa de control ambiental (Torres et al., 2008). Es una herramienta para evaluar el impacto ambiental, incluyendo la exposición humana a sustancias químicas naturales y sintéticas, con base en el muestreo y análisis de un organismo. Se analizan las marcas dejadas por un contaminante sobre el individuo, esta marca puede ser el mismo contaminante o la respuesta biológica del organismo tras la acción del tóxico (Zhou et al., 2008). Es una práctica importante en la actualidad, debido a que el contenido de contaminantes como metales en orina, sangre, hueso y tejidos de humanos y animales permite sugerir por un lado el tiempo que han estado

expuestos los organismos al contaminante y por otro los efectos de estos en la salud de las poblaciones (Sanín, 1998).

El biomonitoreo permite evaluar la calidad del ambiente de acuerdo con la exposición de contaminantes presentes en el hábitat de las especies, permitiendo entonces el uso de especies bioindicadoras y biomonitoras (González-Zuarth et al., 2014). Estimar los niveles de los contaminantes, su prevalencia, la acumulación, biodisponibilidad en los diferentes niveles tróficos, así como el efecto final en la cadena alimentaria y el ecosistema provee información que sirve para prevenir riesgos inclusive para la salud pública (Parra, 2014). Una especie bioindicadora es aquella que por sus características (sensibilidad a las perturbaciones ambientales, distribución, abundancia, dispersión, éxito reproductivo, principalmente) puede ser usada como un estimador del estatus de otras especies bajo condiciones ambientales de interés que resultan difíciles, inconvenientes o costosas de medir directamente (Heink y Kowarik, 2010). Cabe resaltar que una especie bioindicadora nos brinda información cualitativa sobre el medio ambiente donde vive, mientras que una especie biomonitora nos brinda información cuantitativa sobre la calidad del medio ambiente. Una especie biomonitora siempre es un bioindicador, pero una especie bioindicadora no siempre cumple con los requisitos de un biomonitor (González-Zuarth et al., 2014), dadas las definiciones para este estudio se utilizará una especie biomonitora.

Para que una especie pueda ser considerada para su uso como biomonitora debe cumplir con ciertos requisitos:

- Suficientemente sensible para advertir alteraciones del ambiente, pero no tanto como para indicarnos variaciones triviales o poco importantes biológicamente.
- Capaz de advertir no solamente del peligro que corre el taxón mismo sino del peligro que corre todo el ecosistema.
- La intensidad del cambio en el taxón bioindicador está correlacionado con la intensidad del disturbio ambiental.
- Indica directamente la causa en vez de simplemente la existencia del cambio (ej. alteraciones de fecundidad y sobrevivencia y no únicamente en la abundancia).

- Los cambios que ocurren se producen muy poco tiempo después de originarse la alteración, lo que permite evitar daños dramáticos en el ecosistema.
- Metodológicamente plausibles.
- Su abundancia permite tomar muestras periódicamente sin comprometer la estabilidad de la población.
- Su baja movilidad facilita conocer el origen del disturbio.
- Son lo suficientemente resistentes como para poder manipularlos, transportarlos al laboratorio y hacer experimentos y análisis con ellos.
- Presentan una amplia distribución que permite hacer comparaciones entre distintas poblaciones.
- Fáciles de identificar por personas sin experiencia en el taxón.
- Los datos obtenidos a partir de ellos son fácilmente interpretables.
- No se requiere de un equipo caro o complejo para su monitoreo.

El biomonitoreo activo se lleva a cabo cuando se utilizan animales criados en el laboratorio para después llevarlos al campo por un periodo de tiempo definido. Después de este tiempo se registran los efectos producidos por los químicos absorbidos por el individuo. Para el biomonitoreo pasivo, los organismos que se encuentran de manera natural en el medio se examinan *in situ* o las muestras tomadas llevadas al laboratorio para analizar los efectos de estos químicos.

Un biomarcador es un parámetro biológico medible a nivel celular (genético, enzimático, fisiológico, morfológico), el cambio producido en este refleja un cambio en la estructura o la función celular e indica el efecto del ambiente o la acción de los xenobióticos tras la exposición a estos sobre el organismo (González-Zuarth et al., 2014).

En lo que respecta al biomonitoreo de la contaminación del aire el uso de especies bioindicadoras como musgos y líquenes está ampliamente usado (Käffer, 2012), por su parte el uso de plantas y otros animales se usan dependiendo del tóxico a evaluar o la situación del área de estudio (Figueira, 2009).

El grupo de las aves se utiliza para realizar estos biomonitoreos de la calidad del aire debido a su alta capacidad pulmonar, esto se explica debido a que el sistema respiratorio aviar presenta varias modificaciones en su anatomía y fisiología que permiten a estas lograr una respiración altamente eficiente.

II.7. Respiración aviar

El sistema pulmonar aviar utiliza una ventilación de flujo continuo en el que participan sacos aéreos flexibles que actúan como un fuelle para mover el aire a través de los pulmones parabronquiales casi rígidos en su totalidad. En este sistema el volumen de aire se mantiene casi constante. La mayoría de las aves tienen nueve sacos alveolares: uno interclavicular, dos cervicales y dos torácicos anteriores (sacos anteriores en conjunto); dos torácicos posteriores y dos abdominales (sacos posteriores en conjunto). Estos tienen paredes delgadas con pocos vasos sanguíneos por lo que no desempeñan una función importante en el intercambio gaseoso, pero mejoran la eficiencia respiratoria y permiten conseguir a las aves altas tasas metabólicas para las exigentes actividades como el vuelo (Powell, 2000).

Dada la corta longitud de las fosas nasales las aves pueden respirar por la boca o la nariz, durante la inhalación, el aire entra por estas estructuras y pasa a la laringe que tiene sólo tres cartílagos, después a la tráquea, la cual es tan larga como el cuello y en ocasiones mayor y puede estar enrollada dentro la quilla del esternón como en el cisne cantor (*Cygnus cygnus*), lo cual puede dar una resonancia adicional a los llamados del ave. La tráquea formada por cartílagos completos es en proporción 2.7 más larga y 1.7 más ancha que la de los mamíferos de tamaño similar, lo que permite que la resistencia al flujo de aire sea similar a estos últimos pero el volumen total de esta sea 4.5 veces mayor, esto es compensado con un volumen de corriente mayor y una frecuencia respiratoria más baja alrededor de la tercera parte de los mamíferos; con esto la ventilación traqueal por minuto es de 1.5 a 1.9 veces la de los mamíferos (Ludders, 2001).

Las aves no poseen un diafragma muscular como el de los mamíferos, por lo que el flujo de aire se da por los músculos respiratorios, el incremento de los sacos aéreos que crean en conjunto un aumento en la presión interna de las cavidades aéreas, al terminar la tráquea

sigue la siringe que es el aparato fonador de las aves, se continua por los bronquios (Sanmiguel y Peñuela-Sierra, 2012).

El aire fluye del exterior hacia los pulmones en una sola dirección, el sistema bronquial está formado por bronquios primarios que se ramifican en secundarios que sirven para el transporte del aire a los sacos aéreos y terciarios (parabronquios) en donde ocurre el intercambio gaseoso. El intercambio gaseoso ocurre en los parabronquios, sus paredes son de tejido epitelial y se comunican con los capilares del aire que forman una red con los capilares sanguíneos, estos últimos son menos distensibles que los de los mamíferos, se deforman muy poco comportándose como tubos rígidos. Todo esto permite que el pulmón sea rígido, no distensible ni elásticos (Figura 3) (Powell y Hopkins 2004).

En las aves el ciclo respiratorio consta de dos fases, en la primera ocurre una inhalación que transporta el aire a los bronquios primarios y de ahí a los sacos aéreos posteriores, después con la exhalación transporta el aire a los parabronquios ocurriendo el intercambio gaseoso; en la segunda fase durante la inhalación se mueve el aire a los sacos aéreos anteriores, con la exhalación el aire se lleva a los bronquios secundarios y después a la tráquea. Por tanto, con este movimiento unidireccional de forma constante a través del sistema, el aire tiene un contenido más alto de oxígeno que en los mamíferos donde el intercambio es bidireccional combinándose con CO₂ de la exhalación (Figura 4) (West, 2009).

Además, en los pulmones de las aves, el oxígeno se difunde por difusión simple desde los capilares de aire a la sangre y el CO₂ en sentido inverso, estos capilares están orientados de forma que existe una contracorriente de intercambio que facilita la difusión, creando una superficie de intercambio gaseoso que varía dependiendo de la especie de ave pero que es generalmente 15% mayor con respecto a los mamíferos de tamaño similar (West, 2009).

En el pulmón aviar el volumen de sangre capilar pulmonar es de 2,5 a 3 veces mayor que en el parénquima del pulmón de un mamífero de masa corporal equivalente. Por otra parte, el epitelio de intercambio gaseoso es el más delgado en los vertebrados, entre un 56 y un 67% en comparación con los mamíferos del mismo equivalente de masa corporal (Maina, 2017).

Todas estas adaptaciones permiten que las aves tengan un sistema respiratorio eficiente y que, al moverse su entorno, tomando cantidades de oxígeno necesarias para el vuelo, junto

con otros gases o partículas presente, pueden utilizarse como monitores sensibles de contaminación ambiental por gases o partículas en el aire a bajas concentraciones (Brown et al., 1997) estas características hacen que sean organismos sensibles a los cambios en su entorno, lo que provoca un declive en las poblaciones que puede tomarse como un llamado de atención temprano de cambios en el medio ambiente (Markert et al., 2003). Esto junto con su adaptación para vivir y aprovechar los recursos presentes en las zonas urbanizadas (Becker, 2003; Baxter, 2019), ser conspicuas y fáciles de observar, además de ser uno de los grupos mejor estudiados y foco de interés público hacen del grupo de las aves un biomonitor de la calidad del aire ideal.

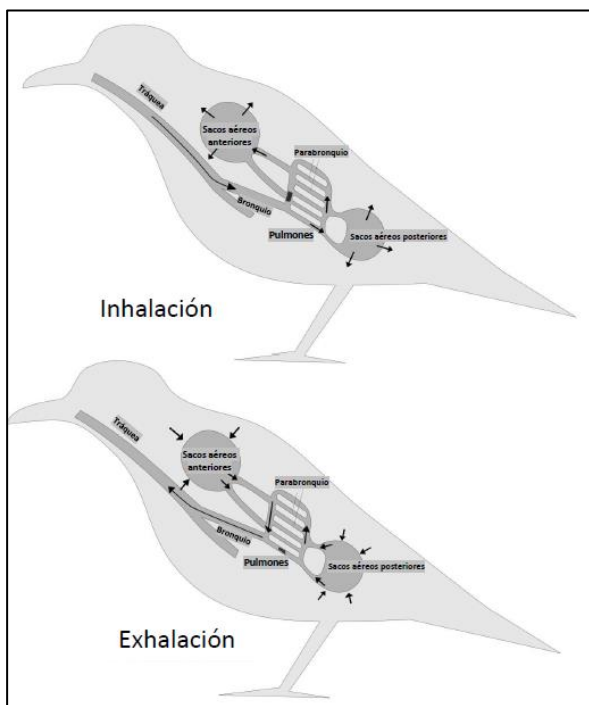


Figura 3. Sistema respiratorio aviar y flujo de aire durante el ciclo respiratorio. Tomado y modificado de Maina (2017).

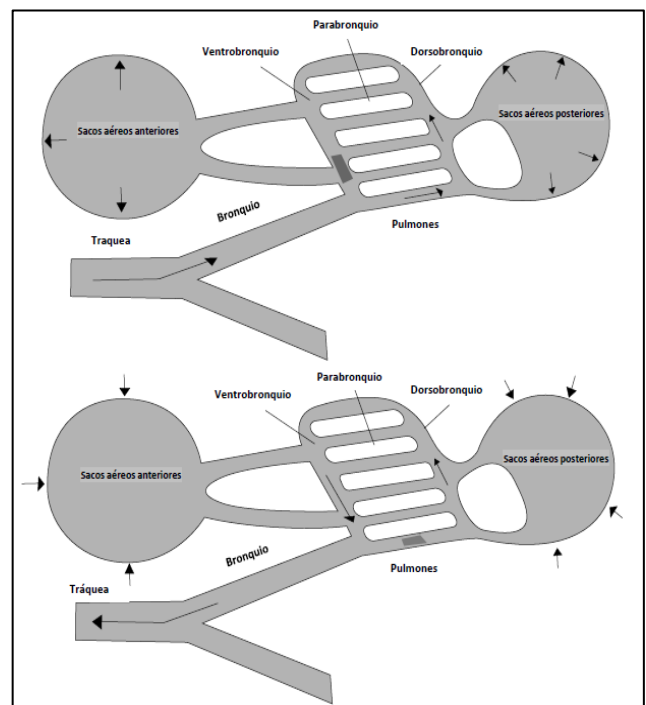


Figura 4. Circulación del aire a través de los diferentes órganos del sistema aire durante el ciclo respiratorio. Tomado y modificado de Maina, (2017).

El pinzón mexicano *Haemorhous mexicanus*, es un ave que se distribuye desde el sur de Canadá hasta el sur de México, se trata de una especie residente, aunque algunas poblaciones orientales pueden migrar hacia el sur en temporada fría (Nocedal, 2011).

Esta ave originaria de México fue introducida en Estados Unidos de América a principios del siglo XX, es una especie que se ha adaptado a vivir en zonas donde existe un cierto grado de perturbación antropogénica por lo que la podemos encontrar en ciudades y zonas suburbanas. Es un ave competitiva que desplaza a las aves del hábitat donde llega a establecerse, aprovecha cualquier oportunidad para hacer su nido, se alimenta principalmente de semillas y material vegetal, por lo que puede utilizar los desechos urbanos vegetales para alimentarse y se mueve con facilidad en ambientes urbanos. Estas características hacen que esta especie exótica tenga un gran éxito en su expansión se considere como una especie explotadora de hábitats urbanos (Nocedal, 2011; Del-Val, 2014).

Al tener una amplia distribución se pueden hacer comparaciones en diversos lugares de los países donde tiene presencia, su captura es relativamente fácil, así como su manipulación por lo que es un excelente candidato para estudios de biomonitorio de contaminantes del aire. Para lograr esto es necesario comprender también como los contaminantes afectan fisiológicamente a los organismos por lo que medir los cambios en los niveles enzimáticos del sistema oxidante/antioxidante permite determinar cómo se está viendo afectada la salud del organismo con la exposición a dichas partículas (Herrera-Dueñas, 2018).

II.8. Percepción social de la calidad del aire

La contaminación del aire es un problema que se aborda desde diferentes perspectivas para buscar soluciones al mismo. Al ser un fenómeno que no se ve muchas veces pasa desapercibido el impacto en la calidad de vida y la salud de la población que vive en las zonas urbanas y ser un tema ignorado. Desde la perspectiva social, investigar la percepción que la población tiene sobre esta es importante ya que determina juicios, decisiones y conductas que generan acciones con consecuencias en la realidad (Catalán, 2006).

Conocer la percepción que la población tiene sobre la contaminación atmosférica permite a los gobiernos locales que los programas ambientales alcancen un mayor impacto al dirigir

sus esfuerzos en temas importantes para la población en este problema y establecer planes de acción enfocados a atender las demandas pendientes en el tema más allá del monitoreo y acciones relacionadas con el control de emisión de gases (Ramírez, 2015).

La población necesita ser considerada para estimar que tanto está consciente de los daños a su salud, el considerar la valoración que tiene sobre el tema puede repercutir de forma positiva en la participación social en los proyectos de control de la contaminación, emisión de contaminantes y mejorar la confianza en el gobierno (Ghirardi et al., 2009).

Una población informada y consciente de los daños a la salud y al ambiente puede generar que los mecanismos de control de la contaminación sean más eficientes, que más personas cumplan con sus obligaciones para con su ambiente y demanden al gobierno más atención al tema y por ende más recursos para la resolución de este (Dorantes, 2014).

Una forma de acercarse a conocer la percepción de las personas es a través de la representación social (RS), esta puede ser considerada como una forma especial de conocimiento de sentido común que esta moldeada por construcciones sociales. Una construcción social es una forma específica de conocimiento, a menudo denominada "conocimiento general", que incluye el conjunto de creencias y opiniones intelectuales generadas y compartidas por el mismo grupo de individuos sobre un objeto social específico, mediante esta construcción social de la realidad los individuos perciben los procesos subjetivos como realidad objetiva y aprenden a ver la vida cotidiana como una realidad ordenada (Guimelli, 2004).

La teoría de la RS es una forma especial de estudiar la construcción social de la realidad de las personas. Estas aprenden sobre la realidad circundante a través del proceso de comunicación e interpretación del pensamiento social. La RS sintetiza estas interpretaciones y, por lo tanto, es un tipo específico de conocimiento que es crucial para conocer la forma en que las personas piensan y organizan su vida cotidiana: el conocimiento del sentido común (Moscovici, 1981).

Los elementos de las RS (Moscovici, 1979) que surgen de procesos biopsicosociales y que dan lugar a su formación como el anclaje y la objetivación conforman la teoría del núcleo figurativo de esa representación. Dicha representación tiene dos elementos: núcleos

centrales (NC) y sistemas periféricos. El NC es el elemento formador indispensable y está formado por las ideas, pensamientos o creencias más arraigadas en un grupo social particular, mismas que son recogidas por la experiencia en la interacción social y el uso del sentido común. El sistema periférico (SP) guardan una relación con el núcleo y dan una dirección y un sentido a estos; ambos elementos en conjunto formaran una RS (Abric, 1994).

El NC es el elemento que más resiste a un cambio en la RS, este es protegido por el SP, que representa la adaptación de la RS a el cambio en el tiempo de la situación social y cultural del grupo social en particular (Umaña, 2002).

Establecer la estructura que tiene la RS permite detectar ideas centrales y periféricas, las ideas que conforman el núcleo central son las que nos permiten conocer los conocimientos más arraigados en la mente del grupo social. Por su parte los sistemas periféricos dan cuenta de ideas menos arraigadas y que representan la situación de cada persona sobre un conocimiento determinado. Ambos en conjunto forman una fotografía mental del conocimiento construido en la mente colectiva y permite identificar las ideas preponderantes y las que son secundarias pero que dan riqueza y diversidad a la RS (González, 2001).

III. Antecedentes

Los estudios de biomonitoreo tienen su inicio desde finales de los años 70's del siglo XX en respuesta a la creciente contaminación que desencadenó el avance de la industrialización en las ciudades modernas (Kienzl et al., 2003). Existen estudios realizados desde la perspectiva de cada tipo de contaminación utilizando diversos organismos desde los microscópicos hasta los grandes vertebrados (Fränzle, 2003). En el caso de la contaminación del aire los primeros estudios se concentraron en detectar la presencia de metales pesados en diferentes partes del cuerpo de los organismos. En aves se ha empleado por ejemplo la sangre, el hueso, el hígado o los pulmones entre otros para determinar la presencia de estos metales en diferentes aves (Mukhtar et al., 1981; Weyers y Gluck, 1988; Hui, 2002).

Diversos tejidos de diferentes especies de aves han sido usados para detectar no solo la acumulación y biomagnificación de metales pesados sino la relación de cómo afectan estos al estado nutricional del ave con relación a diferentes parámetros por ejemplo vitaminas (Ruiz et al., 2017). En aves acuáticas se realizaron estudios sobre cómo los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP's) tienen un efecto en la activación de la vía P53 supresora de tumores (Wallace et al., 2018). En palomas mensajeras se ha evaluado la presencia de PAC's y bifenilos policlorados (PCBs) que se encuentran en la atmósfera de ciudades en China (Pei et al., 2017). También por su facilidad de manipulación y disponibilidad se han puesto en experimentación a pollos de engorda para medir la modulación pulmonar de la hemato y la hepatotoxicidad del benzo[a]pireno sin efectos aparentes (Latif et al., 2010) o la inhalación de amoniaco (Shah et al., 2020).

Por otro lado, son importantes los estudios de biomonitoreo en aves que se encuentran en el tope de la cadena trófica como por ejemplo el azor que al ser una ave rapaz permite medir a un grado final la bioacumulación de contaminantes (Dolan et al., 2017). En algunos estudios además de detectar la presencia de agentes tóxicos se relaciona a estos con el grado de urbanización para explicar el efecto en conjunto sobre la salud del ave (Bauerová et al., 2017).

Las aves de la familia Passeridae han sido utilizadas para realizar biomonitoreo de contaminantes debido a su asociación y éxito en las zonas urbanizadas para medir los

efectos de estos sobre el equilibrio oxidativo-antioxidante así como los cambios fisiológicos que esto produce sobre el estado reproductivo del ave (Alaya-Ltifi et al., 2012; Amri et al., 2016; Berglund et al., 2011; Gajski et al., 2019) aunque también se han utilizado aves de otras familias con el mismo fin (Salmón et al., 2018a) incluyendo especies migratorias (Eikenaar et al., 2020) y para relacionarlo con el entorno urbano (Isaksson et al., 2009).

Para *H. mexicanus* se han realizado estudios que incluyen análisis de marcadores de estrés oxidativo sobre todo por el grupo dirigido por Mathieu Giraudeau del Instituto de Biología Evolutiva y Estudios Ambientales de la Universidad de Zúrich, Suiza. En 2013 analizaron cómo la variación en las concentraciones de carotenoides y/o vitamina E en la dieta afecta la acumulación de estos compuestos, los factores relacionados con el daño oxidativo (la susceptibilidad al estrés oxidativo en plasma y músculo pectoral, los niveles plasmáticos de óxido nítrico, entre otros) y el desarrollo del color del plumaje; encontrando que el suministro de carotenoides disminuyó los niveles circulantes de vitamina E durante la muda, lo que sugiere una competencia molecular entre los carotenoides y el tocoferol en las etapas de absorción o transporte o que la vitamina E sirve como antioxidante para contrarrestar las acciones dañinas que los carotenoides pueden tener en concentraciones muy altas, también encontraron una reducción en el daño oxidativo del músculo de la pechuga para aves suplementadas con tocoferol, lo que constituye la primera demostración de un efecto protector de la vitamina E contra el estrés oxidativo en aves silvestres (Giraudeau et al., 2013).

En 2014 Giraudeau y McGraw cuantificaron la variación en el estrés oxidativo plasmático, las concentraciones plasmáticas de vitaminas y carotenoides y la masa corporal de machos de *H. mexicanus* en tres estaciones sucesivas (invierno, primavera y finales del verano /principios del otoño) a lo largo de un gradiente urbano-rural en Phoenix, Arizona. EE. UU. y encontraron que el grado de urbanización estaba: (1) relacionado negativamente con las concentraciones circulantes de vitamina A en invierno, (2) correlacionado positivamente con la masa corporal durante la primavera, y (3) asociado negativamente con las concentraciones plasmáticas de dos carotenoides: zeaxantina (durante la reproducción) y 3-hidroxi-equinenona (3HE) (durante la muda). En este mismo año Giraudeau y colaboradores, midieron la prevalencia y gravedad de la infección por coccidios intestinales (*Isospora* sp.), y

el virus de la “viruela del canario” (*Avipoxvirus sp.*) a lo largo de un gradiente urbano a rural en pinzones domésticos machos silvestres. Cuantificaron un indicador de estrés importante en los animales (estrés oxidativo) y varios ejes de urbanización, incluida la densidad de población humana y los patrones de uso de la tierra dentro de un radio de un kilómetro de cada sitio de captura; encontrando que, la prevalencia de la infección por *Avipoxvirus* y la gravedad de la infección por coccidios se asociaron significativamente con el grado de urbanización, con un aumento de la infección en áreas más urbanas. Los grados de infección por los dos parásitos no se correlacionaron a lo largo del gradiente urbano-rural y los niveles de daño oxidativo en plasma no se asociaron con la infección ni con las métricas de urbanización (Giraudeau et al., 2014).

Existen pocos estudios en México que utilizan aves como método de biomonitorio ambiental, estos se centran sobre todo en metales pesados como es el caso de plumas de aves acuáticas en el Lago de Chapala en los que los valores obtenidos en el sedimento analizado indicaron acumulación de dichos metales estudiados, demostrando que las plumas de aves acuáticas son una herramienta no letal útil para el biomonitorio de metales pesados (González et al., 2018); o en sangre de la coquita (*Turdus grayi* Bonaparte) en donde se encontró que el grado de urbanización se asocia con la concentración de plomo en sangre de esta ave (Gamero-Vega, 2019). Cabe señalar que para el estado de Puebla no existen estudios reportados sobre el tema.

En lo que respecta a la percepción y representación social del tema de la calidad del aire y su contaminación se han realizado estudios para poder acercarse y explicar el problema desde diferentes formas de abordaje. Navarro (2013) realizó un estudio con 305 personas, la mitad habitantes de una zona urbana con altos niveles de contaminación del aire y la otra mitad con índices de contaminación del aire bajos, mediante diferentes análisis que buscan dar una explicación sobre la organización interna de la RS del medio ambiente y de la contaminación del aire se mostró empíricamente el rol central del componente “riesgo” en la primera. Un efecto de exposición a fuentes de contaminación del aire se encontró para el segundo objeto (contaminación del aire) en la atribución de causas de esta.

Un estudio buscó describir las RS de la contaminación del aire y de las estufas de leña desde la visión de las personas que las usan en la ciudad de Temuco en Chile en 2017, se usó un

diseño transeccional descriptivo, con la técnica de redes semánticas naturales. Los resultados mostraron una vinculación de la contaminación del aire con el humo, las enfermedades y el smog. Con relación a las estufas de leña estacas se asociaron al calor, la calefacción y la contaminación. Estos resultados reflejaron una conciencia que vincula la contaminación con la enfermedad y las estufas de leña (Álvarez y Boso, 2018).

Otro estudio buscó analizar las relaciones entre la contaminación del aire y salud-enfermedad-muerte en una muestra de estudiantes de la Ciudad de México en 2003. Se aplicó una encuesta a 1,274 alumnos de secundaria en cinco zonas de la ciudad, se encontró que el 84.4% considera alta o muy alta la contaminación del aire, los riesgos a la salud respiratorio fueron los de mayor mención (66.9%) y se concluyó que los determinantes de la percepción para esta población de adolescentes fueron el género, la zona de ubicación de la escuela y las diferencias en la calidad del aire percibidas en la ciudad (Catalán et al., 2006) .

En otro estudio en la ciudad de Ambato, Chile en 2020, se determinaron las percepciones de los usuarios del transporte urbano referente a la contaminación del aire, mediante 382 encuestas a usuarios en cinco sectores. El 75% de las personas percibió que el aire estaba más contaminado de lo normal y muy contaminado, el 92% estimó que el diésel contaminaba más que la gasolina y que los más afectados por la contaminación del aire son los niños (86%) (Mayorga et al., 2020).

Para la ciudad de Puebla no existen estudios reportados de este tipo para el tema de la contaminación y calidad del aire desde la perspectiva de la percepción y la representación social.

IV. Justificación

Actualmente no existen estudios ecotoxicológicos que relacionen los contaminantes del aire con biomarcadores indicativos de perjuicios a la salud en vida silvestre reportados para el estado de Puebla y son pocos los estudios sobre biomonitorio con aves en el país para evaluar los efectos de la calidad del aire sobre biomarcadores de estrés oxidativo. La contaminación del aire es un factor que tiene una incidencia directa en la salud de la población humana y genera costos de atención al gobierno, por lo que utilizar estrategias de biomonitorio como el empleo de biomarcadores moleculares de estrés oxidativo que complementen las existentes podría generar información que contribuya a la formulación de políticas y planes de manejo de la calidad del aire, así como de la salud en el estado de Puebla y del país.

Este estudio permitirá conocer cuál es el efecto que tienen los contaminantes criterio sobre algunos biomarcadores de estrés oxidativo mediante un biomonitorio con aves, esta herramienta permitirá detectar niveles perjudiciales para la salud de estos organismos sugiriendo un daño que puede ser extrapolable a la población humana y poder alertar a la autoridad correspondiente sobre los riesgos a la salud en la ciudad de Puebla. Además, esta técnica puede aplicarse en otras localidades del estado donde no existen redes de monitoreo extrapolando los datos obtenidos para caracterizar la contaminación atmosférica en la zona de estudio.

También en este estudio se realizó un análisis de percepción social a través de la representación social sobre la calidad del aire de las personas residentes de la ciudad de Puebla. Con esto se pretende sentar una base para conocer qué tan informada esta la población sobre el tema y si está consciente del daño que la contaminación del aire tiene en su salud, si sabe dónde consultar el estado de la calidad del aire y que tanto cree que las fuentes de emisión de contaminantes suman al problema.

Esta información puede ser entregada a las autoridades encargadas del tema para la toma de decisiones con respecto a la formulación de estrategias y políticas públicas además de educación ambiental para atender el problema.

V. Pregunta de investigación

¿Es posible evaluar la condición de la calidad del aire en la Ciudad de Puebla, México (durante la estación seca del año 2021) mediante la realización de biomonitoreos basados en la determinación de la actividad enzimática de biomarcadores específicos utilizando al pinzón mexicano *Haemorrhous mexicanus* como modelo de estudio?, lo anterior apuntalado con un análisis de la percepción social.

VI. Hipótesis de investigación

El biomonitoreo mediante la determinación de la actividad enzimática de biomarcadores específicos utilizando al pinzón mexicano *Haemorrhous mexicanus* como modelo de estudio y su correlación con concentraciones de contaminantes criterio permite determinar la calidad del aire en la Ciudad de Puebla durante la estación seca del año 2021.

VII. Predicciones

- Las concentraciones de los biomarcadores analizados presentarán una relación con las concentraciones de contaminantes reportadas para el periodo de estudio.
- Se observarán diferencias estadísticamente significativas en los niveles de respuesta de los biomarcadores entre los puntos de muestreo urbano de las estaciones UTP y NIN con respecto a STA y VEL, con base en su grado de contaminación.-
- El nivel de conocimiento sobre temas de calidad y la contaminación del aire por parte de la población será calificado de regular a bajo, el tema será de preocupación media y el nivel de conocimiento del impacto a su salud será de medio a bajo.

VIII. Objetivos

VIII.1. Objetivo General

Evaluar la situación de la calidad del aire en la ciudad de Puebla mediante el biomonitoreo utilizando como modelo al pinzón mexicano *Haemorrhous mexicanus*, lo anterior acompañado de un análisis de la percepción social de la calidad del aire, ambos estudios durante la estación seca del año 2021.

VIII.2. Objetivos específicos

1. Determinar las concentraciones de los biomarcadores de estrés oxidativo en *Haemorrhous mexicanus* situados en la Ciudad de Puebla.
2. Analizar las concentraciones de los “contaminantes criterio” de los reportes de la REMA de la ciudad de Puebla durante la temporada seca del 2021.
3. Correlacionar las concentraciones de los contaminantes del aire y las concentraciones de los biomarcadores de estrés oxidativo.
4. Describir la percepción (con el uso de las representaciones sociales) sobre la calidad del aire en la ciudad de Puebla, México.

IX. Métodos

IX.1. Área de estudio

La ciudad de Puebla se localiza en el centro de México en el municipio del mismo nombre (Figura 5), en las coordenadas 19°03' N y 98°12' W a 2160 msnm. Su zona conurbada está compuesta por poblaciones de los municipios de Amozoc, Coronango, Cuautlancingo, Juan C. Bonilla, Ocoyucan, San Andrés Cholula, San Gregorio Atzompa, San Pedro Cholula y San Miguel Xoxtla. A su vez es parte principal de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala que en su conjunto forma parte de la megalópolis del centro del país con la del Valle de México, de Toluca-Lerma, Cuernavaca-Jiutepec, Cuautla y Pachuca (H. Ayuntamiento de Puebla, 2011b).

Tiene un clima templado subhúmedo con lluvias durante el verano. La dirección predominante del viento es norte-noreste y sursuroeste con una velocidad promedio de 1.6 m/s, la corriente de vientos se mezcla con la corriente fría de La Malinche generando corrientes frías sobre el municipio. La precipitación pluvial anual es de 960.9 mm y la temperatura media es de 18°C. La provincia fisiográfica a la que pertenece es la del eje Neovolcánico en la provincia de los lagos y valles de Anáhuac. La forma del territorio está caracterizada por sierra, llanura y llanura con lomeríos predominando esta última. Recibe los escurrimientos superficiales y subterráneos de los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl y La Malinche de la cual esta última representa la mayoría del aporte en el municipio, estos escurrimientos descienden por el Rio Atoyac al oeste de norte a sur y se integra al lago Valsequillo donde se encuentra la presa del mismo nombre, también los ríos Alseseca y San Francisco fluyen por el municipio. Los cuerpos de agua que están en funcionamiento son las lagunas de Chapulco, San Baltazar, la del Parque Ecológico Revolución Mexicana, la de Ciudad Universitaria y la de Amaluquilla. (H. Ayuntamiento de Puebla, 2011a).

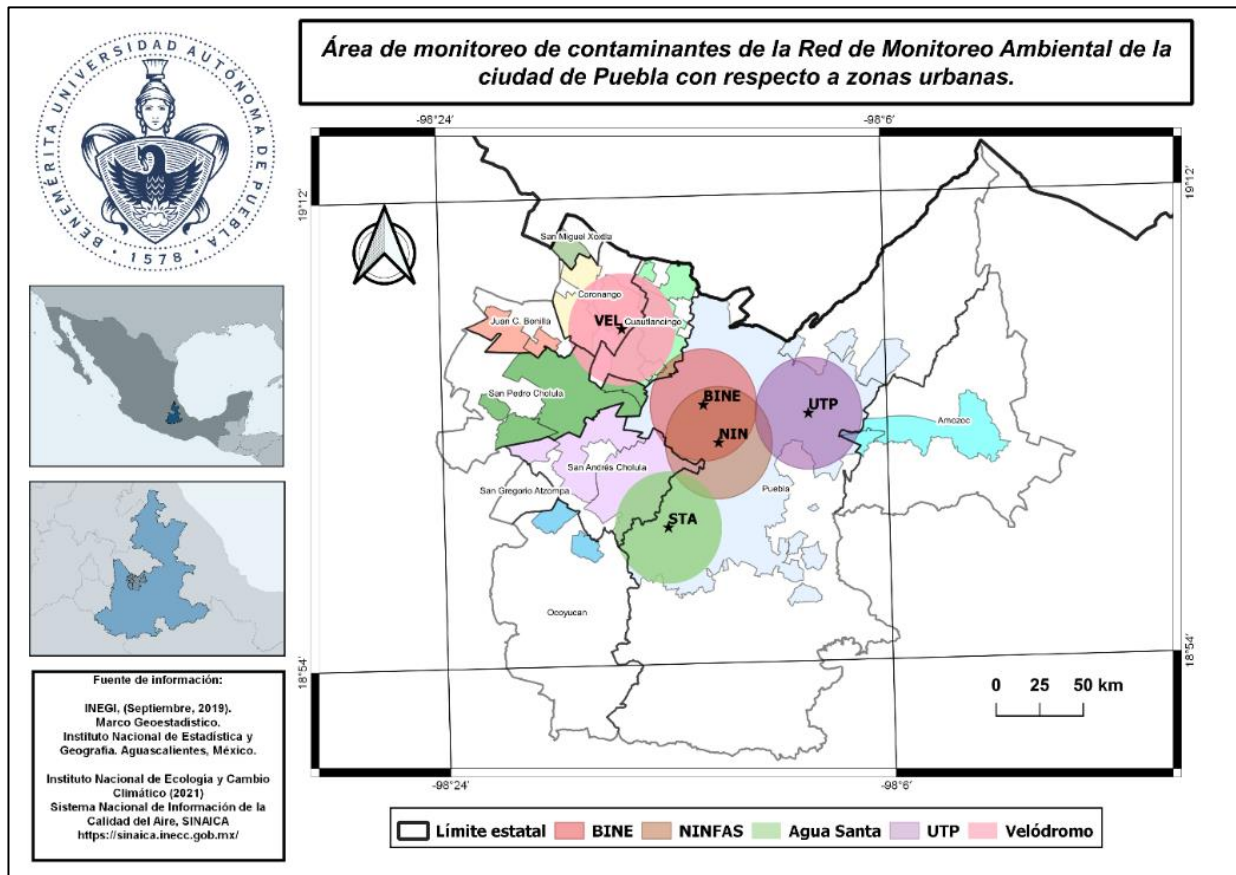


Figura 5. Área de monitoreo de contaminantes de la REMA de la ciudad de Puebla y su zona conurbada (Elaboración propia en el programa QGIS V. 3.12.3).

IX.2. Modelo de estudio

Clasificación taxonómica (HBW, 2017).

Reino: Animalia

Phylum: Chordata

Clase: Aves

Orden: Passeriformes

Familia: Fringillidae

Género: *Haemorhous*

Especie: *mexicanus*

Nombre científico: *Haemorhous mexicanus* M., 1776

Nombre común: Pinzón mexicano, gorrión mexicano, carpodaco doméstico, carpodaco común, fringílido mexicano, camachuelo mexicano.

Descripción de la especie

El pinzón mexicano *Haemorhous mexicanus* tiene un tamaño que va de 12 a 15 cm. Un peso promedio de 19 a 22 g. Es un ave con dimorfismo sexual. El macho es de color café grisáceo con un rojo muy encendido en la frente, garganta y pecho. La hembra es color café, mucho más rayado en todo el cuerpo y sin la coloración roja. Su hábitat incluye bosques abiertos, áreas arbustivas, desiertos, pueblos, zonas urbanas, y vegetación secundaria e inducida. Se alimenta principalmente de semillas y ocasionalmente invertebrados. Es una especie residente y muy común en zonas urbanas en Puebla y de amplia distribución en el estado (Figura 7). Es un ave que se le observa sola o en grupos de cuatro a cinco individuos (cuatro hembras y un macho). El macho emite un gorjeo melodioso y atractivo. Anida en matorrales, arbustos, árboles, cactáceas columnares y edificaciones. Su estatus en la lista roja de la IUCN es de preocupación menor (Mendoza et al., 2012; Birdlife, 2018).



Figura 6. Pinzón mexicano, *Haemorhous mexicanus* hembra y macho (Tomado de <https://www.flickr.com/photos/blueridgekitties/16597385120/>).

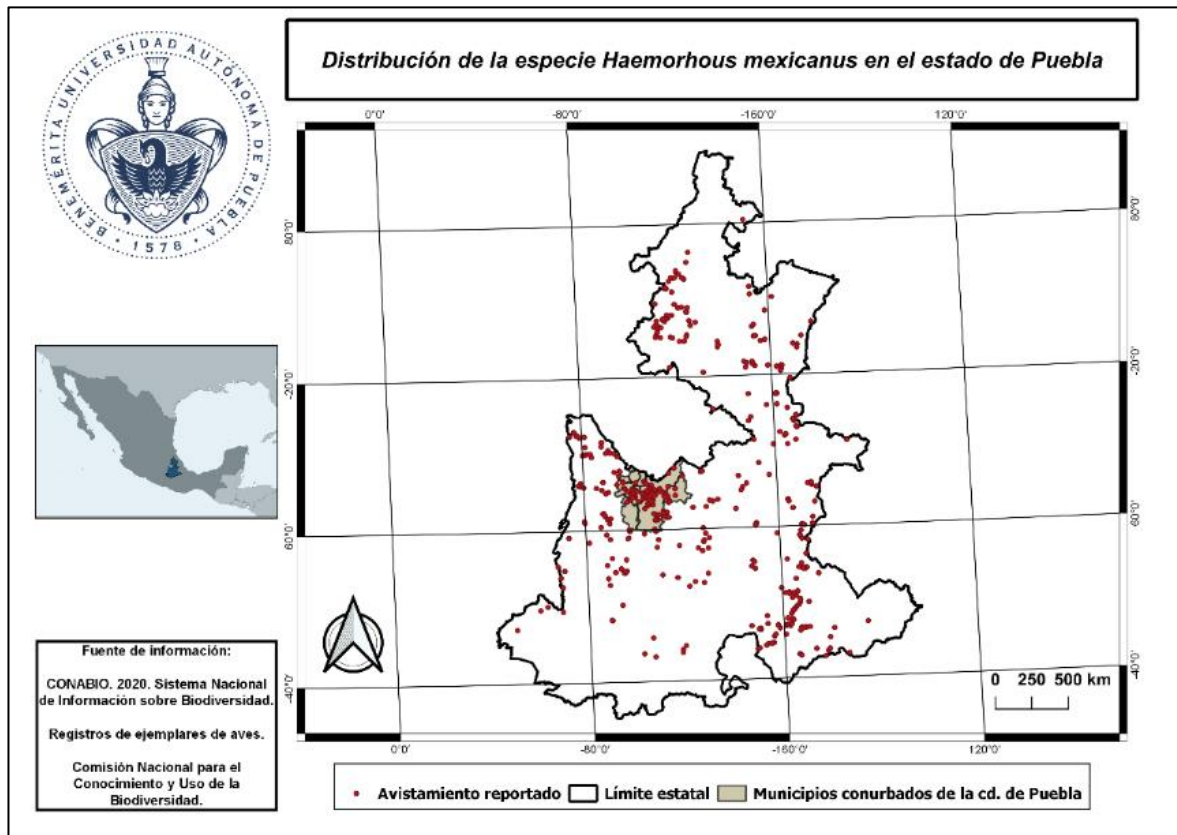


Figura 7. Distribución de la especie *Haemorrhous mexicanus* en el estado de Puebla (Elaboración propia en el programa QGIS V. 3.12.3).

IX.3. Diseño de investigación

Para el desarrollo de esta investigación se propuso un diseño dirigido, para ello se establecieron estaciones experimentales en casa-habitación de personas que apoyaron en el proyecto que estuvieran lo más cercano a las estaciones de monitoreo ambiental establecidas por el Gobierno del Estado de Puebla. Para ello se consideró el traslape a cada una de las estaciones de monitoreo automático con una distancia buffer de 4 km que corresponde al área de alcance de medición de cada una de ellas y la selección de la casa habitación (Figura 8), se prescindió de la estación BINE por existir un traslape de su área de monitoreo ambiental con la estación Ninfas. Por otro lado, cada una de las estaciones experimentales (UTPex, VELEX, STAex, NINex) se encontró dentro del área de monitoreo automático de contaminantes, sin embargo, para la estación Velódromo la estación experimental se salió del área de monitoreo ambiental (6 km) dado que no se consiguió otra ubicación más cercana, pero se decidió mantener dicho sitio dado la dirección predominante

del viento de la ciudad de Puebla es norte-noreste y sursuroeste por lo que los contaminantes son arrastrados de la zona de la estación automática de monitoreo hacia la estación experimental además la ubicación de esta en la zona urbana de Cholula resultaba de interés por el paso cercano del Tren Turístico de Puebla (una calle) (Tabla 6).

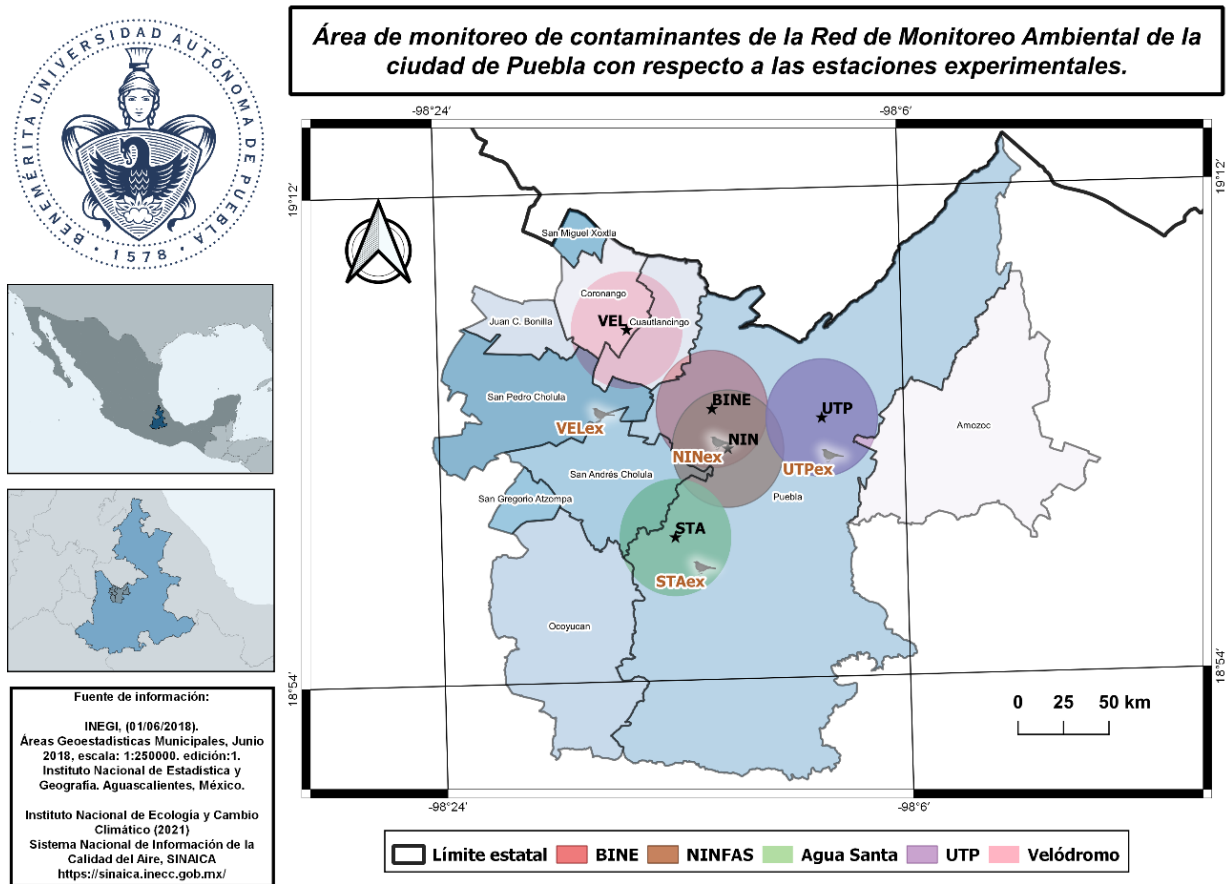


Figura 8. Localización de las estaciones de monitoreo ambiental establecidas por REMA y las unidades experimentales en el área de influencia de monitoreo de contaminantes de la REMA de la ciudad de Puebla (Elaboración propia en el programa QGIS V. 3.12.3).

Tabla 6. Ubicación geográfica de las estaciones experimentales establecidas para el biomonitoreo ambiental en la Ciudad de Puebla.

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Municipio	Zona de la ciudad
UTPex	19.0350159	-98.1465339	2190	Puebla	E
VELEX	19.0638129	-98.2936884	2142	San Pedro Cholula	NO
STAex	18.968259	-98.2309625	2107	Puebla	SO
NINex	19.0444099	-98.2178879	2142	Puebla	CENTRO

IX.4. Adquisición y aclimatación de las aves

Una vez seleccionadas las ubicaciones de las unidades experimentales se procedió a adquirir las aves de la especie del pinzón mexicano *Haemorhous mexicanus* en mercados locales de la ciudad de Puebla, específicamente con pajareros autorizados por la SEMARNAT. Se adquirieron un total de 44 individuos los cuales 22 fueron hembras y 22 machos. Todos los individuos se aclimataron por 15 días en jaulas de alambre de 50 cm de largo por 50 cm de alto por 35 cm. de ancho (Figura 9). Estas jaulas fueron aseadas diariamente y las aves se alimentaron con alpiste (*Phalaris canariensis*) y agua *ad libitum*, se mantuvieron a temperatura ambiente en un área destinada para su estancia en una casa-habitación en la ciudad de Puebla (19.0615, -98.2441; 2122 msnm). Se colocaron en cada jaula de cinco a seis individuos.

Después del periodo de aclimatación se trasladaron las jaulas con los individuos a las cuatro ubicaciones de las unidades experimentales (dos jaulas por ubicación con 11 individuos en total por estación experimental).



Figura 9. Individuos del pinzón mexicano *Haemorhous mexicanus* en jaula utilizada en el proyecto durante su proceso de aclimatación.

IX.5. Toma de muestras de referencia de las aves

Cada una de las aves se identificó con un anillo de color; con el fin de obtener un índice de condición corporal se midió la longitud del tarso (cm) con un calibrador de 6" milimétrico marca Trupper, cada organismo se introdujo en una bolsa de manta y se registró el peso (g) mediante una báscula Noval, modelo TH-IEK.

Para la manipulación y toma de muestras de las aves se utilizó un overol desechable marca Tyvek, cubrebocas KN-95, gafas y guantes de nitrilo marca Microflex. La manipulación de las aves se realizó dentro de una casa de campaña cerrada para lograr capturarlas con facilidad sí trataban de escapar, esto se realizó en cada domicilio donde se encontraban las estaciones experimentales.

A cada ave se le tomó una muestra de sangre cortando una uña previamente desinfectada con alcohol (Owen, 2011) con un cortaúñas para humano, esta muestra se recolectó en un tubo Eppendorf de 0.6 ml que contenía 25 μ L de EDTA K3 (BD Vacutainer) como anticoagulante, la muestra se centrifugó inmediatamente a 6000 rpm (Mini Centrifuga Ohaus Fc5306) para separar el paquete sanguíneo del suero (Figura 10), ambas muestras se colocaron en hielo para su conservación y transporte para su posterior uso en los ensayos de estrés oxidativo; al término de la toma de muestra se aplicó presión sobre la uña cortada para detener el sangrado y se aplicó sulfatiazol en polvo (grado materia prima) como astringente.

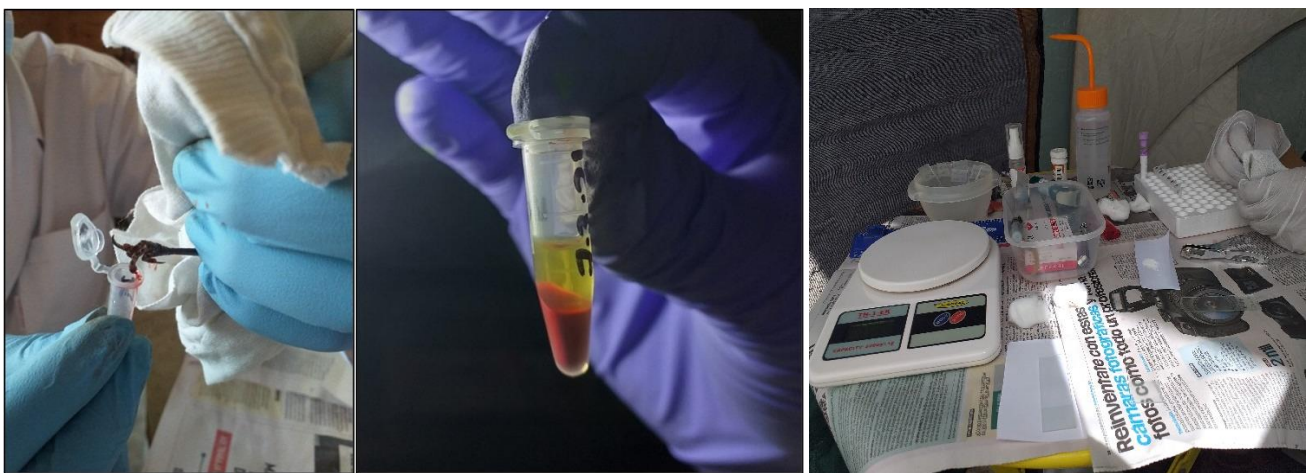


Figura 10. Protocolo para la toma de muestra sanguínea de cada ave como punto de referencia para los ensayos de estrés oxidativo.

IX.5.1. Toma de muestras de las aves en las unidades experimentales

Una vez que las aves se dejaron en cada unidad experimental, cada 15 días se procedió a la toma de muestra de sangre (μL) y peso (g). Al final del periodo de muestreo se tomó nuevamente la medida de la longitud del tarso para verificar si hubo crecimiento de esta característica morfométrica. El muestreo inicial se realizó los días 6 y 7 de febrero y el muestreo final fue el 17 de abril de 2021, con un total de 70 días (Tabla 7).

Tabla 7. Fechas de los muestreos realizados en cada una de las unidades experimentales.

Muestreo	Codificación	Fecha	Lapso, días
1	Muestreo 1 = M1	6 y 7 de febrero	-
2	Muestreo 2 = M2	6 y 7 de marzo	29
3	Muestreo 3 = M3	20 y 21 de marzo	42
4	Muestreo 4 = M4	3 y 4 de abril	56
5	Muestreo 5 = M5	17 de abril	70

IX.6. Ensayos de estrés oxidativo

Los ensayos de estrés oxidativo se realizaron en el laboratorio del Departamento de Investigación en Toxicología y Medicina Ambiental del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas. Las muestras se preservaron congeladas a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su análisis y se procesaron de acuerdo con el protocolo para cada biomarcador seleccionado, estos ensayos miden los niveles de concentración u actividad por métodos colorimétricos acoplados a microensayo con menos de $200\ \mu\text{l}$ de volumen de reacción. El plasma sanguíneo fue utilizado para analizar seis biomarcadores, los cuales en conjunto brindan un panorama general sobre el estado del estrés oxidativo del organismo al evaluar los niveles de enzimas de defensa antioxidante y de moléculas de respuesta que indican daño oxidativo a lípidos y proteínas (Tabla 8).

Los protocolos de los ensayos utilizados se describen en el Anexo I, de manera general cada uno de los ensayos incluye el descongelamiento de las muestras a temperatura ambiente, la mezcla de las muestras y el testigo por duplicado con los reactivos correspondientes, para alguno de ellos la agitación en lector de placas Thermo / LabSystems 352 Multiskan MS y la incubación de las muestras en termoblock marca Barnstead-28100 a la temperatura

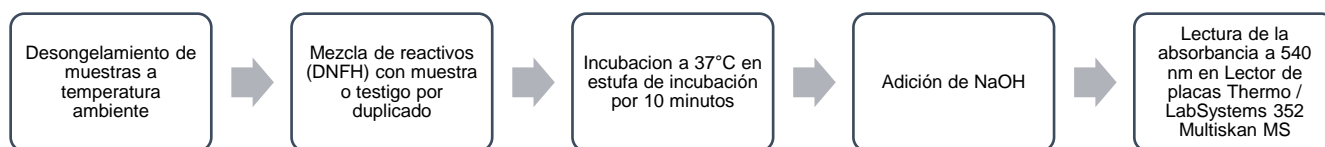
correspondiente y por último la lectura de la absorbancia correspondiente de las muestras en el lector de placas antes mencionado o en un espectrofotómetro Beckman Coulter DU® 800 UV/Visible, cada ensayo requirió la preparación de una curva patrón, con excepción GST y MPO que se calcularon con ecuaciones específicas. (Figura 11).

Tabla 8. Ensayos para determinar el estrés oxidativo utilizados en las muestras de las aves de las unidades experimentales establecidas en la ciudad de Puebla.

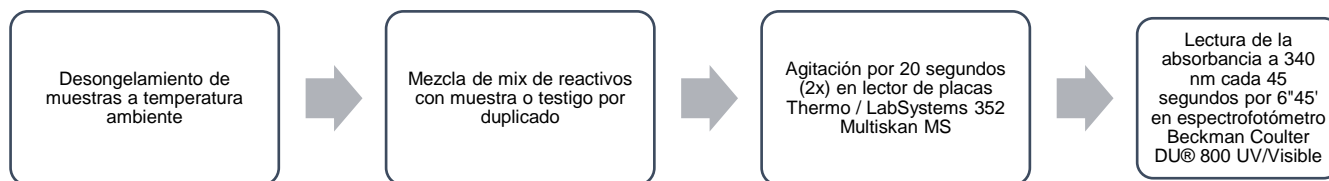
Ensayo	Biomarcador	Actividad / Indicador en el sistema oxidante/antioxidante
Determinación de metilglioxal	Metilglioxal (MGO)	Daño oxidativo a proteínas y lípidos
Actividad enzimática de Glutación-S-Transferasa	Glutación-S-Transferasa (GST)	Defensa antioxidante
Productos de oxidación avanzada de proteínas	Productos de oxidación de avanzada de proteínas (POAP)	Daño oxidativo a proteínas
Actividad enzimática de la arginasa	Arginasa (ARG)	Defensa antioxidante
Determinación de la peroxidación de lípidos mediante niveles de malondialdehído (MDA)	Malondialdehído (MDA)	Daño oxidativo a lípidos
Determinación de la actividad enzimática de la mieloperoxidasa	Mieloperoxidasa (MPO)	Daño oxidativo a proteínas y lípidos

Por último, las muestras procesadas (Figura 12) fueron recolectadas en frascos ámbar específicos para cada ensayo para su posterior procesamiento por el personal correspondiente del laboratorio con el fin de ser desechadas de forma segura. También se realizó para cada muestra de plasma sanguíneo el ensayo de determinación de proteínas por el método de Lowry (Lowry et al., 1951) para poder determinar cuantitativamente la concentración de proteínas en la misma y establecer una relación entre las unidades del biomarcador por miligramo de proteína total de la muestra.

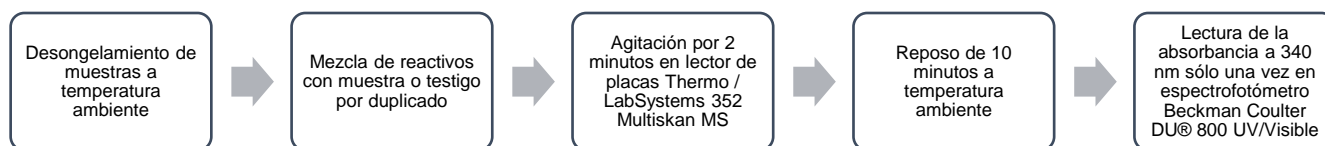
Metilgloxal



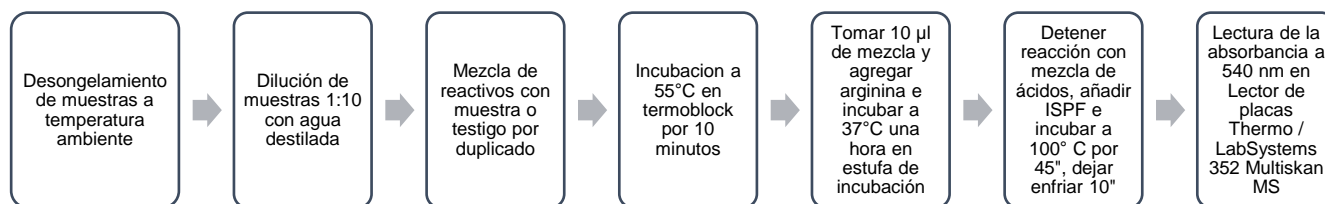
Glutación – S – Transferasa



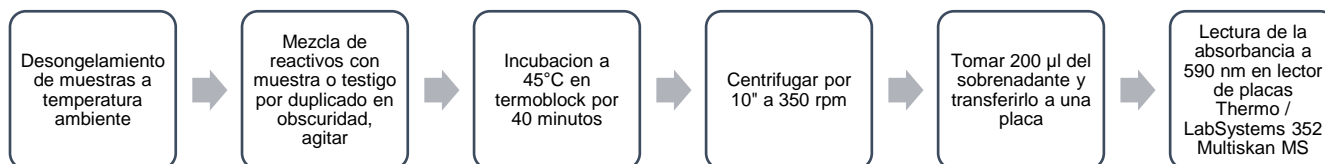
Productos de oxidación de avanzada de proteínas



Arginasa



Malondialdehído



Mieloperoxidasa

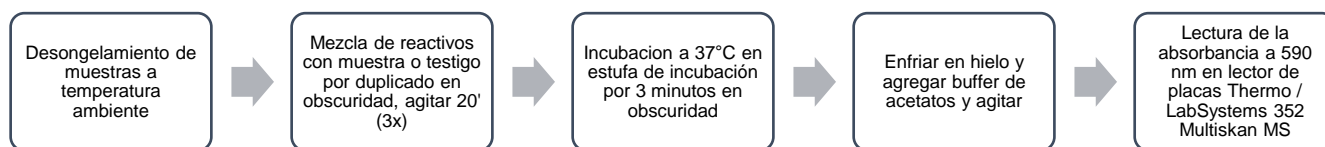


Figura 11. Diagramas generales de los procedimientos realizados en los ensayos de estrés oxidativo.

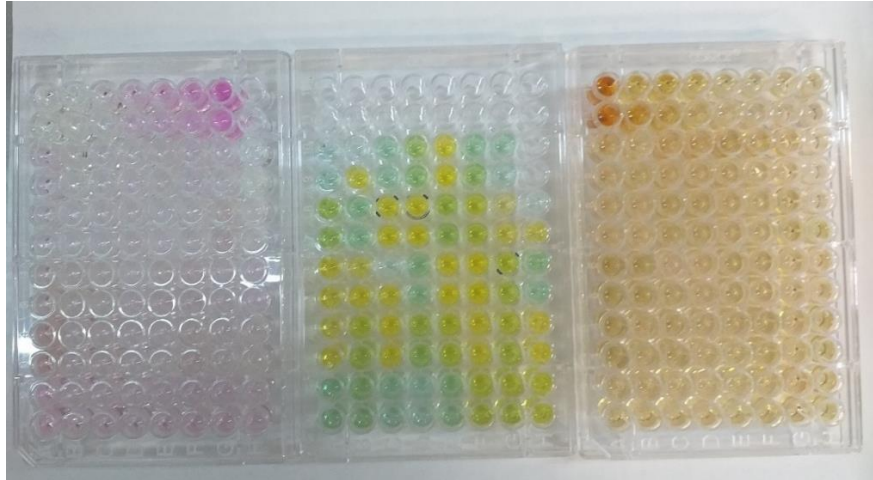


Figura 12. Producto final de muestras procesadas después de los ensayos de estrés oxidativo para los biomarcadores, de izquierda a derecha: arginasa, mieloperoxidasa y metilglioxal. Cada intensidad y variación de color muestra el grado de estrés oxidativo presentado por la muestra.

IX.7. Obtención de datos de concentración de contaminantes monitoreados por la REMA y parámetros ambientales.

Para el análisis de los contaminantes monitoreados por la REMA y los parámetros ambientales, se descargaron los datos del periodo de enero a mayo de 2021 directamente de la página del SINAICA: <https://sinaica.inecc.gob.mx/> para las estaciones de monitoreo del estado de Puebla (datos crudos) y de la página del Gobierno del Estado de Puebla a cargo de la SMADSOT: <http://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php> (datos validados). Los contaminantes que fueron contemplados para el análisis fueron CO, NO₂, SO₂, O₃, PM_{2.5} y PM₁₀, los cuales son utilizados para generar un reporte de índice de calidad del aire por estas instituciones. Existen algunos periodos en los que la actividad de algunas estaciones no tiene registro lo cual se subsanó con el análisis estadístico.

Dado que estas estaciones no miden parámetros ambientales excepto la estación Velódromo en algunos periodos, se solicitó la información de la Red Automática de Monitoreo Meteorológico (RAMM) del Valle de Puebla al Departamento de Investigaciones Arquitectónicas y Urbanísticas (DIAU) de la BUAP, los parámetros obtenidos fueron temperatura y humedad relativa. La información de las estaciones de monitoreo usadas

fueron las más cercanas a las estaciones experimentales y que tuvieran la información más completa para el periodo señalado.

En los periodos en que no hubo información disponible sobre estos parámetros ambientales se obtuvo también la información complementaria del sitio del Proyecto de Predicción de Recursos Energéticos Mundiales (POWER) del Centro de Investigación Langley (LaRC) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) financiado a través del Programa de Ciencias Aplicadas/Ciencias de la Tierra de la NASA (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>).

Los valores utilizados de los contaminantes criterio empleados para el análisis fueron los registrados por las estaciones de monitoreo automatizado una semana antes de los muestreos.

IX.8. Aplicación de encuestas semiestructuradas

Para describir la percepción a través de la RS de las personas residentes de la ciudad de Puebla sobre la calidad del aire se aplicaron encuestas semiestructuradas. Se determinó el tamaño de muestra de acuerdo con Vivanco (2005) a través de la siguiente formula:

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 Npq}{e^2(N - 1) + Z_{\alpha/2}^2 pq}$$

Dónde: n = muestra, $Z_{\alpha/2}^2$ = valor tabulado del coeficiente de confianza al 95% (**1.96**), p= proporción de la varianza que presenta atributo (**0.5**), q = complemento de 1 – p (**0.5**), e^2 = error máximo admisible al 5% (**0.05**), N = población de la ciudad de Puebla en 2020 (INEGI, 2020) (**2,391,218**). El tamaño de muestra propuesto fue de 385 encuestas.

Se aplicó la encuesta en línea con el formato del Anexo II (modificado de DINAMIA, 2013) mediante la aplicación Google Forms del 14 de abril al 06 de mayo de 2021. El instrumento de encuesta estuvo estructurado para obtener datos poblacionales, conocimientos y percepción sobre la calidad del aire, contaminación atmosférica y su relación con la salud; dentro del instrumento, se incluyeron preguntas abiertas que describieran la percepción a partir de las tres primeras palabras que las personas mencionaran y relacionaran de manera inmediata, con estos datos se procedió a su análisis.

X. Análisis de datos

X.1. Biomonitorio de la calidad del aire

Los análisis estadísticos se realizaron con los programas R versión 4.2.2 (R Core Team, 2020) y Statistica 7.0 (Stat Soft, 2004) como se indica a continuación.

X.1.1. Morfometría de las aves

Con respecto a los datos obtenidos del peso (g) y longitud del tarso (cm) de las aves se obtuvieron los siguientes estadísticos descriptivos: media, error estándar, el valor máximo y mínimo para cada muestreo para cada estación experimental. Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con una significancia de $p = 0.05$ para verificar este supuesto y una prueba de Levene para determinar la homogeneidad de varianzas de ambas variables, posteriormente se realizó una prueba T de Student para encontrar diferencias significativas en la longitud del tarso de las aves entre el muestreo 1 y el muestreo 5.

Se aplicó un análisis de varianza de un factor para determinar la posible presencia de diferencias significativas entre el peso de los individuos durante los cinco muestreos. Para la definición de diferencias significativas entre los organismos se utilizó la prueba de comparación múltiple de Tukey (González y Felpeto, 2013).

X.1.2. Biomarcadores de estrés oxidativo

Para los datos de los biomarcadores de estrés oxidativo se detectaron valores atípicos, el criterio de eliminación para dichos valores se realizó utilizando la regla empírica (Mendenhall et al., 2015) y se conservaron si cumplían con la regla empírica para el intervalo ($\mu \pm 2\sigma$) que contiene aproximadamente 95% de las mediciones, donde μ es la media de los datos y σ la distribución estándar de los datos. Los datos faltantes en cada muestreo fueron imputados con la media del muestreo por biomarcador (Medina y Galván, 2007).

Se realizaron comparaciones entre estaciones experimentales bajo dos vertientes, una, comparando los muestreos por estación que permitió observar como la concentración del biomarcador fue variando a través del periodo de estudio y, por otra parte, por estaciones entre muestreos, lo cual permitió observar las diferencias de concentraciones entre estas en cada uno de los muestreos.

Se obtuvieron estadísticos descriptivos y se construyó un diagrama de cajas para observar el comportamiento de las variables. Se realizó una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con una significancia de $p = 0.05$ para verificar este supuesto con los datos. Se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis para probar la normalidad de los datos, dado que los datos mostraron un comportamiento no paramétrico y son pareados, se realizó la prueba de suma de rangos de Friedman para determinar si existieron diferencias entre los muestreos y se calculó el tamaño del efecto (W de Kendall) para verificar si existe asociación o concordancia entre los datos. Por último, se realizó la prueba de Wilcoxon de comparaciones múltiples con una corrección de Bonferroni para identificar los muestreos significativamente diferentes para cada biomarcador (González y Felpeto, 2013).

X.1.3. Contaminantes criterio

Los valores de las concentraciones de los contaminantes criterio medidas por la REMA que se utilizaron en el estudio fueron los registrados durante una semana previo al muestreo en las estaciones experimentales. Dado que la información de las estaciones automatizadas de monitoreo atmosférico presentó periodos (horas) en los cuales no estuvieron en operación se tuvo información faltante de los contaminantes criterio para algunos muestreos, en este caso los datos faltantes fueron imputados con la concentración media semanal correspondiente (Medina y Galván, 2007).

Se obtuvieron los estadísticos descriptivos los cuales fueron la media, el error estándar, el valor máximo y mínimo para cada muestreo para cada estación experimental, se realizó una prueba de Levene de homogeneidad de varianzas y una prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los datos, para los datos paramétricos se utilizó una ANOVA de un factor para determinar si existían diferencias significativas entre las estaciones de monitoreo automático y entre los muestreos realizados en las unidades experimentales, se aplicó una prueba de Tukey para determinar las diferencias entre estos. Para los datos no paramétricos se utilizó una prueba de Kruskal-Wallis para encontrar si había diferencias significativas y una prueba de comparaciones múltiples de Wilcoxon con ajuste de Bonferroni para determinar dichas diferencias (González y Felpeto, 2013).

X.1.4. Temperatura y humedad relativa

Para los valores de los parámetros climáticos de temperatura y humedad relativa se obtuvieron estadísticos descriptivos los cuales fueron la media, el error estándar, el valor máximo y mínimo para cada muestreo para cada estación experimental.

X.1.5. Análisis de correlación

Para encontrar la correlación entre las variables predictoras y de respuesta se realizó un análisis de correlación de Spearman con una significancia de $p = 0.05$ para detectar las asociaciones significativas entre las variables. El método de Spearman es un método no paramétrico el cual no requiere ninguna hipótesis sobre la distribución de los datos, se calcula de manera similar al de Pearson, pero asigna rangos a los datos. Cuando existen varios datos con el mismo valor se asigna a todos estos el promedio del rango que le corresponde. Funciona para cualquier tipo de asociación de variables de tipo monótono (González y Felpeo, 2013). El análisis se realizó utilizando el paquete *corrplot* del programa R (Wei y Viliam, 2021).

X.1.6. Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con el objetivo de explorar la relación entre las variables predictoras, las variables de respuesta y las estaciones de monitoreo experimental. Este análisis reduce la complejidad de los datos pasando de muchas variables a pocas, en general una o dos que pueden ser analizados gráficamente, para esto el conjunto de variables original son transformadas en otro conjunto de variables llamados componentes principales. Los componentes principales conservan toda la información (variabilidad) de las variables originales pero cada componente tiene una variabilidad pequeña que pueden pasarse por alto, por lo que con unos pocas componentes (dos o tres) se puede presentar y explicar la información del conjunto de valores sin pérdida de información. En esta última característica radica también el inconveniente del ACP ya que puede existir pérdida de parcial de información (por lo general pequeña) por cada componente analizado y los componentes carecen del significado real de las variables originales. Cada componente principal explica la máxima variabilidad residual posible de las variables originales. Las condiciones para realizar el análisis son que las variables sean

cuantitativas y estén correlacionadas (Ruiz, 2012; González y Felpeto, 2013). El ACP se realizó utilizando los paquetes *stats*, *FactoMineR*, *factoextra*, *ggplot2*, *plyr*, *scales* y *grid* incluidos en el programa estadístico R.

X.1.7. Análisis de clústeres

Con el fin de encontrar similitudes entre las variables y los muestreos se realizó un análisis de clústeres con los valores de la media de los biomarcadores de estrés oxidativo, los contaminantes criterio y los de temperatura y humedad relativa. Este análisis tiene como objetivo conformar grupos a partir de un conjunto de individuos, es un método de clasificación que parte de un conjunto de elementos singulares que son clasificados en un número reducido de grupos o clústeres conformados por individuos con características similares (Santana, 1991; Miranda et al., 2010). El método utilizado fue el de *K-means*, que utiliza un algoritmo de clasificación no supervisada, agrupando cada valor de muestreo en *k* grupos utilizando la mínima suma de distancias entre cada valor de muestreo y el centroide de su clúster (Everitt et al., 2011). El análisis se realizó con los paquetes *tidyverse*, *cluster*, *factoextra*, *NbClust* y *tidyr* incluidos en el programa estadístico R.

X.2. Percepción y representación social

Con los datos obtenidos de las encuestas se elaboró una base de datos en la que cada una de las tres primeras palabras que justificaban la respuesta de la persona encuestada fueron asignadas a concepto en particular con el fin de analizarlas de acuerdo con su frecuencia de aparición para representarlas a través de un gráfico (sociograma) de redes compuesto por nodos y conectado por líneas (Hanneman, 2005) con el programa Ucinet 2016, versión 6.730 (Borgatti et al., 2002), el cual utiliza un algoritmo con el que se asigna un núcleo y un sistema periférico de las respuestas, las frecuencias de ideas recogidas son representadas en el gráfico con líneas de mayor grosor, además identifica los actores que pertenecen a cada elemento. El gráfico que representa la red de representación social fue elaborado con el programa NetDraw versión 2.177 (Aguilar-Gallegos et al., 2017).

Con el uso de los números de Hill se analizó la información de la RS. Los números de Hill posibilitan realizar un análisis de la diversidad de respuestas obtenidas en la encuesta, la riqueza de ideas está en función de la abundancia de estas y la homogeneidad con la que

se reparten (Fernández, 2007). $N0$ representa el número total de ideas recopiladas (riqueza), $N1$ las ideas importantes mientras que $N2$ indica las ideas más importantes y socializadas. La diferencia entre $N1-N0$ representa las ideas raras que son respuestas más individuales. Las fórmulas para obtener $N1$ y $N2$ son:

$$N1 = e^{H'}; N2 = \frac{1}{\lambda};$$

Donde $e= 2.71828$ (base de logaritmos naturales), H' = Índice de diversidad de Shannon-Weaver, λ = Índice de diversidad de Simpson.

El índice de Shannon-Wiener (H') relaciona la información del sistema de ideas con el grado de complejidad en su representación, al sumar nuevas ideas al sistema el valor de este será mayor, valores menores a 2 de este índice son considerados bajos, de 2 a 3.5 medios y superiores a 3.5 altos (Shannon, 1948). La diversidad máxima esperada (H'_{max}) representa el caso hipotético de que todas las ideas estén igualmente presentes. El índice de información (I) da cuenta de cómo las ideas ya sea nuevas o antiguas se socializan por lo que este índice se incrementa cuando se suman nuevas ideas. El índice de organización (Q) es otra forma de medir el orden de la representación social, es decir que tan organizada esta la información dentro del sistema, entre más cercano a cero se encuentre su valor la representación es más ordenada. El índice de Simpson (λ) representa que tan socializadas están las ideas, conforme el índice se acerca a un valor de uno la idea en cuestión tiene mayor consenso en la población y la información tiende a estar más organizada (Moreno, 2001; González et al., 2020). Las fórmulas para obtener estos índices son las siguientes:

$$H' = -\sum_{i=1}^S(pi \ln pi); H'_{max} = \ln N0, I = H_{max} - H'; Q = 1 - \left(\frac{H'}{H'_{max}}\right); \lambda = \sum_{i=1}^S(pi^2)$$

Donde S = número de ideas, pi = abundancia relativa de cada idea (frecuencia de una idea en específico/ frecuencia total de ideas) (Lara et al., 2010).

XI. Resultados

XI.1. Biomonitorio de la calidad del aire

XI.1.1. Morfometría de las aves

Los resultados de la prueba de Levene de los datos morfométricos del peso y la longitud del tarso de las aves (Anexo IV) indicaron homogeneidad de varianzas para ambas variables. La ANOVA mostró que no existieron diferencias significativas para el peso entre las estaciones ($F=0.55$, $p=0.655$), es decir, de manera general en todas las estaciones experimentales tuvieron un comportamiento similar con respecto al peso durante el periodo de estudio. Con respecto al comportamiento del peso entre muestreos si hubo diferencias significativas ($F=27.35$, $p=0.000001$). De acuerdo con la prueba de Tukey el muestreo 1 presentó diferencias con los demás muestreos, el muestreo 2 tuvo diferencias significativas con el muestreo 5, entre el muestreo 2, 3 y 4 no se observaron diferencias significativas y el muestreo 4 presentó diferencias significativas con el muestreo 5 (Tabla 9).

Tabla 9. Resultados de la prueba de rango de Tukey (error: entre cuadrado medio = 0,09182, $gl = 15$) para el peso entre muestreos.

	Promedios				
Muestreo	(1) 19,375	(2) 18,625	(3) 18,390	(4) 18,155	(5) 17,190
1		0.022989	0.002846	0.000472	0.000150
2	0.022989		0.805604	0.234545	0.000193
3	0.002846	0.805604		0.805604	0.000535
4	0.000472	0.234545	0.805604		0.003380
5	0.000150	0.000193	0.000535	0.003380	

En general se presentó una disminución en el peso durante el periodo de estudio que fue de 19.375 g. en el primer muestreo a 17.190 g. al final de este (Figura 13). Para la longitud del tarso la prueba T de Student arrojó que no existieron diferencias significativas entre el muestreo 1 y el muestreo 5 ($p=0.321$) (Anexo IV).

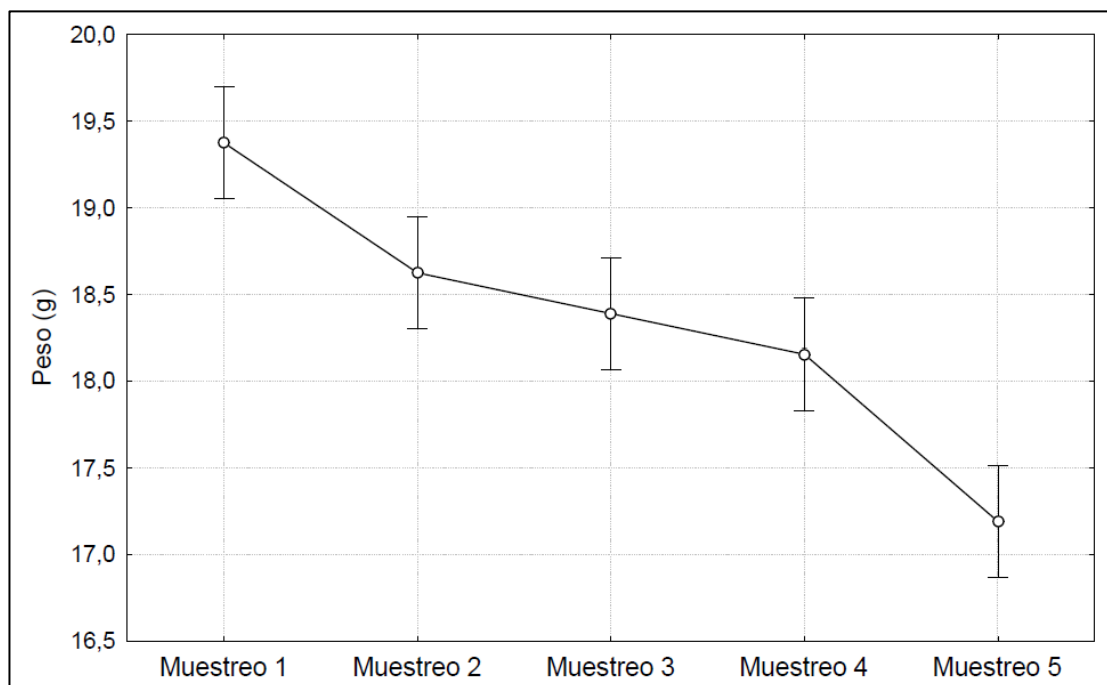


Figura 13. Medias ponderadas para el peso durante los muestreos del estudio (efecto actual: $F(4, 15) = 27,352$, $p=0,000001$, las barras verticales indican intervalos de confianza de 0.95).

XI.1.2. Contaminantes criterio

Los datos con la concentración promedio del contaminante así como los niveles mínimos y máximos durante el estudio muestran que los promedios semanales de concentración de los contaminantes criterio (Anexo V) antes de los muestreos de los sies solo tres rebasaron el límite de concentración permitida por la NOM correspondiente y fueron ozono, $PM_{2.5}$ y PM_{10} (Tabla 10, Figura 14).

a) Dióxido de carbono: Durante el periodo de estudio las concentraciones variaron entre 0.229 ppm y 2.150 ppm, su media fue de 0.787 ppm, las concentraciones no superaron el límite máximo permitido de acuerdo con la norma (11 ppm) (Figura 14a).

b) Dióxido de nitrógeno: Durante el periodo de estudio las concentraciones variaron entre 0.003 ppm y 0.075 ppm, su media fue de 0.016, las concentraciones no superaron el límite máximo permitido de acuerdo con la norma (0.210 ppm) (Figura 14b).

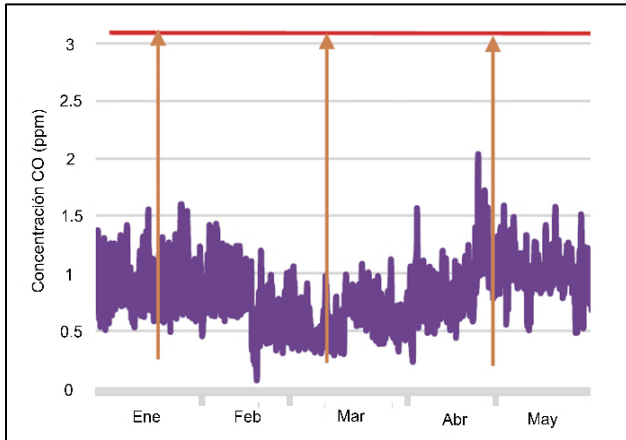
c) Ozono: Durante el periodo de estudio las concentraciones variaron entre 0.004 ppm y 0.115 ppm, su media fue de 0.036 ppm, las concentraciones superaron el límite máximo permitido de acuerdo con la norma (0.095 ppm) nueve días (Figura 14c).

d) Material particulado menor a 2.5 micras: Durante el periodo de estudio las concentraciones variaron entre 6.755 ppm y 51.281 ppm, su media fue de 21.917 ppm, las concentraciones superaron el límite máximo permitido de acuerdo con la norma ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dos días (Figura 14d).

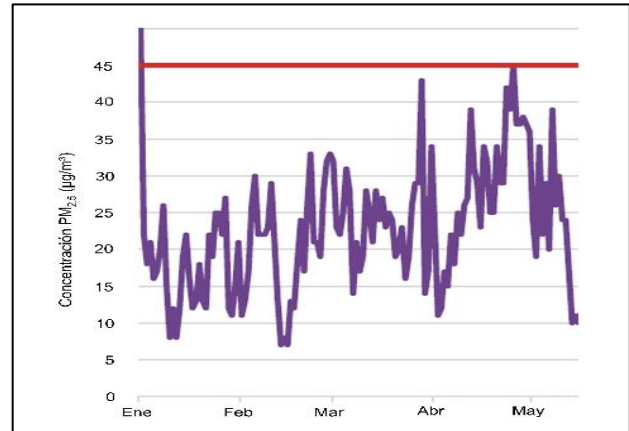
e) Material particulado menor a 10 micras: Durante el periodo de estudio las concentraciones variaron entre 17.458 ppm y 168.634 ppm, su media fue de 64.435 ppm, las concentraciones superaron el límite máximo permitido de acuerdo con la norma ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) cuarenta días (Figura 14e).

f) Material particulado menor a 10 micras: Durante el periodo de estudio las concentraciones variaron entre 0.0011 ppm y 0.0027 ppm, su media fue de 0.0022 ppm, las concentraciones no superaron el límite máximo permitido de acuerdo con la norma (0.110 ppm) (Figura 14f).

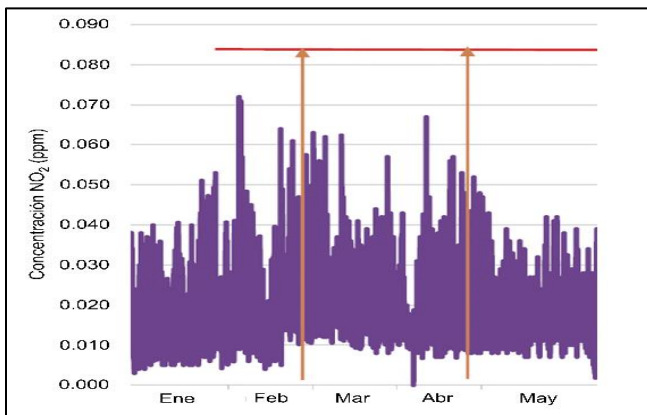
Los datos de las estaciones de monitoreo automatizado presentaron diferencias significativas ($F=3.92$, $p= 0.028$) para el ozono en las estaciones Ninfas (media= .034 ppm) y Velódromo (media= 0.018). También se presentaron diferencias significativas ($F=5.42$, $p= 0.009$) para $\text{PM}_{2.5}$ entre las mismas estaciones, Ninfas ($18.403 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Velodrómo ($25.384 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Para el dióxido de carbono se presentaron diferencias significativas ($H= 16.097$, $p= 0.001$) entre las estaciones Ninfas (0.389 ppm) y Velódromo(1.623 ppm) y entre Agua Santa (0.398 ppm) y Velódromo. Para el dióxido de azufre se presentaron diferencias significativas ($H= 15.08$, $p=0.001$) entre las estaciones Ninfas (0.001 ppm) y Agua Santa (0.002 ppm) y entre Agua Santa y UTP (0.001 ppm). Solo se presentaron diferencias significativas ($F= 3.32$, $p= 0.038$) entre los muestreos para las concentraciones del ozono en los muestreos 3 (0.020 ppm) y 5 (0.039 ppm) (Tabla 11).



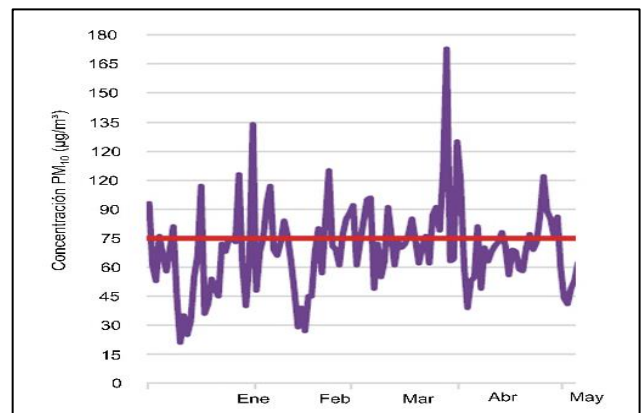
a) Dióxido de carbono (CO) (Promedio móvil 8 horas - Límite máximo permitido 11 ppm.



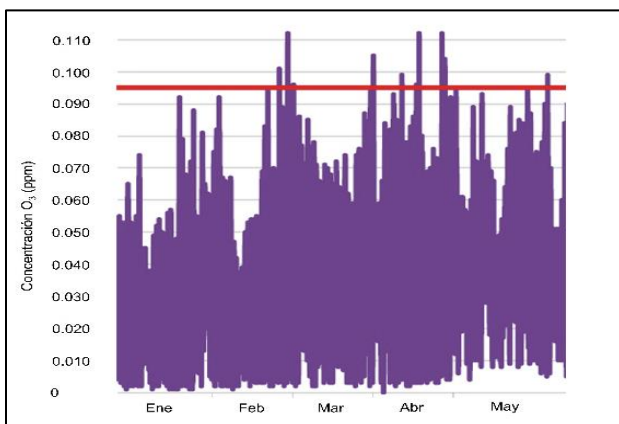
d) Material particulado menor a 2.5 micras (PM_{2.5}) Límite máximo permitido 45 µg/m³.



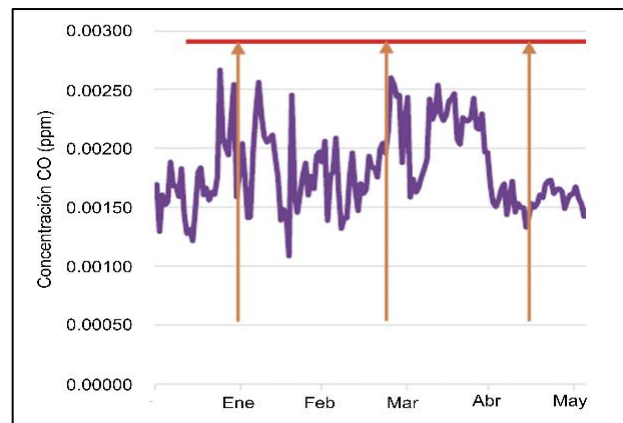
b) Dióxido de nitrógeno (NO₂) Concentración horaria - Límite máximo permitido 0.210 ppm.



e) Material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) Límite máximo permitido 75 µg/m³.



c) Ozono (O₃) (Concentración horaria - Límite máximo permitido 0.095 ppm.



f) Dióxido de azufre (SO₂) Promedio de 24 horas - Límite máximo permitido 0.110 ppm.

Figura 14. Concentrado total del comportamiento mensual de los diferentes contaminantes criterio obtenidos de las estaciones de monitoreo automatizado de la Ciudad de Puebla REMA (Tomado y modificado de SMADSOT, 2022).

Tabla 10. Estadísticos descriptivos de los contaminantes criterio enero – mayo 2021.

Contaminante criterio	Media	Mínimo	Máximo	Error estándar
CO (ppm)	0.78705	0.229	2.1501	0.121532
NO ₂ (ppm)	0.0164	0.003	0.075	0.000705
O ₃ (ppm)	0.03675	0.004	0.115	0.002105
PM _{2.5} (µg/m ³)	21.9173	6.755	51.281	0.797443
PM ₁₀ (µg/m ³)	64.43545	17.458	168.634	2.917596
SO ₂ (ppm)	0.00225	0.0011	0.0027	0.000239

XI.1.3. Temperatura y humedad relativa

Las temperaturas promedio registradas por estación de monitoreo automatizado consideradas durante el periodo de enero a mayo de 2021 de este estudio variaron desde los 13.8 hasta los 20.7°C, la temperatura fue presentando un incremento durante los meses de enero a abril para mostrar un ligero descenso en mayo con el inicio de la época de lluvias. Con respecto a la humedad relativa esta mostró una variación desde el 38.8 hasta el 65.1% durante el periodo de estudio de manera general, la tendencia mostrada fue un descenso en el porcentaje de enero abril para aumentar con la llegada de las lluvias en el mes de mayo (Figura 15, Anexo VI).

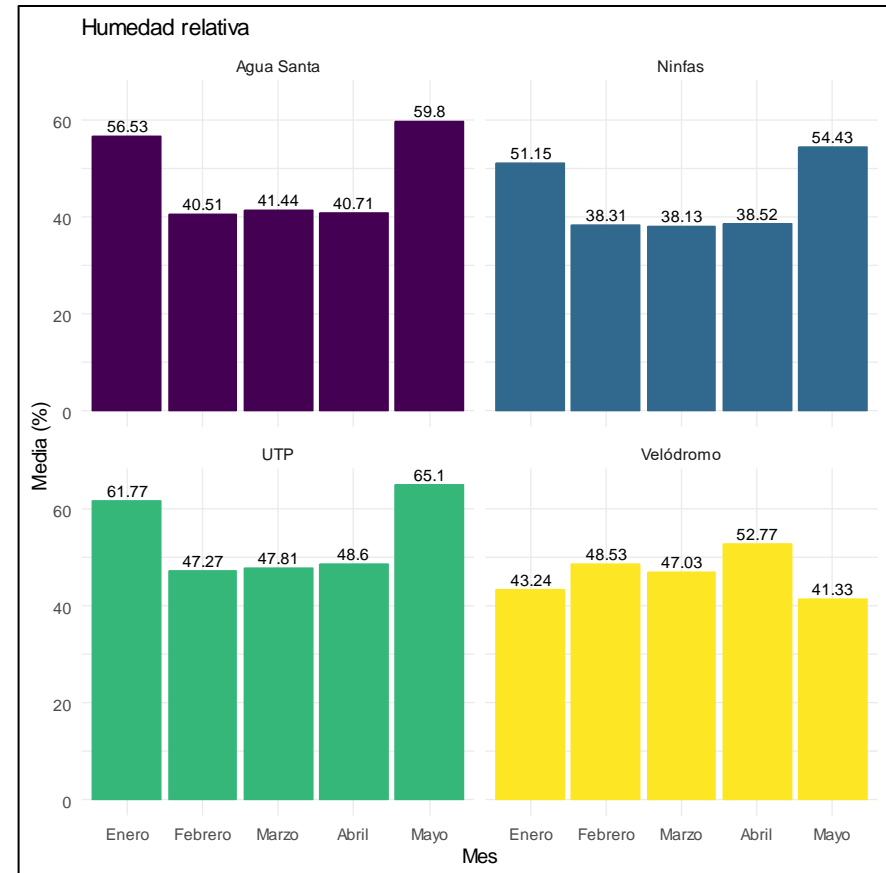
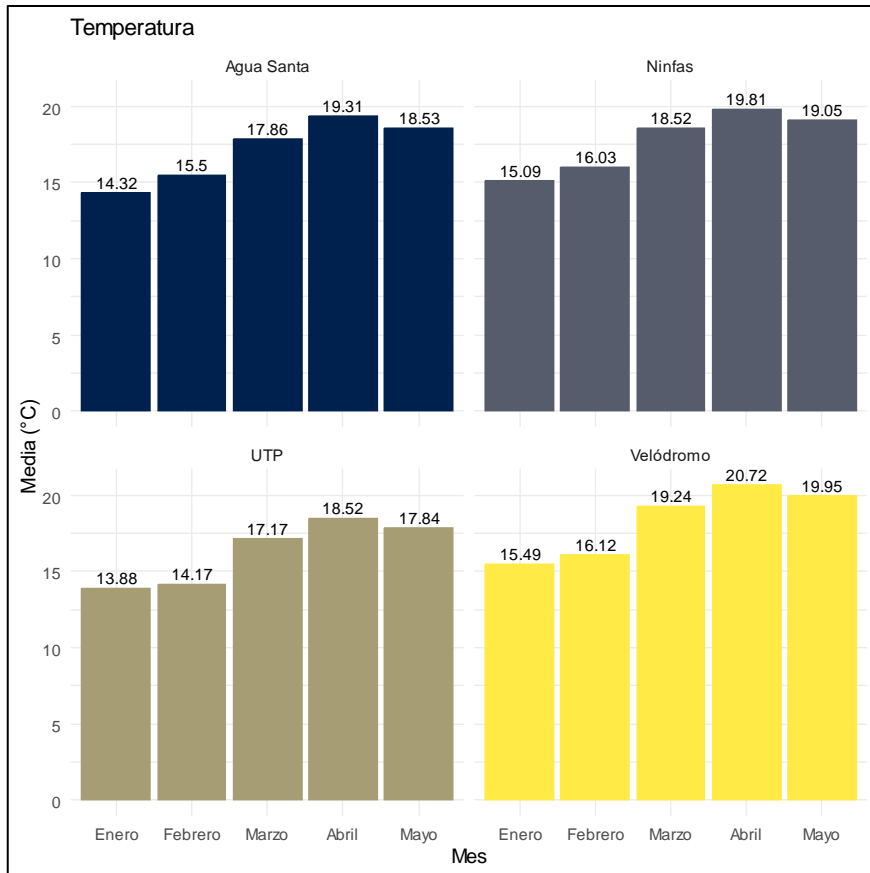


Figura 15. Temperatura y humedad relativa durante el periodo de estudio por estación de monitoreo automático. (°C y % respectivamente).

XI.2. Biomarcadores de estrés oxidativo

A continuación, se describen los resultados obtenidos para cada biomarcador.

a) Arginasa

La prueba de Friedman indicó que se presentaron diferencias significativas entre los muestreos para cada estación (Tabla 11). Las concentraciones más altas de arginasa durante los muestreos se encontraron en la estación Ninfas seguida de la estación UTP y las estaciones con menores concentración fueron las de Velódromo y por último Agua Santa (Figura 16).

Tabla 11. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador arginasa.

Estacion	χ^2	ρ	W de Kendall	Magnitud del efecto
NIN	34.33	< 0.0001	0.774	Alto
UTP	36.87	< 0.0001	0.838	Alto
VEL	38.04	< 0.0001	0.864	Alto
STA	34.33	< 0.0001	0.78	Alto

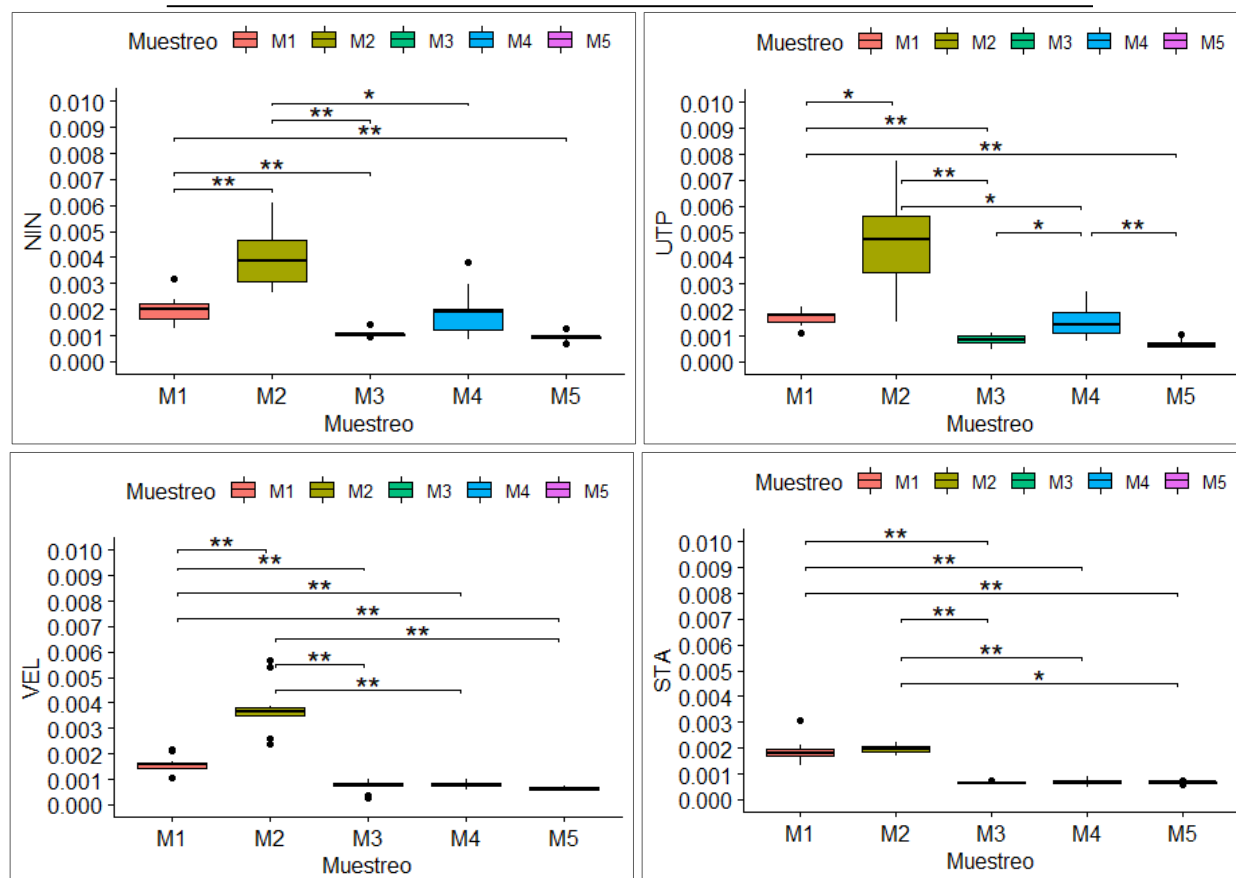


Figura 16. Comportamiento del biomarcador arginasa para cada estación experimental entre los muestreos (mg ARG/proteína total).

Se observa una tendencia en los muestreos por estación que consiste en un aumento en la concentración de la arginasa en el muestreo 2 y una disminución en el muestreo 3 por debajo de las concentraciones iniciales en el muestreo 1; para el muestreo 4 las estaciones Ninfas y UTP presentan un ligero incremento en la actividad enzimática para después todas las estaciones volver a los niveles del muestreo 3 en el último muestreo, estos hallazgos se muestran en las figuras. Las concentraciones más altas de arginasa durante los muestreos se encontraron en la estación Ninfas seguida de la estación UTP y las estaciones con menores concentración fueron las de Velódromo y por último Agua Santa (Figura 17).

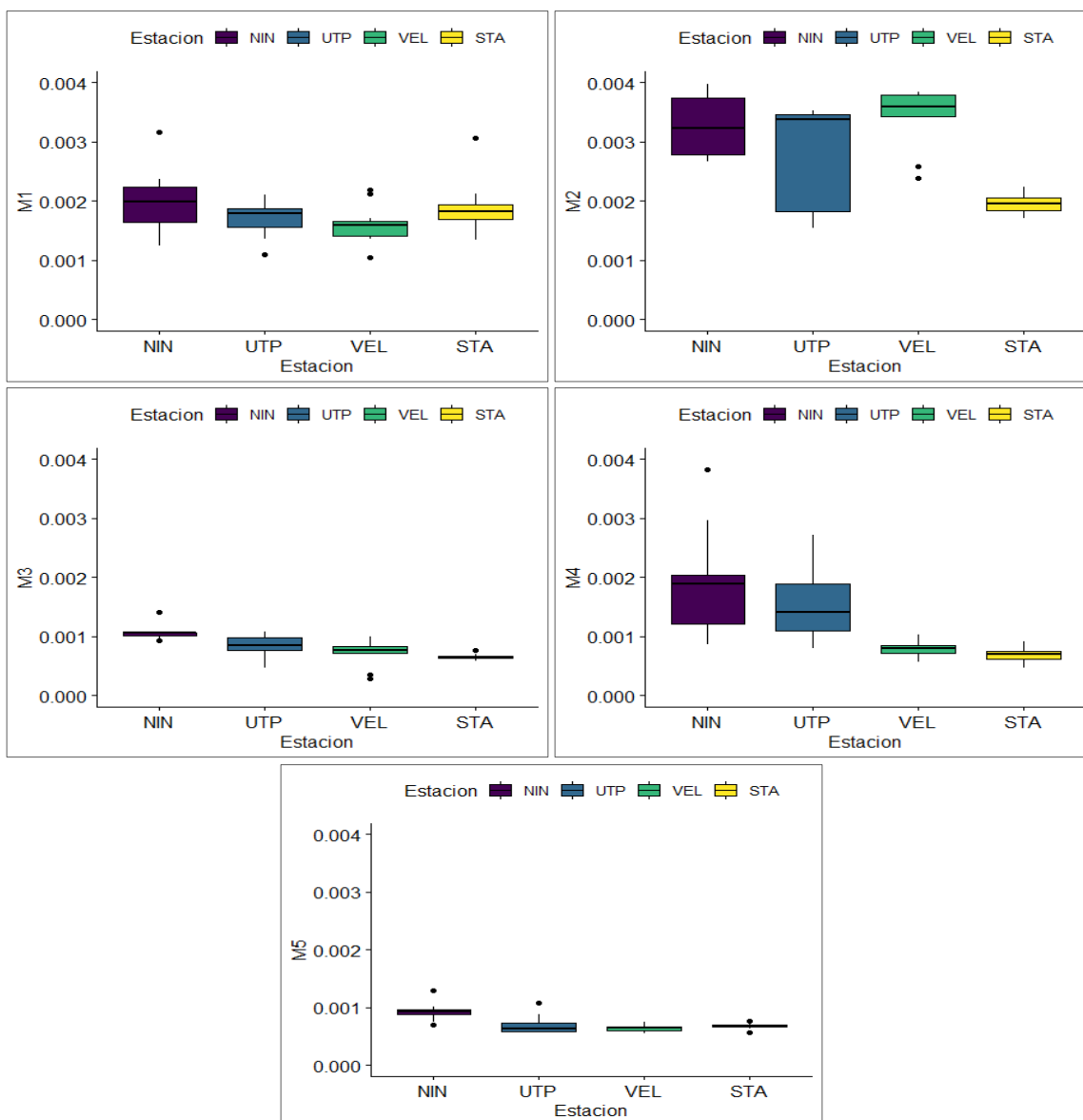


Figura 17. Comportamiento del biomarcador arginasa entre los muestreos para cada estación experimental (mg ARG/proteína total).

b) Glutación-S-Transferasa

La prueba de Friedman indicó que existen diferencias significativas entre los muestreos para cada estación (Tabla 12). Se observa una tendencia en los muestreos por estación que consiste en una disminución de la concentración de GST inicial que se mantiene a la baja en los siguientes muestreos (Figura 18).

Tabla 12. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador glutatión-s-transferasa.

Estacion	χ^2	ρ	W de Kendall	Magnitud del efecto
NIN	15.2	0.0043	0.345	Moderado
UTP	36.4	< 0.0001	0.826	Alto
VEL	39	< 0.0001	0.886	Alto
STA	36.3	< 0.0001	0.825	Alto

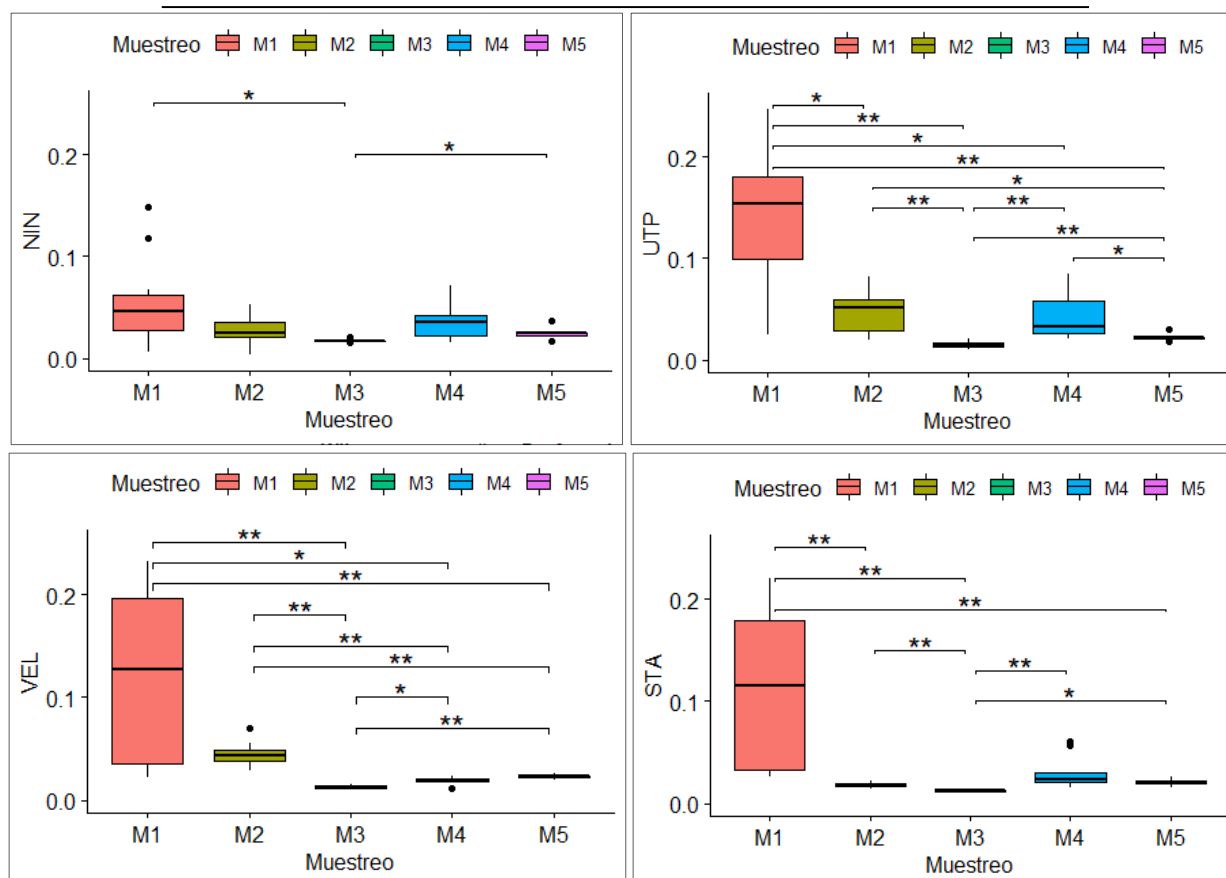


Figura 18. Comportamiento del biomarcador glutatión-s-transferasa para cada estación experimental entre los muestreos (nmol/min/proteína total).

Las concentraciones más altas de GST durante los muestreos se encontraron en la estación UTP seguida de la estación Velódromo y las estaciones con menores concentración fueron las de Ninfas y por último Agua Santa (Figura 19).

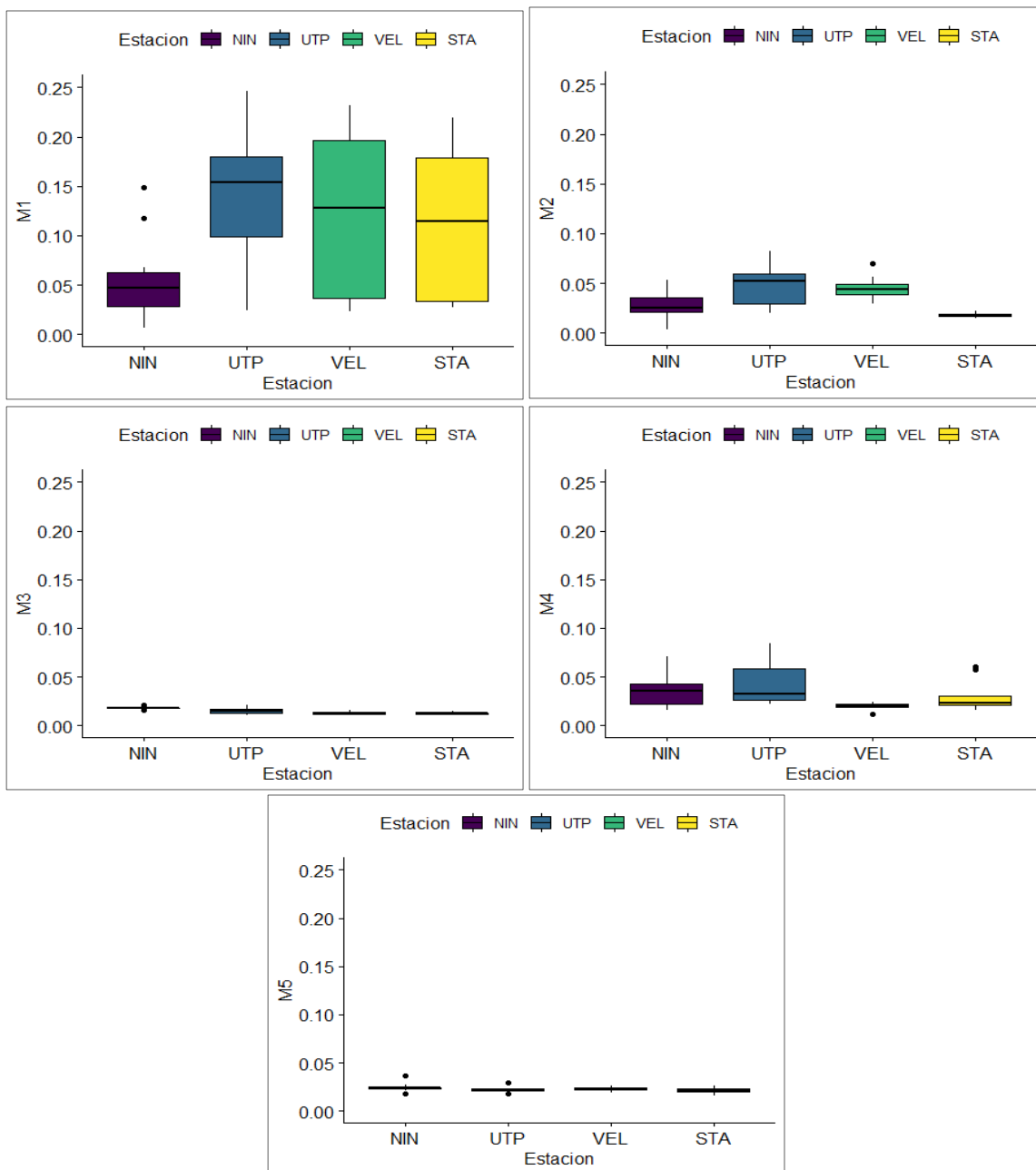


Figura 19. Comportamiento del biomarcador glutatión-s-transferasa entre los muestreos para cada estación experimental (nmol/min/proteína total).

c) Malondialdehído

La prueba de Friedman indicó que se presentaron diferencias significativas entre los muestreos para cada estación (Tabla 13). En general la tendencia de los muestreos fue de un aumento la concentración del biomarcador después del muestreo inicial para mantenerse en un nivel similar en los siguientes muestreos (Figura 20).

Tabla 13. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador malondialdehído.

Estacion	χ^2	ρ	W de Kendall	Magnitud del efecto
NIN	29.2	< 0.0001	0.663	Alto
UTP	15.2	0.0043	0.345	Moderado
VEL	32.5	< 0.0001	0.739	Alto
STA	17.1	0.0018	0.388	Moderado

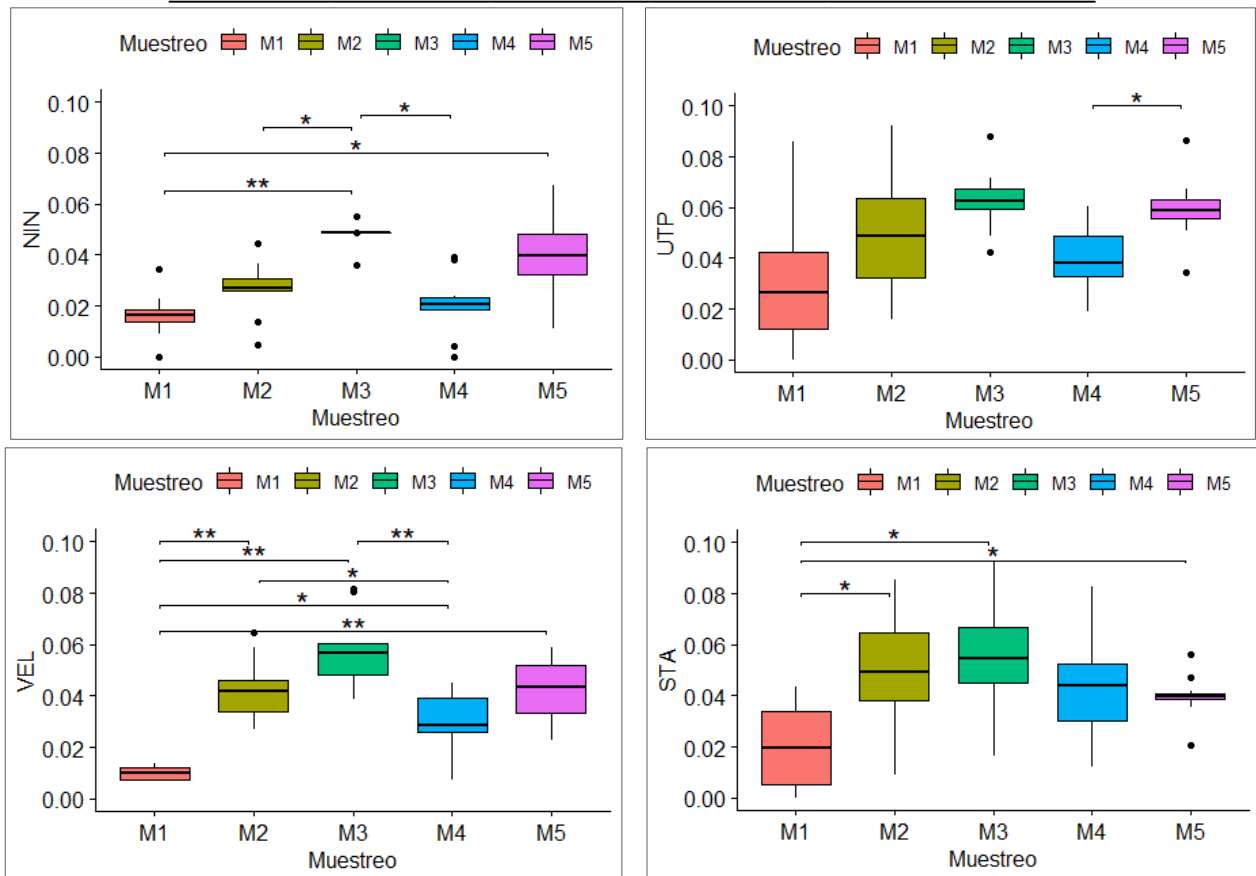


Figura 20. Comportamiento del biomarcador malondialdehído para cada estación experimental entre los muestreos (nM de MDA).

Las concentraciones más altas de MDA durante los muestreos se encontraron en la estación UTP seguida de la estación Agua Santa y las estaciones con menores concentración fueron las de Velódromo y por último Ninfas (Figura 21).

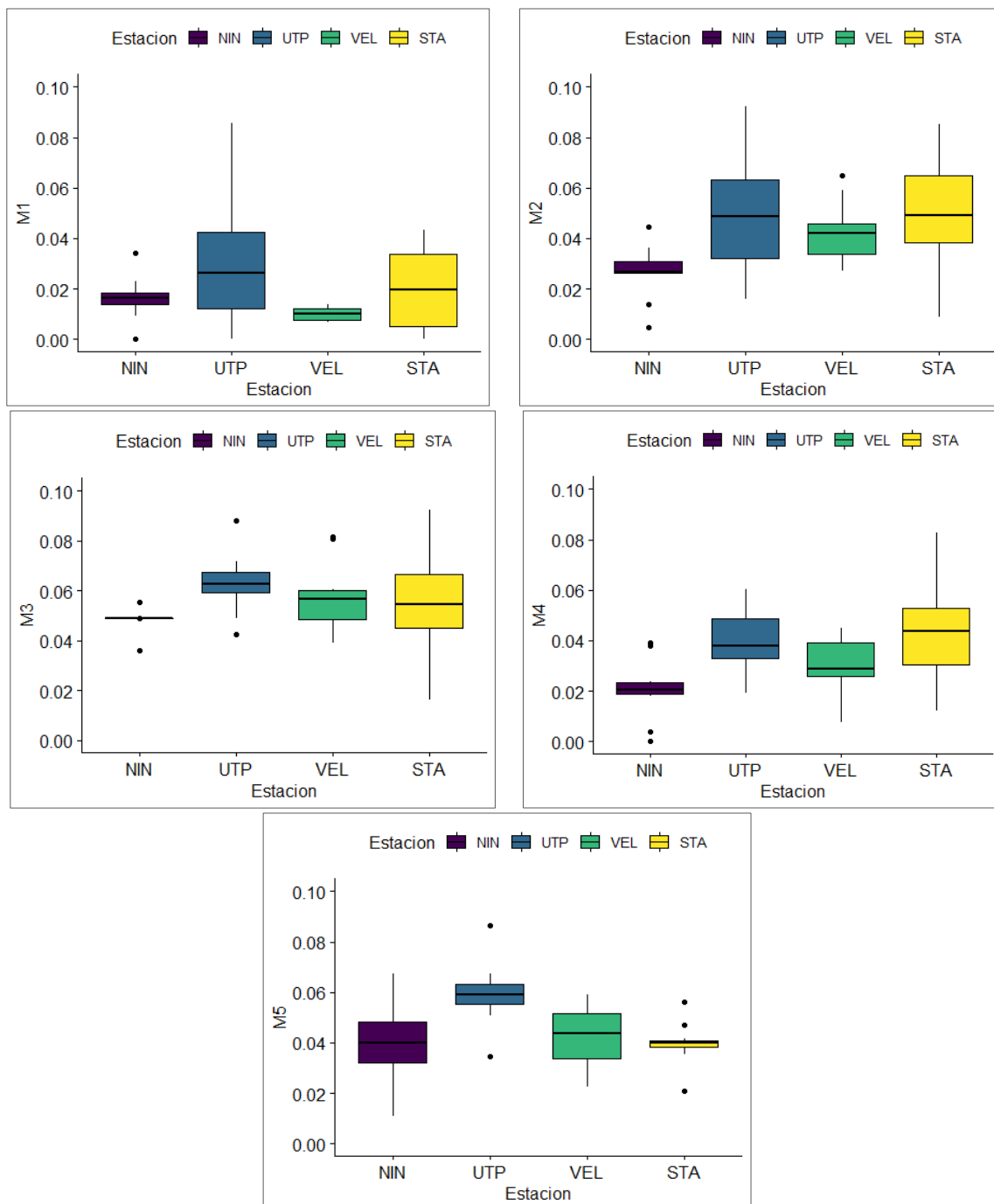


Figura 21. Comportamiento del biomarcador malondialdehído entre los muestreos para cada estación experimental (nM de MDA).

d) Metilgloxal

La prueba de Friedman indicó que se presentaron diferencias significativas entre los muestreos para cada estación (Tabla 14). La tendencia de los muestreos presenta una concentración inicial que aumenta en el muestreo 2 para disminuir en los muestreos 3 y 4 y aumentar en el último muestreo sin rebasar la concentración del muestro 2 excepto para la estación Agua Santa (Figura 22).

Tabla 14. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador metilgloxal.

Estacion	χ^2	p	W de Kendall	Magnitud del efecto
NIN	24.7	< 0.0001	0.562	Alto
UTP	18.7	< 0.0001	0.425	Moderado
VEL	19	< 0.0001	0.431	Moderado
STA	34.8	< 0.0001	0.79	Alto

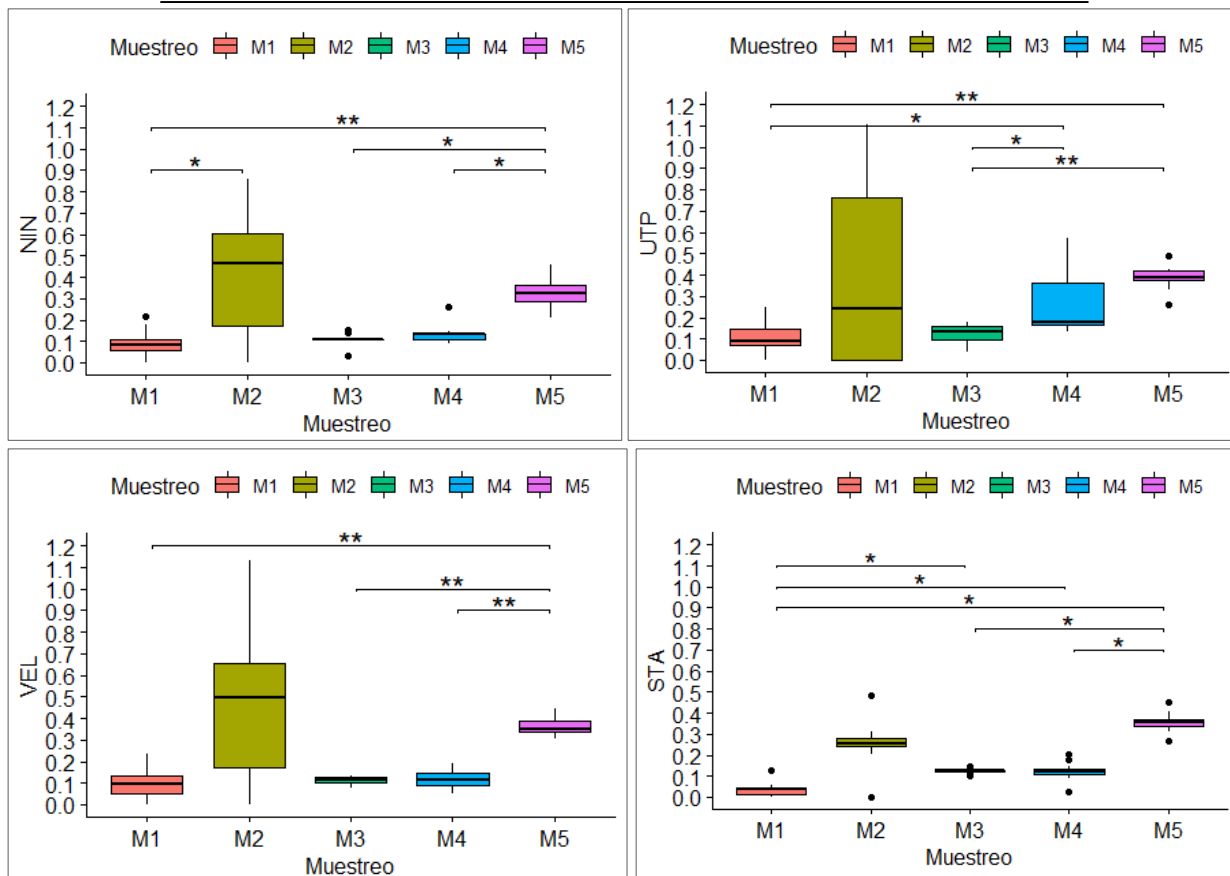


Figura 22. Comportamiento del biomarcador metilgloxal para cada estación experimental entre los muestreos (unidades de MGO/ mg proteína total).

En general las concentraciones de MGO son parecidas entre las estaciones por muestreo, sólo con la excepción del muestreo 4 antes mencionada (Figura 23).

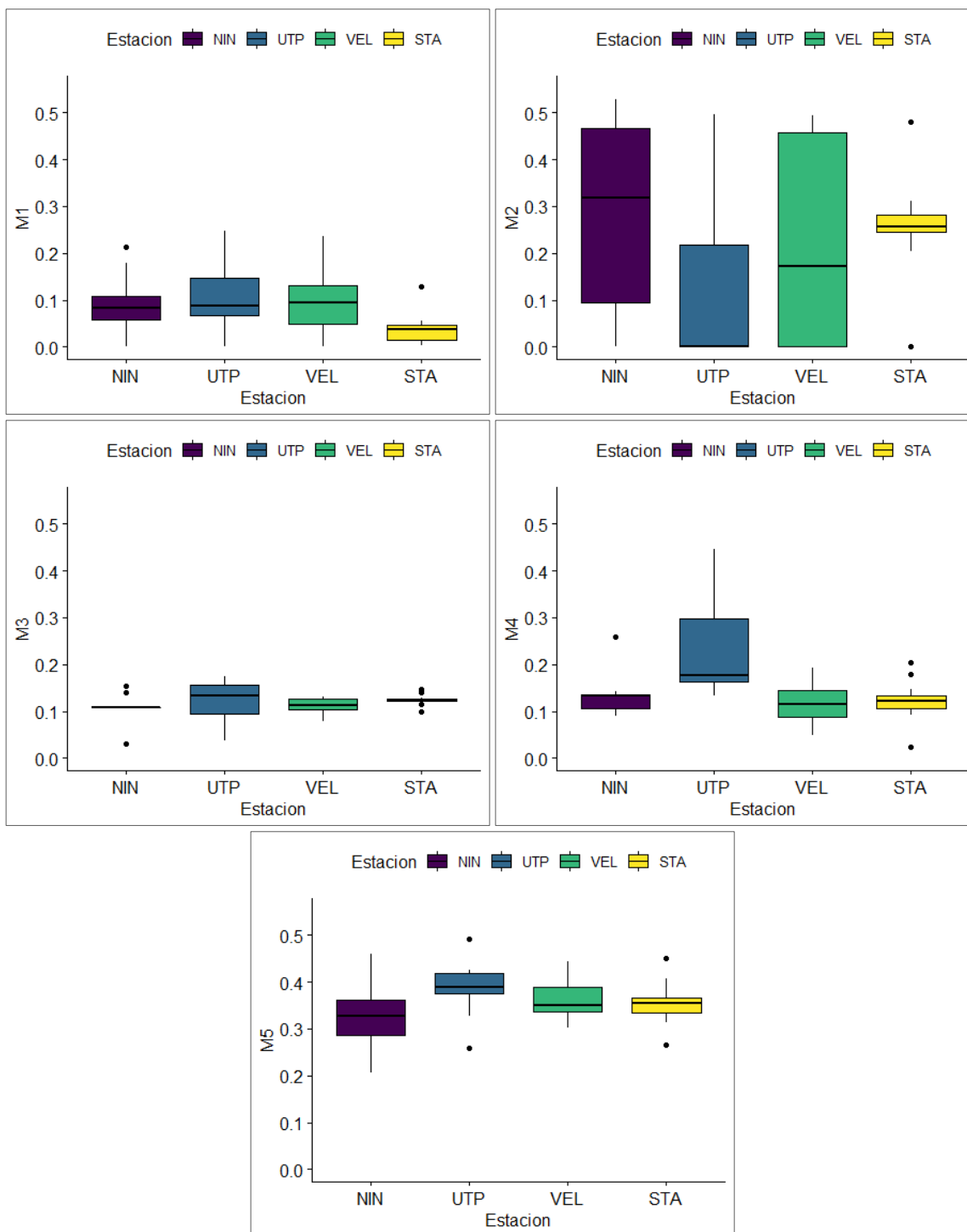


Figura 23. Comportamiento del biomarcador metilglioxal entre los muestreos para cada estación experimental (unidades de MGO/ mg proteína total).

e) Mieloperoxidasa

La prueba de Friedman indicó que se presentaron diferencias significativas entre los muestreos para cada estación (Tabla 15). La tendencia de las concentraciones presenta fluctuaciones que hacen que la concentración aumente en el muestreo 2, disminuya en el muestreo 3 y vuelva a aumentar en el muestreo 4 para disminuir nuevamente en el último muestreo; excepto en la estación Agua Santa donde a partir del muestreo 2 la concentración disminuye (Figura 24).

Tabla 15. Prueba de Friedman del muestreo por estaciones para el biomarcador mieloperoxidasa.

Estacion	χ^2	p	W de Kendall	Magnitud del efecto
NIN	16.9	0.00205	0.383	Moderado
UTP	31.5	< 0.0001	0.716	Alto
VEL	19.1	< 0.0001	0.433	Moderado
STA	17.2	0.0018	0.39	Moderado

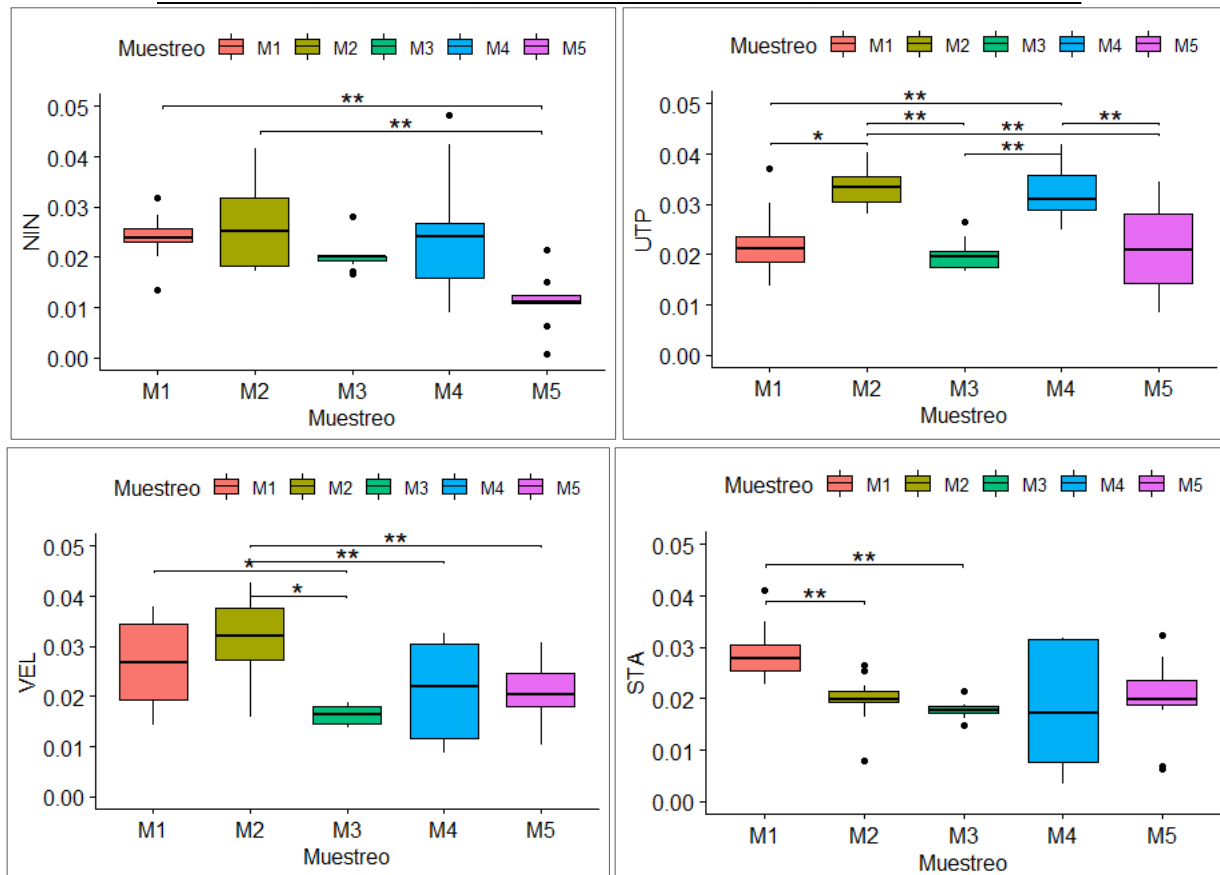


Figura 24. Comportamiento del biomarcador mieloperoxidasa para cada estación experimental entre los muestreos (unidades de MPO/ mg proteína total).

En general las concentraciones de MPO son parecidas entre las estaciones por muestreo (Figura 25).

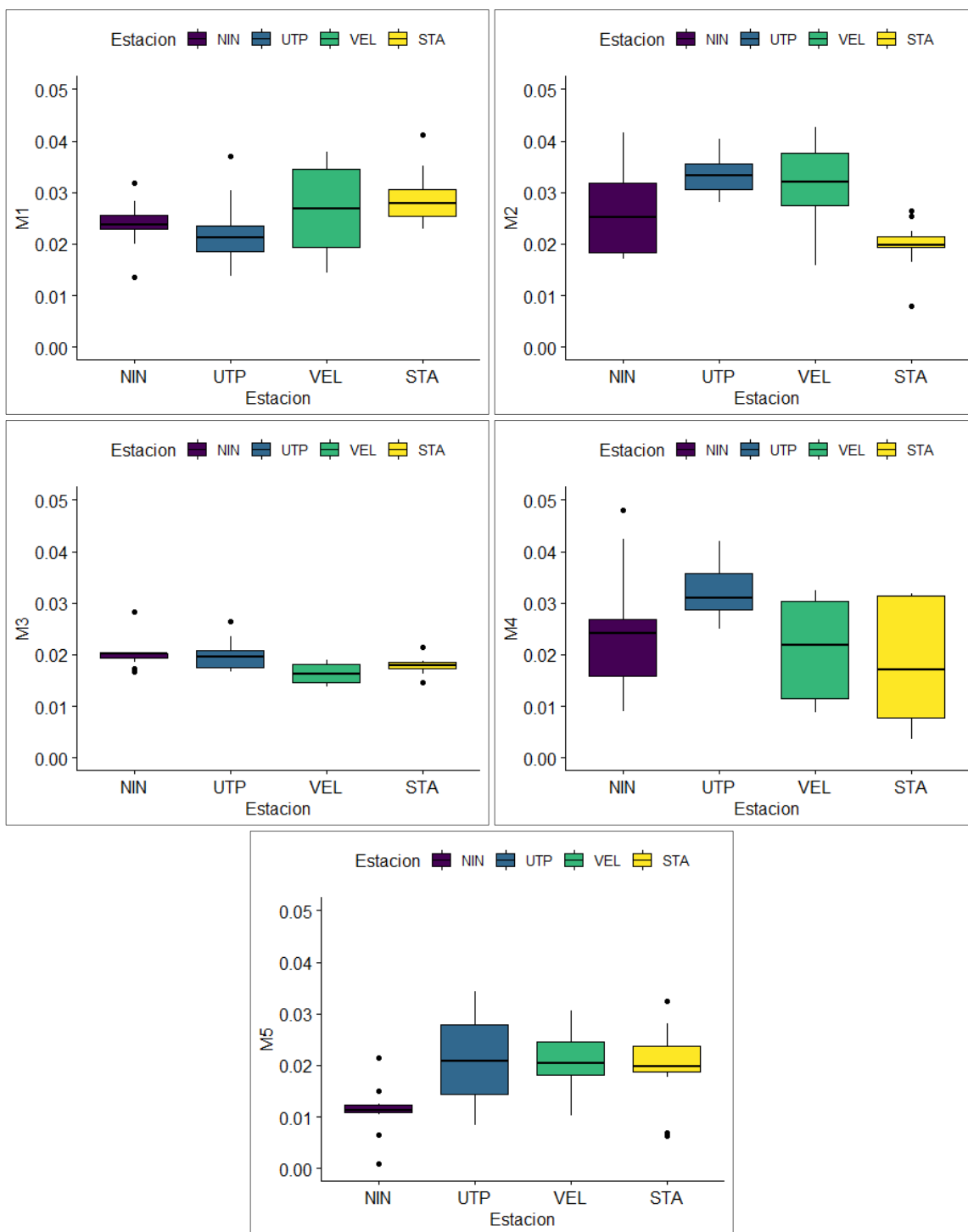


Figura 25. Comportamiento del biomarcador mieloperoxidasa entre los muestreos para cada estación experimental (unidades de MPO/ mg proteína total).

f) Productos de oxidación avanzada de proteínas

La prueba de Friedman indicó que se presentaron diferencias significativas entre los muestreos para cada estación (Tabla 16). La tendencia de las concentraciones del biomarcador en general fue partir de una concentración inicial y presentarse una disminución en la misma durante los siguientes muestreos para mantenerse sin cambios significativos (Figura 26).

Tabla 16. Prueba de Friedman para los muestreos por estaciones para el biomarcador POAP.

Estacion	χ^2	ρ	W de Kendall	Magnitud del efecto
NIN	28.2	< 0.0001	0.641	Alto
UTP	30.2	< 0.0001	0.686	Alto
VEL	30.8	< 0.0001	0.699	Alto
STA	26.3	< 0.0001	0.597	Alto

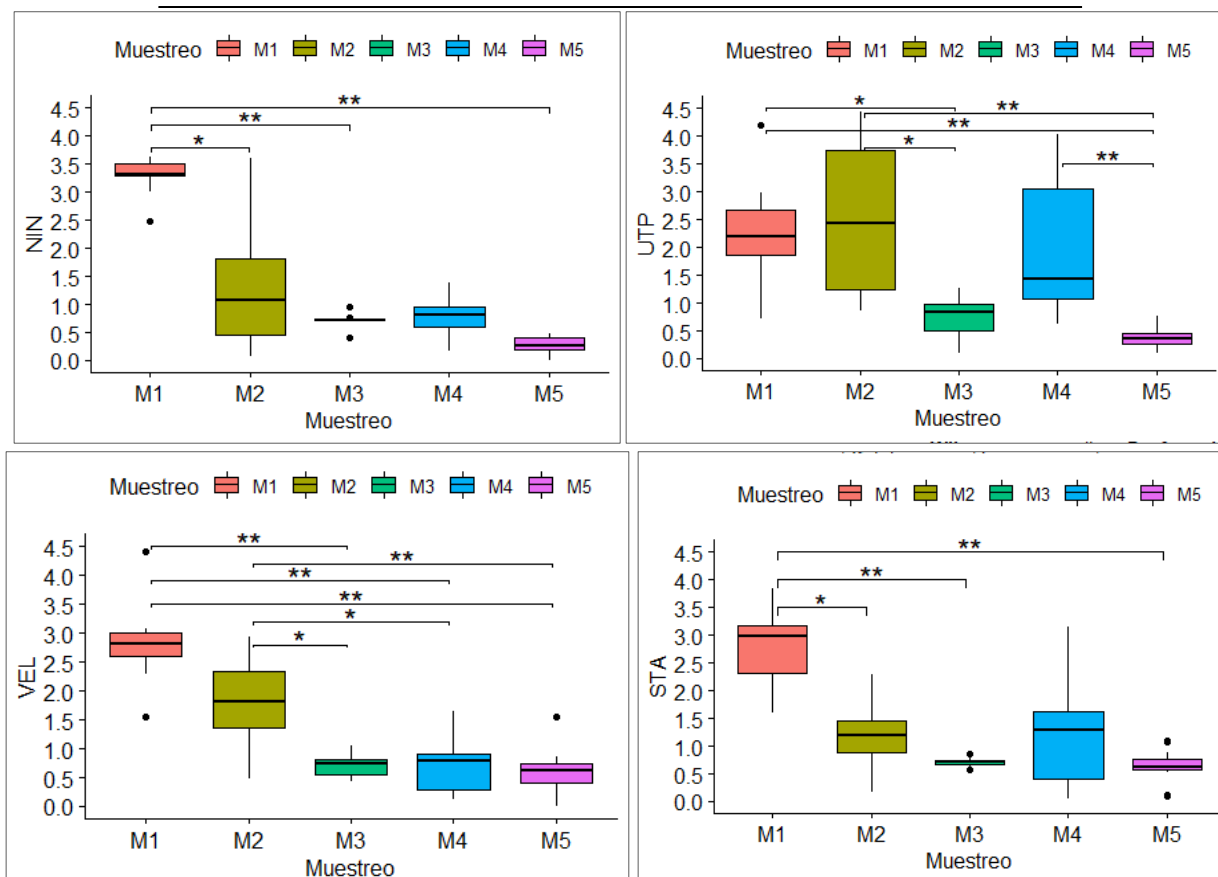


Figura 26. Comportamiento del biomarcador POAP para cada estación experimental entre los muestreos ($\mu\text{mol/L}$ /mg proteína total).

En general las concentraciones de POAP presentan una tendencia a disminuir después del muestreo inicial para mantener por debajo de este en los siguientes muestreos (Figura 27).

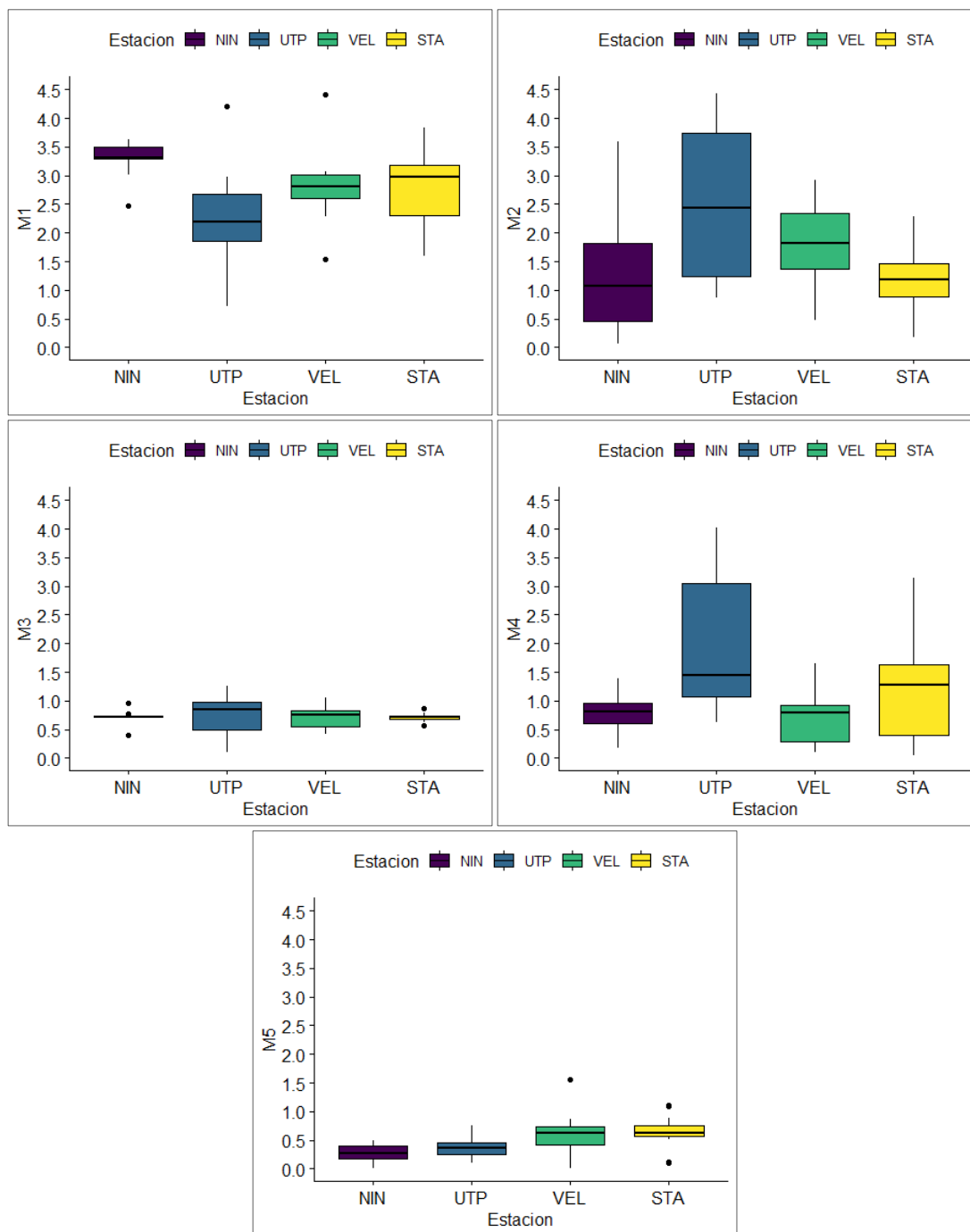


Figura 27. Comportamiento del biomarcador POAP entre los muestreos para cada estación experimental ($\mu\text{mol/L}$ /mg proteína total).

XI.3. Correlación de variables climáticas y biomarcadores de estrés oxidativo

Los resultados de las correlaciones entre contaminantes criterio y biomarcadores presentaron una correlación positiva. La temperatura y el peso también estuvieron correlacionados con los biomarcadores, de una manera negativa para la temperatura excepto para metilglioxal y positiva para el peso (Tabla 17, Anexo VII).

Tabla 17. Tabla de correlación entre parámetros climáticos, contaminantes criterio y biomarcadores analizados.

Variables	N válida	Coefficiente de correlación de Spearman	t(N-2)	Valor de p
T - ARG	20	-0.4872	-2.3670	0.0293
T - GST	20	-0.5835	-3.0480	0.0069
T - MGO	20	0.4752	2.2913	0.0342
T - MPO	20	-0.4797	-2.3195	0.0323
T - POAP	20	-0.8496	-6.8349	0.0000
O3 - MGO	20	0.6030	3.2070	0.0049
PM2.5 - MDA	20	0.4451	2.1089	0.0492
PM2.5 - MGO	20	0.6105	3.2705	0.0042
PESO - ARG	20	0.4571	2.1807	0.0427
PESO - GST	20	0.4887	2.3766	0.0288
PESO - POAP	20	0.6211	3.3618	0.0035

Con respecto a los resultados del análisis de componentes principales se observa que el componente principal uno explicó el 29% de la varianza, las variables que aportaron en explicar la variabilidad de los datos fueron la temperatura, POAP, peso y GST. Por su parte el componente principal dos explicó el 17.8% de la varianza, las variables con mayores valores en este componente fueron la longitud del tarso, PM_{2.5}, malondialdehído y el dióxido de carbono. En total ambos componentes explicaron el 46.8% de la variabilidad de los datos, siendo las variables con mayor correlacionadas el malondialdehído, PM_{2.5} y metilglioxal, por un lado, por otro el GST y POAP y por último la longitud del tarso, el dióxido de carbono y la humedad relativa (Tabla 18).

Tabla 18. Contribución a la varianza explicada de las variables analizadas a los componentes principales 1 y 2 del estudio.

	CP1	CP2		CP1	CP2
T	0.4051602	0.1488299	TARSO	-0.17934	0.4419031
HR	-0.271134	0.2835983	PESO	-0.389469	0.0614358
CO	-0.168185	0.3612943	ARG	-0.18366	0.0041497
NO2	0.1206792	-0.03162	GST	-0.360873	-0.117899
O3	0.1222735	-0.001132	MDA	0.2144357	0.3634709
PM2.5	0.1786385	0.4006523	MGO	0.1504054	0.2617224
PM10	0.2115989	-0.310691	MPO	-0.232336	0.1547582
SO2	0.002754	0.2283957	POAP	-0.396792	-0.138352

Con respecto a la agrupación, se observa que las elipses de concentración de la estación Ninfas se separa de las demás estaciones con respecto a las similitudes de las variables analizadas y es donde encontramos la mayor concentración de PM₁₀. La estación Agua Santa comparte algunas similitudes con la estación Ninfas y es donde encontramos los mayores valores para la temperatura GST y POAP. La estación UTP y Velódromo forman una agrupación que comparte algunas similitudes con la estación Agua Santa, en esta encontramos los mayores valores para malondialdehído, PM_{2.5}, longitud del tarso y dióxido de carbono (Figura 28).

Para el caso de los resultados del análisis de clúster se definieron tres grupos, el clúster numero 2 agrupó a los muestreos realizados al principio del estudio. Por otro lado, el clúster numero 3 agrupa a 3 de las 4 estaciones durante el muestreo número 2. Por último, el clúster 3 agrupa a los demás muestreos (Figura 29).

Se observa que en el clúster 1 encontramos los valores más altos para la humedad relativa, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono, PM_{2.5}, PM₁₀, longitud del tarso, arginasa, metilglioxal y mieloperoxidasa. En el clúster 2 encontramos los menores valores para humedad relativa, dióxido de carbono, longitud del tarso, peso, arginasa, GST, mieloperoxidasa y POAP. Finalmente, en el clúster 3 los menores valores para la temperatura, dióxido de nitrógeno, ozono, PM_{2.5}, PM₁₀, malondialdehído y metilglioxal (Tabla 19).

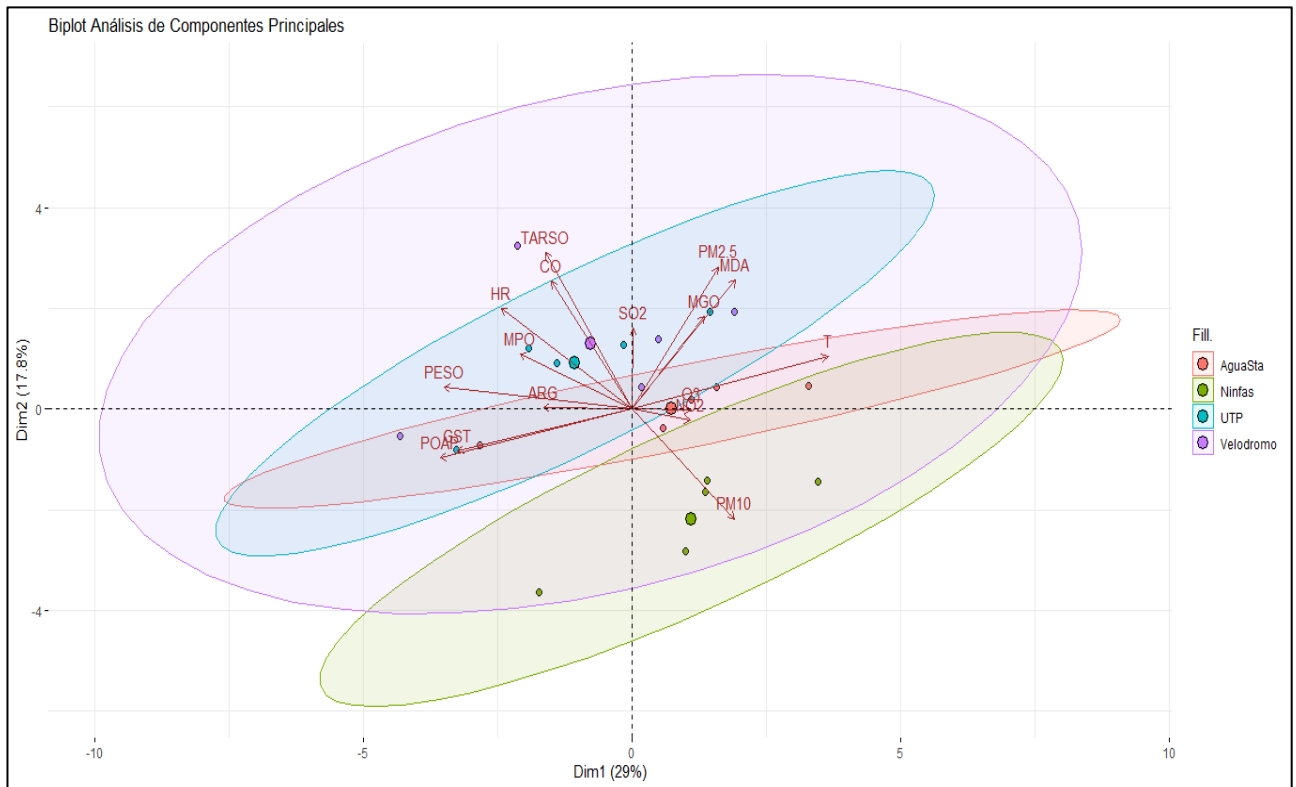


Figura 28. Biplot del análisis de componentes principales, componente principal 1 (29%), componente principal 2 (17.8%).

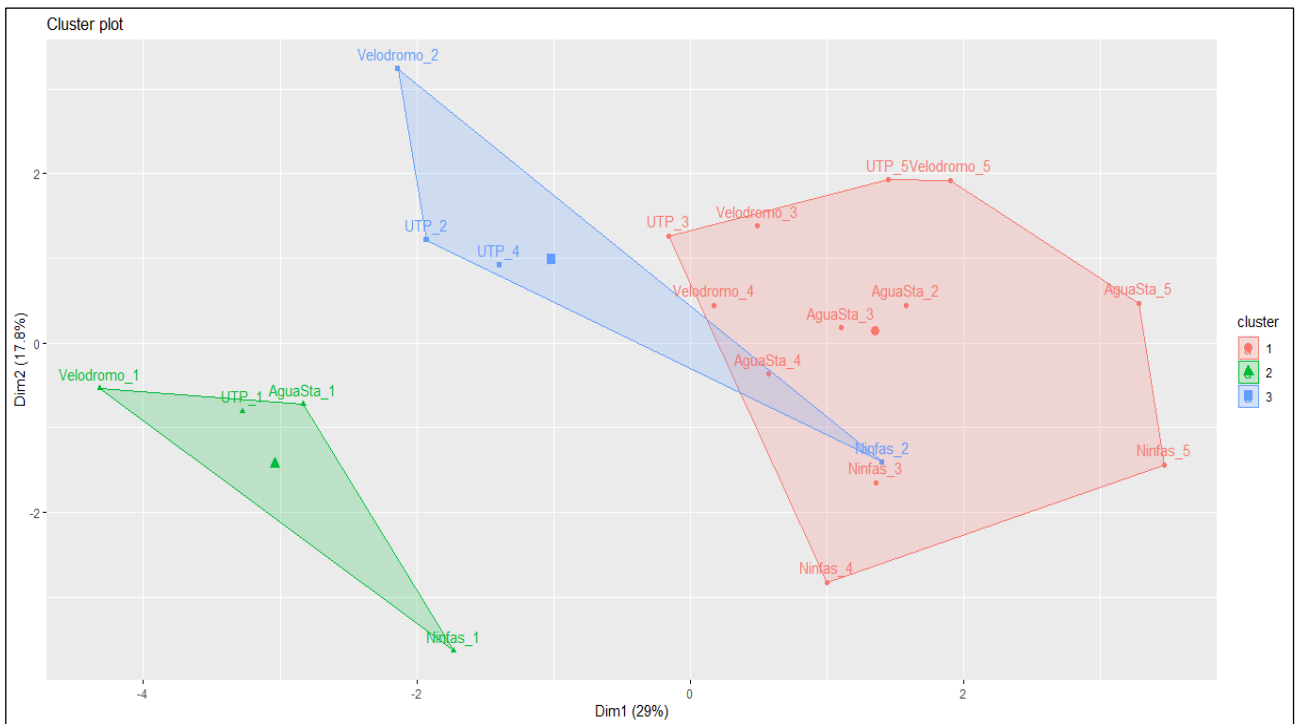


Figura 29. Análisis de clúster por estaciones y muestreos de variables climáticas y biomarcadores de estrés oxidativo.

Tabla 19. Valores relativos de cada variable para cada clúster de variables climáticas y biomarcadores de estrés oxidativo.

	T	HR	CO	NO ₂	O ₃	PM _{2.5}	PM ₁₀	SO ₂
1	-0.213561	0.2889848	0.3714944	0.3395993	0.5141367	0.3747673	-0.137472	-0.280385
2	0.5383566	-0.155985	-0.150458	-0.042335	-0.061635	0.2103974	0.2306868	0.1063528
3	-1.401509	0.1789699	0.07988	-0.212595	-0.329232	-1.00596	-0.554588	-0.038674

	TARSO	PESO	ARG	GST	MDA	MGO	MPO	POAP
1	0.3007926	0.4622207	1.550657	-0.130575	0.0100495	1.2956033	1.6563224	0.6771768
2	-0.100264	-0.534591	-0.565444	-0.494361	0.4427732	-0.110784	-0.530904	-0.70839
3	1.665E-15	1.1415521	0.1456735	1.6136588	-1.338369	-0.963253	-0.063611	1.4479923

XI.4. Percepción y representación social.

Se obtuvieron un total de 305 encuestas, el 43% de las personas encuestadas pertenecieron al género masculino y el 57% al femenino, los rangos de edad predominantes fueron de los 20 a los 44 años (Figura 30). Las personas con escolaridad a nivel licenciatura representaron el 49% de la población seguida del nivel preparatoria (26%) y el nivel maestría (9%) (Figura 31).

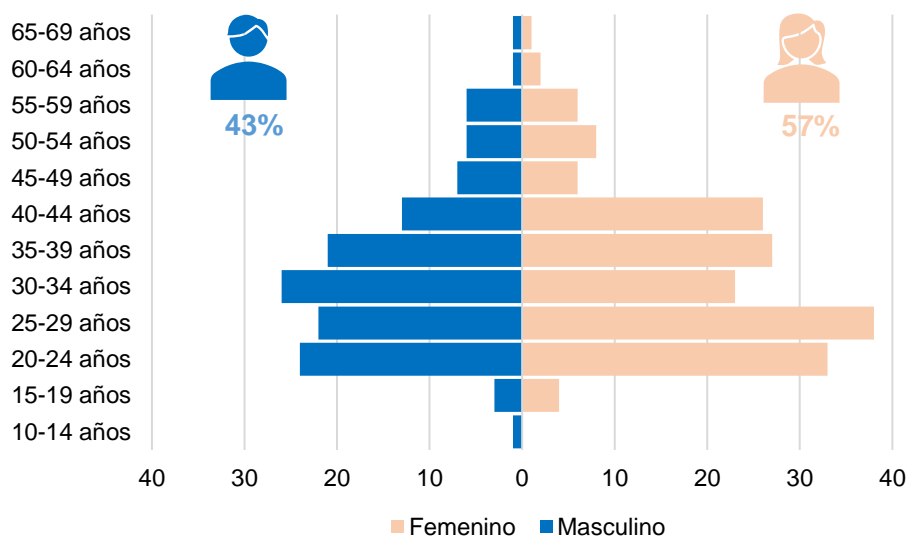


Figura 30. Estructura demográfica de las personas encuestadas por sexo y rango de edad.

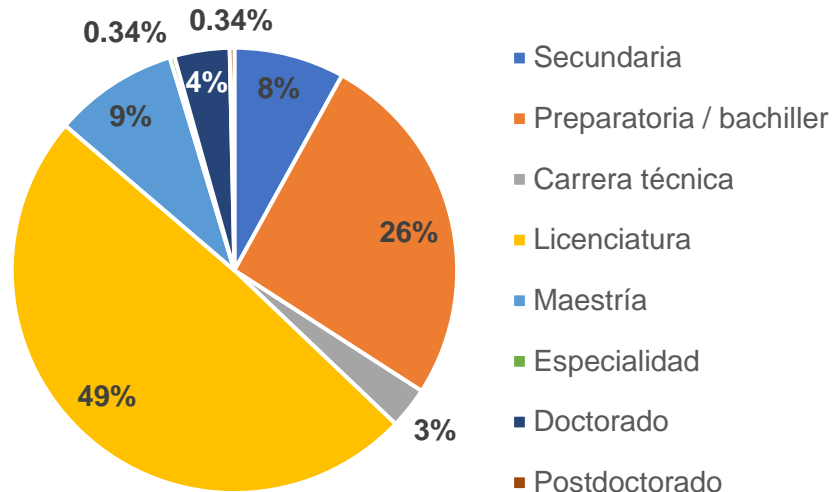


Figura 31. Escolaridad de la población encuestada por porcentaje.

De las personas encuestadas el 62% considera que la calidad del aire es regular y 22% tiene algún familiar con alguna enfermedad respiratoria crónica. Los tres principales síntomas relacionados con una mala calidad del aire reportados son ojos irritados (201), garganta irritada (164) y resequedad en la nariz (135), el 49% piensa que estos síntomas pueden deberse a la contaminación del aire. La mayor parte de las personas sabe que la contaminación atmosférica puede provocar o agravar las enfermedades respiratorias (96%) y en menor proporción las enfermedades cardiovasculares (61%) y las muertes prematuras (54%). El 70.8% piensa que su salud puede estar en riesgo debido a la contaminación del aire.

Por otro lado, al 67.9% la contaminación del aire le preocupa mucho, el 85.6% indica que las personas más afectadas por la contaminación del aire son los adultos mayores de 65 años y un 62% los niños menores de 5 años. El 75.6% de las personas piensan que el lugar donde se respira más aire contaminado son las calles o avenidas principales, un 53.4% que en la central camionera y un 32.8% que en el camión o autobús.

En una escala del 1 al 5 donde 1 es “menos contaminante” y 5 “más contaminante”, la población encuestada considera que las industrias y la quema de material combustible e incendios son las fuentes que más contribuyen a la contaminación del aire. El 46.6% señala

que los camiones son los vehículos automotores que más contaminan, el 61.6% no sabía que los automóviles pueden llegar a contaminar igual o más que las industrias y el 83.9% sabía que el número de vehículos que circulan por las calles crece cada año. El 78.4% de las personas considera que el uso del tabaco contribuye a aumentar la contaminación atmosférica y aumentar los problemas a la salud. El 40.6% no sabe dónde informarse sobre el estado la calidad del aire de la ciudad y un 34.2% indica que sí.

El 63.6% considera que las medidas hasta ahora tomadas para reducir la contaminación del aire no han tenido éxito y el 41.6% que la calidad del aire en 10 años será muy mala. Las tres medidas más eficientes para protegerse de la contaminación del aire de acuerdo con los resultados de la encuesta son: evitar incendios en lotes baldíos y la quema de material combustible, crear áreas libres de vehículos e incrementar las sanciones a las fábricas y empresas que contaminen el aire. Las tres medidas más sencillas de aplicar para protegerse de la contaminación del aire son: usar cubrebocas, verificar el automóvil y evitar incendios en lotes baldíos y la quema de material combustible.

El 51.1% de las personas indica que en su día a día la contaminación atmosférica le afecta algo seguida del 23.6% que indica que le afecta mucho y el 53.4% considera que la ciudad de Puebla está igual de contaminada que el resto de las ciudades de la república mexicana. La representación gráfica de lo anteriormente expuesto puede consultarse en el anexo III.

Los resultados que se obtuvieron con respecto a los índices de información muestran que existe una diversidad de ideas (H') baja a media, con valores que van de 1.80 a 2.58 lo cual se aleja de la diversidad máxima (H'_{max}) con lo que se indica una baja cantidad de información (I) con valores de 0.27 a 0.90. Los valores del índice de Simpson (λ) son bajos van desde el 0.12 al 0.27 lo que se interpreta como que hay equidad entre la mayoría de las ideas recopiladas, esto indica que una tendencia tener ideas individuales y poco consenso entre la población. La pregunta ¿Qué tanto le preocupa la contaminación del aire?, fue la que presentó el mayor número de menciones de ideas ($NO = 21$) mientras que la pregunta ¿Cree que los síntomas relacionados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares pueden ser por causa de la contaminación del aire?, generó el menor número de menciones ($NO = 14$). Con respecto al índice de organización (Q) se observan valores cercanos a cero que van

de 0.13 al 0.33 lo que indica que la información tiende a estar ordenada dentro de la representación a pesar de las ideas individuales presentes (Tabla 20).

Tabla 20. Índices de información totales de la RS sobre la percepción de la calidad del aire de la ciudad de Puebla durante mayo de 2021

Pregunta	Shannon-Wiener (H')	Simpson (λ)	N0	N1	N2	H _{max}	Organización (Q)	Información (I)
¿Cómo considera que es la calidad del aire que respira?	2.18	0.14	16	9	7	2.77	0.21	0.59
¿Cree que los síntomas relacionados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares pueden ser por causa de la contaminación del aire?	2.13	0.15	14	8	6	2.63	0.18	0.5
¿Cree que pueda estar en riesgo su salud por la contaminación del aire?	1.80	0.27	15	6	4	2.7	0.33	0.90
¿Qué tanto le preocupa la contaminación del aire?	2.58	0.12	21	13	8	3.04	0.14	0.45
¿Cree que las medidas tomadas hasta ahora para reducir la contaminación del aire han tenido éxito?	1.80	0.19	8	6	5	2.07	0.13	0.27

Con respecto a las RS se describe a continuación cada una de las redes obtenidas por pregunta.

Para la pregunta **¿Cómo considera que es la calidad del aire que respira?** se observa en el sociograma que para la población encuestada los principales factores causantes de una calidad del aire regular y mala son los vehículos automotores, las partículas suspendidas, la contaminación atmosférica, las industrias/empresas y la quema de materia combustible. La red muestra varias ideas individuales lo que aumenta la diversidad de ideas y abarcan diversos factores causantes de una calidad del aire deficiente (Figura 32).

En el caso de la pregunta **¿Cree que los síntomas relacionados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares pueden ser por causa de la contaminación del aire?** las personas identifican los principales manifestaciones o indicios por los cuales estas enfermedades están o pueden estar relacionadas con la contaminación del aire a la acción de las partículas suspendidas (contaminantes visibles en general), los malestares

relacionados, la mala calidad del aire, la contaminación atmosférica y la quema de material combustible. Cabe mencionar que ninguna persona contestó que estas enfermedades no están relacionadas con la mala calidad del aire y que las personas que indican no saber si existe esta relación tienen ideas que comparten con otros nodos que suponen que si existen (Figura 33).

Para la pregunta **¿Cree que pueda estar en riesgo su salud por la contaminación del aire?** el núcleo del sociograma se centra sobre la respuesta “Si”, identificando las principales señales que demuestra esta relación a los malestares relacionados, la presencia de partículas suspendidas, la presencia de contaminantes y a la misma contaminación atmosférica. Las personas que contestaron “no sé” compartieron las principales ideas con las personas que contestaron “si”. Solo una persona contestó que su salud no estaría en riesgo y ninguna persona contestó “tal vez” (Figura 34).

Para la pregunta **¿Qué tanto le preocupa la contaminación del aire?** los núcleos de este sociograma se centran en los nodos algo y mucho. Las principales preocupaciones de la población son las enfermedades y malestares relacionados, el aumento de la contaminación atmosférica, la disminución de la calidad de vida y el futuro propio y de los hijos. Como se puede observar en el sistema periférico existen ideas con pocas menciones pero que aumentan la riqueza de estas para una comprensión de las preocupaciones que la población tienen con respecto a la pérdida de salud, degradación del medio ambiente y aumento de la contaminación atmosférica entre otras (Figura 35).

En lo que respecta para la pregunta **¿Cree que las medidas tomadas hasta ahora para reducir la contaminación del aire han tenido éxito?** las personas consideran que los principales indicios de que estas medidas no han tenido éxito son que la contaminación atmosférica continua igual o ha aumentado, la poca acción del gobierno para solucionar el problema, la falta de interés y responsabilidad por parte de la población en el tema y la falta de información o difusión del tema. Las personas que no saben si estas medidas han tenido éxito indican sobre todo que tienen desconocimiento del tema y que hace falta difusión de este. En general el sociograma presente pocas ideas compartidas por la mayoría de las personas organizadas que llevan a un consenso (Figura 36).

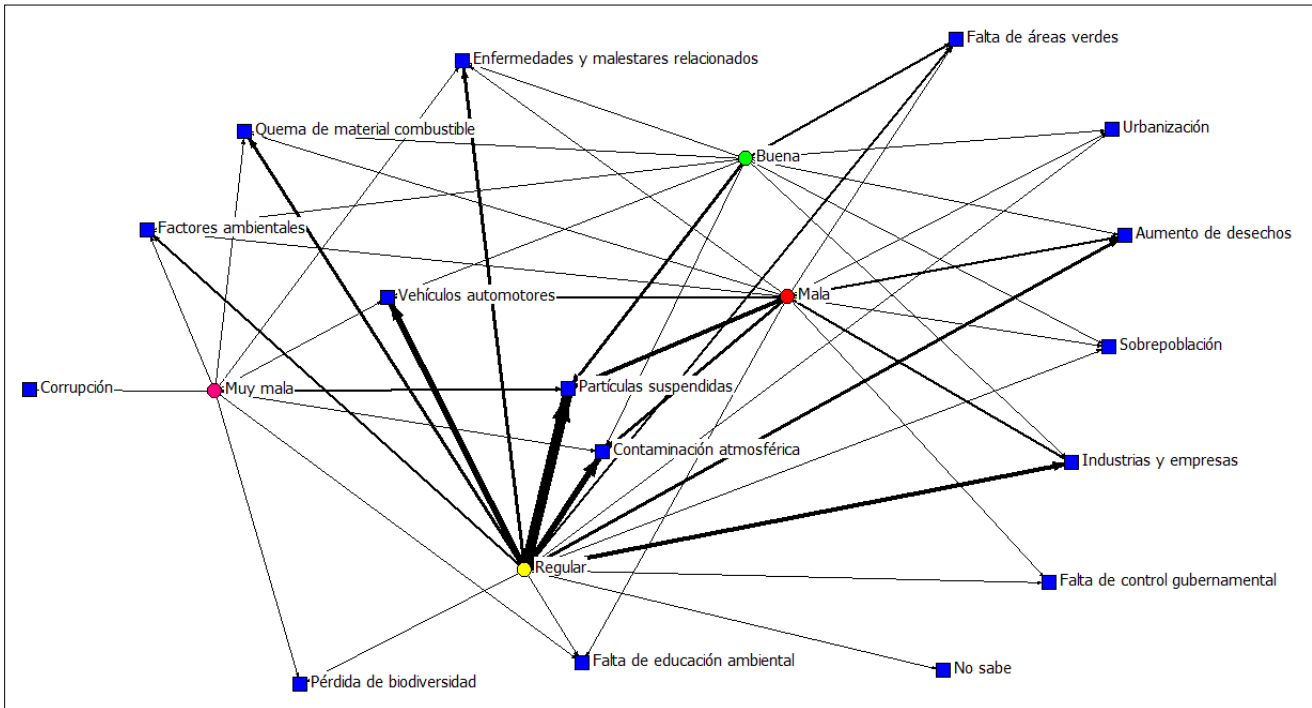


Figura 32. Red de la pregunta ¿Cómo considera que es la calidad del aire que respira?

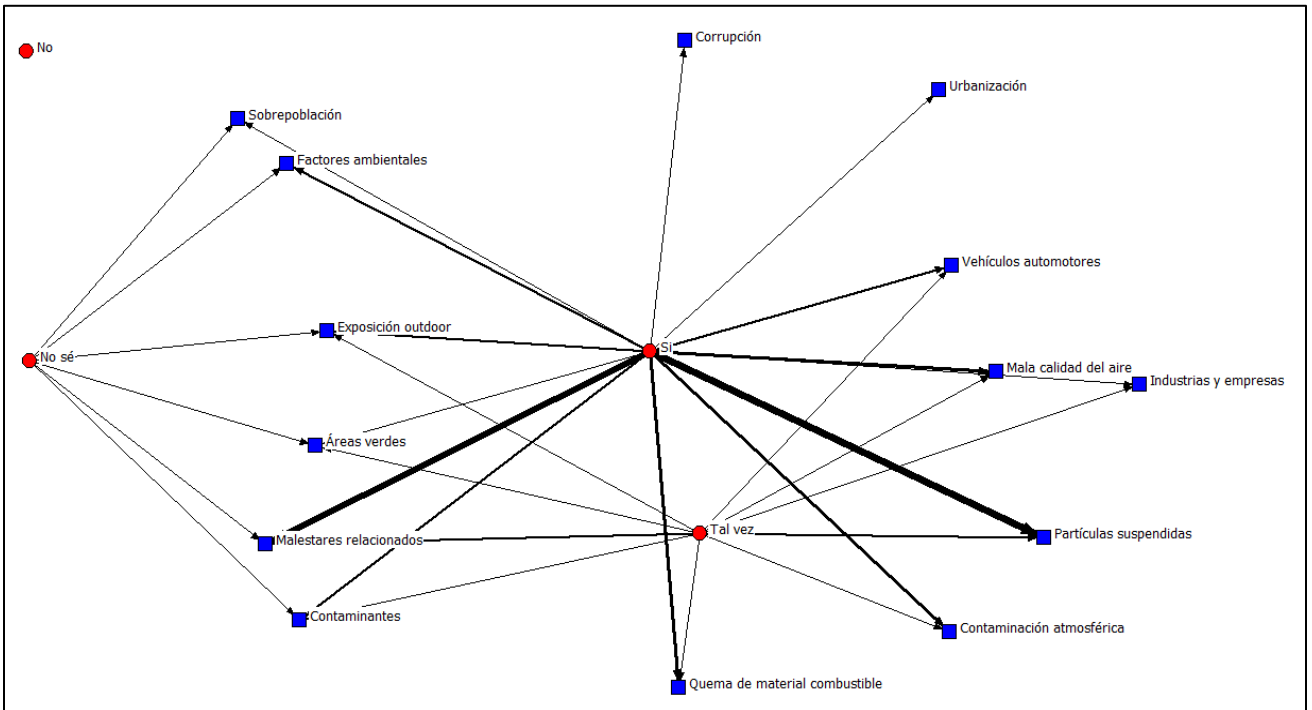


Figura 33. Red de la pregunta ¿Cree que los síntomas relacionados con enfermedades respiratorias y cardiovasculares pueden ser por causa de la contaminación del aire?

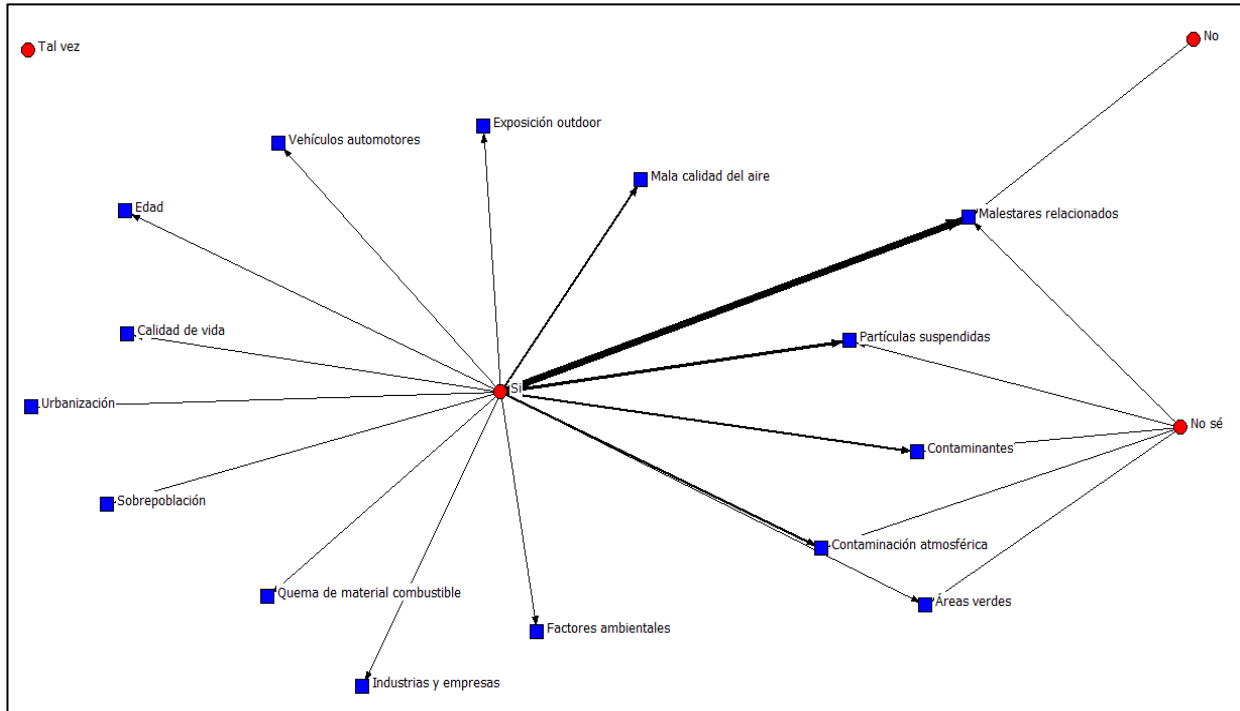


Figura 34. Rede de la pregunta ¿Cree que pueda estar en riesgo su salud por la contaminación del aire?

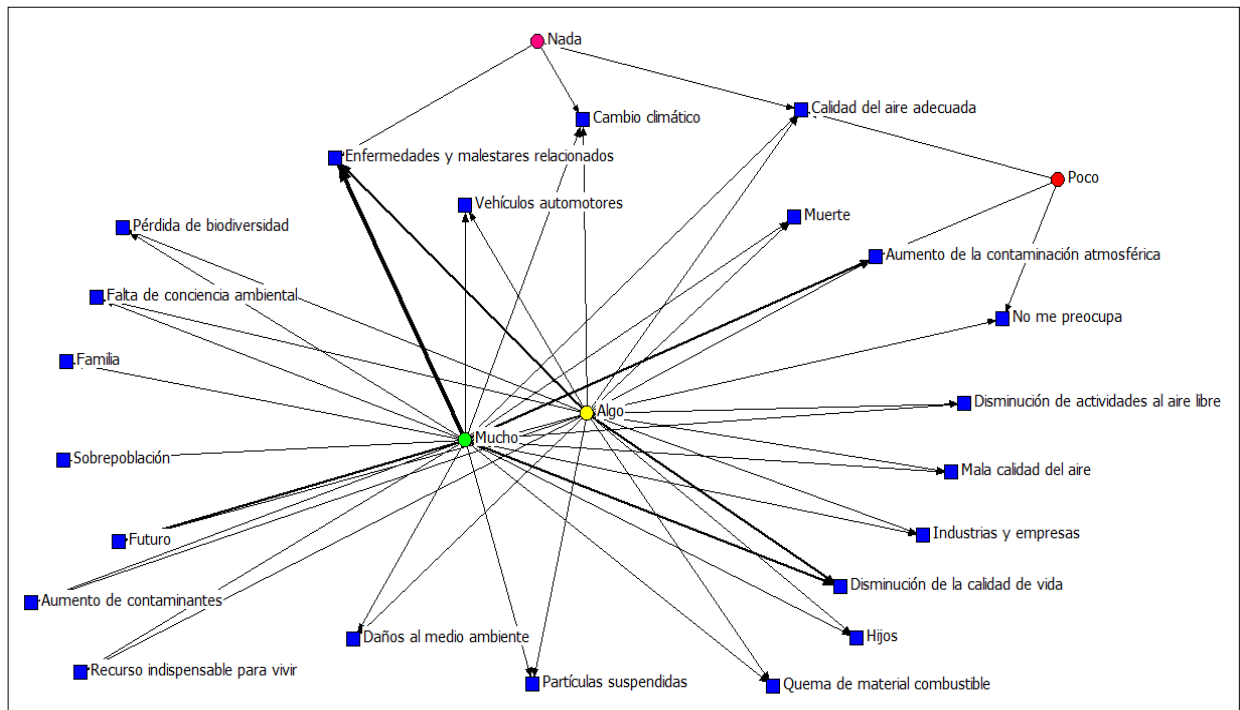


Figura 35. Rede de la pregunta ¿Qué tanto le preocupa la contaminación del aire?

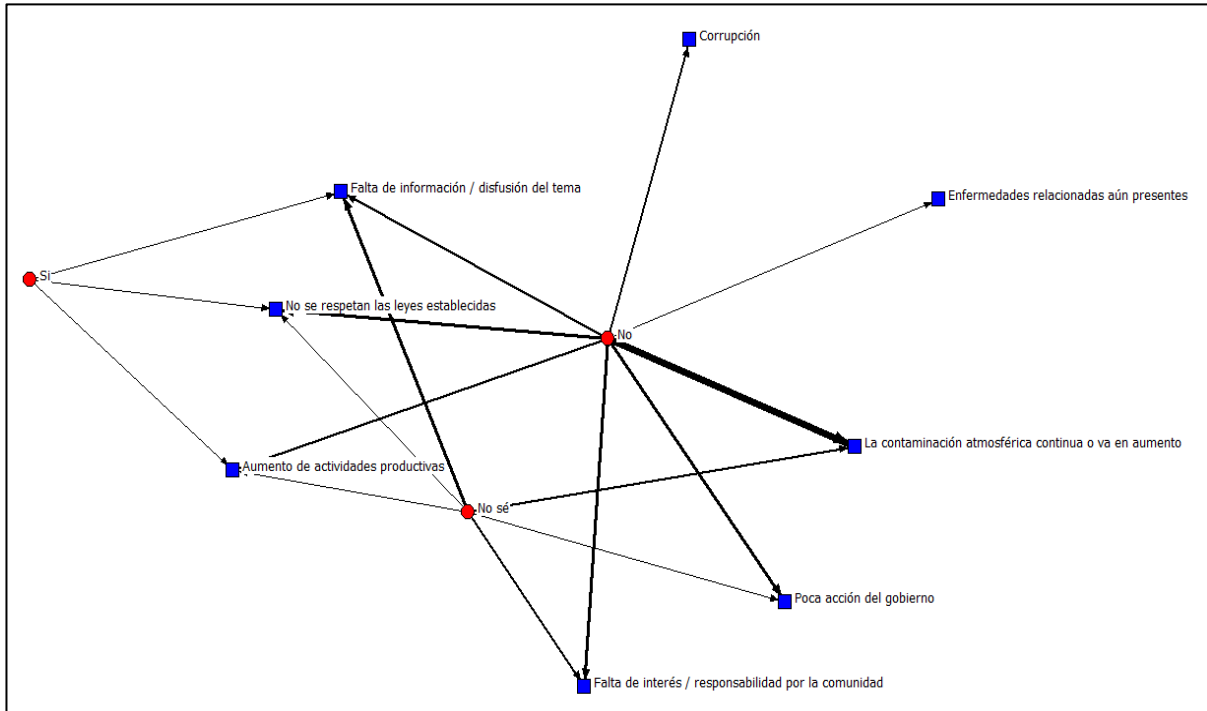


Figura 36. Red de la pregunta ¿Cree que las medidas tomadas hasta ahora para reducir la contaminación del aire han tenido éxito?

XII. Discusión

Los resultados de este trabajo sugieren que las aves como modelo de estudio son un grupo de vertebrados conveniente para la realización de biomonitoreo y su efecto por los algunos contaminantes presentes en la atmosfera, lo anterior por ser un grupo de fácil manejo y disponibilidad. En el caso del pinzón mexicano *Haemorhous mexicanus* su distribución y abundancia es amplia, siendo una especie viable para este tipo de trabajos por ser una especie asociada a entornos urbanos, con lo cual se puede medir y analizar los efectos de los contaminantes y su efecto en el equilibrio oxidativo-antioxidante en los diversos procesos fisiológicos (Alaya-Ltifi et al., 2012; Amri et al., 2016; Berglund et al., 2011; Gajski et al., 2019).

Cabe resaltar que a pesar de que los organismos utilizados para las unidades experimentales durante la temporada seca del 2021, y las diversas condiciones que se tuvieron durante el muestreo (confinamiento, estrés, alimentación principalmente), los resultados indican asociaciones relacionadas con el estrés oxidativo por el efecto de los contaminantes atmosféricos. Aunque la pérdida de peso se ha relacionado con una disminución en los niveles de estrés oxidativo (Tursi et al., 2013), para el caso de los contaminantes por ejemplo metales pesados, se ha reportado que en las aves estos pueden afectar negativamente la masa y con ello la condición corporal al elevar los niveles de estrés oxidativo, lo que reduce las posibilidades de éxito reproductivo y la supervivencia (Malik y Zeb, 2009). Presencia en el ambiente por ejemplo de cobre, selenio o plomo han demostrado estar relacionados con la pérdida de peso en los organismos (Jackson, 1977; Hoffman, 2002). Para este estudio es probable que el aumento de los niveles de los contaminantes criterio del aire haya causado la disminución del peso de las aves en casi la mayoría de las unidades experimentales.

Por otro lado, se sometió a las aves a un espacio confinado como es el caso de las jaulas, lo que pudo haber provocado una competencia tanto por el espacio al ser aves de vida libre y con requerimientos mayores requerimientos de recurso como es el espacio para la alimentación, acicalamiento y descanso (Haftorn, 1989), lo que pudo haber provocado la baja de peso de algunas aves en relación con otras de mayor estatus dentro la jaula.

Existieron correlaciones positivas entre el peso y los biomarcadores arginasa y glutatión-s-transferasa, esto sugiere que las aves con una mejor condición corporal tenían al principio

del estudio reservas de moléculas antioxidantes para hacer frente al estrés producido por los contaminantes del aire a los que fueron sometidos, así como a la competencia en cautiverio (Isaksson et al., 2011). Se considera que la reserva de moléculas antioxidantes fue decayendo a través del periodo de estudio, lo cual se vio reflejado tanto en la pérdida de peso como de la actividad de estas moléculas de defensa antioxidante.

En relación con los contaminantes criterio y las condiciones ambientales (temperatura y humedad) obtenidos de las unidades de monitoreo del Gobierno del Estado de Puebla por la REMA, se esperaba que la estación de monitoreo de Agua Santa al ubicarse al suroeste de la ciudad presentara los niveles más altos de contaminación, esto por el flujo del aire de la ciudad de Puebla en dirección hacia este punto cardinal, sin embargo, los resultados de los análisis realizados mostró que las concentraciones de contaminantes para esta estación se comportaron de manera similar a las demás estaciones de monitoreo automatizado, esto puede explicarse debido a que esta zona ha presentado en los últimos años un acelerado crecimiento urbano a su alrededor sobre todo en dirección al sur de la ciudad por lo que las fuentes fijas de contaminantes y el flujo vehicular ha aumentado en los últimos años, aunado a esto la presencia cercana de la vía conocida como periférico ecológico puede haber sumado a este fenómeno.

Con los análisis realizados se pudo observar que la temperatura estuvo relacionada con los contaminantes $PM_{2.5}$ y PM_{10} en primer lugar y tuvo una menor relación con el ozono y el dióxido de nitrógeno, al aumentar la temperatura a través del periodo de estudio las concentraciones de contaminantes también aumentaron (Boldo, 2016) y por ende las concentraciones de algunos biomarcadores como malondialdehído y metilglioxal también lo hicieron.

Para los biomarcadores arginasa, malondialdehído, metilglioxal y mieloperoxidasa en el muestreo 1 se tiene un nivel inicial de concentración el cual aumenta durante el muestreo 2, entre estos dos muestreos hubo un mes de diferencia, para los demás muestreos el nivel de biomarcadores muestra una tendencia a la baja, para estos muestreos el tiempo entre tomas de muestra fue de 15 días. El comportamiento que muestran estos biomarcadores sigue la tendencia de las concentraciones de los contaminantes ozono, $PM_{2.5}$ y PM_{10} lo que puede definir una relación directa entre estos y los biomarcadores, este tipo de comportamiento se

muestra en otros estudios donde a mayor concentración de contaminantes hay un incremento en los niveles de los biomarcadores (Isaksson et al., 2011; Salmón, 2018a y b).

Para el biomarcador arginasa el comportamiento antes descrito también podría verse explicado por la pérdida de peso ya que estamos hablando de un biomarcador de defensa antioxidante, para el muestreo 2 los niveles de estos biomarcadores se elevan como respuesta al estrés oxidativo causado por los contaminantes, el aumento en la sangre de estos revela la capacidad antioxidante en ese momento y que pasó un mes entre muestreos. Para los siguientes muestreos los niveles de estos disminuyen por la pérdida de las reservas de antioxidantes reflejadas en la disminución del peso que refleja el desequilibrio entre factores de estrés oxidativo y moléculas antioxidantes y el tiempo de muestreo disminuyó a 15 días.

Para el biomarcador GST la tendencia de la actividad enzimática del biomarcador fue a la baja desde el segundo muestreo, lo que se podría explicar también por la pérdida de peso en esta molécula antioxidante.

De acuerdo con el análisis de componentes principales existe una relación entre el dióxido de carbono y mieloperoxidasa, el dióxido de azufre podría tener una relación con metilglioxal, pero esta es más débil que la que presenta con $PM_{2.5}$. PM_{10} no muestra relación con algún contaminante ni biomarcador. Por su parte los biomarcadores arginasa, glutatión-s-transferasa y POAP no parecen tener una relación con los contaminantes.

Las fuentes de variación para el estudio pudieron deberse por varias causas. La calidad de los datos de concentración de contaminantes de la REMA que no siempre estuvieron disponibles para su consulta ya que por la pandemia las estaciones tuvieron días y a veces hasta semanas que no se tuvieron datos de alguno o todos los contaminantes, el mismo caso se presentó para las variables climatológicas, se tuvieron subsanar estos faltantes en la información con la imputación de datos y la toma de medidas de otras fuentes como las de la red de monitoreo de la DIAU – BUAP.

Por otro lado, la estación experimental Velódromo se encontraba a 6 km de la estación de monitoreo automatizado de la REMA, lo cual escapa del radio de 4 km de monitoreo válido y

al ser la estación más alejada del centro de la ciudad era la que contó con más días fuera de funcionamiento.

Cabe resaltar que para este tipo de trabajos de investigación se requiere de la información que se genera por parte de las instituciones gubernamentales en el caso particular de las Redes de Monitoreo, siendo fundamental que exista una comunicación para que dichas unidades de monitoreo funcionen durante todo el año, para que la información que se genere esté disponible de tal manera que se puedan establecer correlaciones con resultados sobre el biomonitoreo de cualquier organismo, así como una vinculación con la academia y el sector salud para poder establecer acciones para la regulación de los contaminantes por las diversas fuentes de emisión y tener acciones que permitan evitar daños a la salud de la sociedad y a la vida silvestre y doméstica que habita en las zonas urbanas.

En lo que respecta a la percepción social de la calidad del aire en la ciudad de Puebla, de acuerdo con los números de Hill y las redes de representación social indican que las personas encuestadas tienen un conocimiento básico sobre el tema de la contaminación atmosférica y las enfermedades relacionadas a esta. El análisis mostró que el conocimiento de las personas respecto al problema de la contaminación del aire es regular, se desconoce dónde informarse sobre el estado de la calidad del aire y que influye de manera negativa en su salud, además las ideas que tienen las personas sobre el tema confluyen en temas generales bien definidos como salud y enfermedades relacionadas, calidad de vida y futuro de los hijos.

Se requiere generar información para que la sociedad este informada sobre los contaminantes presentes en las ciudades y los efectos que provocan, con el fin de tener una sociedad informada y que tome acciones sobre los posibles efectos de la salud por las diversas fuentes de contaminación que se emiten a la atmosfera, así como en el caso del sector salud tener también dicha información disponible para que establezca estrategias para el cuidado o atención a la sociedad sobre las diversas enfermedades que genera la emisión de contaminantes a la atmosfera.

Esto nos da la posibilidad de poder crear un plan de educación ambiental en el tema para poder trabajar con el tema en la ciudad. Cabe señalar que hace falta realizar el mismo ejercicio de la encuesta en personas que no tienen acceso a redes sociales para poder

adecuar dichos programas a este segmento de la población y que probablemente son las personas que no tienen acceso a información.

El problema de la contaminación del aire en la ciudad de Puebla es un tema poco estudiado y con posibilidades enormes de desarrollarse y abordarse desde diferentes enfoques. Hace falta la creación de un observatorio de la calidad del aire en la ciudad para poder establecer mecanismos que permitan la vigilancia de este tema y que dé como resultado acciones para el beneficio de la salud de las personas y la biodiversidad del área metropolitana.

XIII. Conclusiones

La calidad del aire en la ciudad de Puebla fue regular durante el periodo de estudio, tres de los seis contaminantes criterio (ozono, PM_{2.5} y PM₁₀) analizados rebasaron los límites permisibles de acuerdo con las normas oficiales mexicanas correspondientes.

Las concentraciones de los biomarcadores de estrés oxidativo, metilglioxal y malondialdehído, en *Haemorrhous mexicanus* se correlacionaron positivamente con el ozono y el material particulado menor a 2.5 micras.

El conocimiento sobre la calidad del aire en la ciudad de Puebla, que tienen las personas encuestadas muestra que se tiene un conocimiento básico sobre el tema de la contaminación atmosférica y las enfermedades relacionadas a esta, es necesario realizar un plan de educación ambiental sobre el tema y llevar a cabo acciones de difusión y concientización sobre el problema para reducirlo.

XIV. Recomendaciones

- Realizar el biomonitoreo *in situ* con aves de vida libre, contar con al menos dos sitios de referencia fuera del área urbana para comparar las actividades enzimáticas en ambientes sometidos a concentraciones menores de contaminantes criterio (uno con bajo y otro con medio impacto) y realizar otro periodo de recolección de muestras en temporada de lluvias para analizar el comportamiento de los biomarcadores de estrés oxidativo por estacionalidad.

- Hacer una propuesta al Gobierno del Estado para colocar una estación de monitoreo automatizado en la zona sur-oeste de la ciudad de Puebla, la zona de Tlaxcalancingo y alrededores es una zona en desarrollo urbano que escapa al monitoreo automático de la red actual y que complementaría un monitoreo de contaminantes criterio necesario en dicha zona.
- Realizar y ejecutar un plan de educación ambiental con actividades de difusión sobre los temas de la calidad del aire, contaminación del aire y su impacto en la salud, acceso a el portal del gobierno de Puebla donde se actualiza cada hora el índice de calidad del aire (ICA) incluidos talleres de concientización para mitigar la contaminación del aire y asegurar el cumplimiento actual de la ley sobre calidad del aire y salud en la ciudad.
- Realizar la encuesta de percepción y representación social a personas con poco o nulo acceso a internet para recoger información y complementar el estudio realizado con la información de la encuesta en línea.

Referencias

- Abric, J. C. (1994). *Méthodologie de recueil des représentations sociales. Pratiques sociales et représentations*, 59-82.
- Alaya-Ltifi, L., Chokri, M. A., & Selmi, S. (2012). Breeding performance of passerines in a polluted oasis 97inérea in southern Tunisia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 79(x), 170–175. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.12.018>
- Álvarez, B., y Boso, Á. (2018). Representaciones sociales de la contaminación del aire y las estufas de leña en diferentes niveles socioeconómicos de la ciudad de Temuco, Chile. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 34(3), 527–540. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.14>
- Allaman, I., Bélanger, M., & Magistretti, P. J. (2015). Methylglyoxal, the dark side of glycolysis. *Frontiers in neuroscience*, 9, 23. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00023>
- Amri, N., Hammouda, A., Rahmouni, F., Chokri, M. A., Chaabane, R., Selmi, S., Rebai, T., & Badraoui, R. (2016). Reproductive effects in hybrid sparrow from a polluted 97iné in Tunisia: Oxidative damage and altered testicular histomorphology. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.024>
- Angeoletto, F., Leandro, D. da S., & Fellowes, M. D. E. (2019). The consequences of Brazil's lack of transport planning is written in the blood of sparrows. *Urban Geography*, 40(8), 1191–1197. <https://doi.org/10.1080/02723638.2019.1653135>
- Aguilar-Gallegos, N., Martínez-González, E. G., & Aguilar-Ávila, J. (2017). *Análisis de redes sociales: Conceptos clave y cálculo de indicadores*. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Serie: Metodologías y herramientas para la investigación, Volumen 5.
- Armstrong, D. & Stratton, R. (2016) *Oxidative stress and antioxidant protection. The science of free radical biology and disease*. Wiley Blackwell. Hoboken, New Jersey. pp: 3-11
- Ayala, A., Muñoz, M. F., & Argüelles, S. (2014). Lipid peroxidation: production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. *Oxidative medicine and cellular longevity*, 360438. <https://doi.org/10.1155/2014/360438>
- Banco Mundial (2016). *La contaminación atmosférica le cuesta USD 225 mil millones a la economía mundial*. Online, disponible en <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2016/09/08/air-pollution-deaths-cost-global-economy-225-billion>
- Bauerová, P., Vinklerová, J., Hraníček, J., Čorba, V., Vojtek, L., Svobodová, J., & Vinkler, M. (2017). Associations of urban environmental pollution with health-related physiological traits in a free-living bird species. *Science of the Total Environment*, 601–602, 1556–1565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.276>
- Baxter, C. (2019). Bird Species. In *Birds of Kangaroo Island*. <https://doi.org/10.2307/j.ctvpb3vwx.12>
- Becker, P. H. (2003). Chapter 19 Biomonitoring with birds. *Trace Metals and Other Contaminants in the Environment*, 6(C), 677–736. [https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80149-2](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80149-2)
- Berglund, Å. M. M., Koivula, M. J., & Eeva, T. (2011). Species- and age-related variation in metal exposure and accumulation of two passerine bird species. *Environmental Pollution*, 159(10), 2368–2374. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.001>

- BirdLife International. 2018. *Haemorhous mexicanus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T22720563A132001810. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2018-2.RLTS.T22720563A132001810.en>
- Boldo, E. (2016). La contaminación del aire. Instituto de Salud Carlos III.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., & Freeman, L. C. (2002). Ucinet for Windows: Software for social network analysis. Harvard, MA: analytic technologies, 6,12-15.
- Breusch, T. and Pagan, A. (1979), A Simple Test for Heteroscedasticity and Random Coefficient Variation. *Econometrica* 47, 1287–1294
- Brown, R., Brain, J. & Wang, N. (1997). The avian respiratory system: A unique model for studies of respiratory toxicosis and for monitoring air quality. *Environ Health Perspect*, 105, 188-200.
- Burnham, K. P., & White, G. C. (2002). Evaluation of some random effects methodology applicable to bird ringing data. *Journal of applied statistics*, 29(1-4), 245-264.
- Cañada, M. (2012). Cambios espaciales y temporales en la contaminación por dióxido de nitrógeno en el municipio de Madrid (2001-2011). *Nimbus*, 29–30, 127–143.
- Carslaw, D. C., and K. Ropkins. 2012. “openair — An R package for air quality data analysis.” *Environmental Modelling & Software* 27–28 (0): 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.008>.
- Carson TL, 2004. Household and industrial products – gases. In KH Plumlee (ed.) *Clinical Veterinary Toxicology*. Missouri, USA: Mosby, 159-161.
- Catalán, M., Riojas-Rodríguez, H, Jarillo-Soto E. (2006) Estudio de la percepción pública de la contaminación del aire y sus riesgos para la salud: perspectivas teóricas y metodológicas. *Rev. Inst. Nal. Enf. Resp. Mex.*, México, 19:1, p. 28-37 Disponible en <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-75852006000100004&lng=es&nrm=iso>.
- Chen-Pan, L. (2018) An R function: OLS/Robust scaled mass index. <https://gist.github.com/chenpanliao/8ef652404d024c2c4191b8f159400a37#file-robust-scaledmassindex-r>
- Cid, F. D., Fernández, N. C., Pérez-Chaca, M. V., Pardo, R., Caviedes-Vidal, E., & Chediack, J. G. (2018). House sparrow biomarkers as lead pollution bioindicators. Evaluation of 98in⁶ and exposition length on hematological and oxidative stress parameters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154(February), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.040>
- Colls J. (2002) *Air Pollution*. Spon Press, ISBN 0-203-47602-6. Nueva York, Estados Unidos de Norteamérica.
- CONABIO. 2013. aVerAves. Noviembre, 2013. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Bases de datos SNIB-CONABIO. México, D. F.
- Corraliza, I., Campo, M., Soler G. & Modolell, M. (1994) Determination of arginase activity in macrophages: a micromethod. *Journal of Immunological Methods*. Sep;174(1-2):231-235. DOI: 10.1016/0022-1759(94)90027-2.
- Cuéllar-Cruz, M., Castaño, I., Arroyo-Helguera, O. & De Las Peñas, A. (2009). Oxidative stress response to menadione and cumene hydroperoxide in the opportunistic fungal pathogen *Candida glabrata*. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, Rio de Janeiro 104, 649-654
- Cromwell, J., Labys, W. and Terraza, M. (1994): *Univariate Tests for Time Series Models*, Sage, Thousand Oaks, CA, pages 20–22.
- Cumming, G. (2014). The new statistics: Why and how. *Psychological science*, 25(1), 7-29.

- Delfino R., Staimer N., Vaziri N. (2011) Air pollution and circulating biomarkers of oxidative stress. *Air Qual Atmos Health*. Mar 1;4(1):37-52. Doi: 10.1007/s11869-010-0095-2. PMID: 23626660; PMCID: PMC3634798.
- Del-Val, E. (2014) Las especies invasoras en México como bioindicadoras del cambio global. En: *Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental*. El Colegio de la Frontera Sur. México. pp. 679-694. ISBN: 978-607-8429-05-9.
- Díaz-García, J. A. and González-Farías, G. (2004). "A Note on the Cook's Distance", *Journal of Statistical Planning and Inference*, 1/2, 119-136.
- Digits, A., Pyun, H., Coates, R. & Casey, P. (2002) Stereospecificity and Kinetic Mechanism of Human Prenylcysteine Lyase, an Unusual Thioether Oxidase. *Journal of Biological Chemistry*. Vol. 277, No. 43, Issue of October 25, pp. 41086–41093, [https://www.jbc.org/article/S0021-9258\(19\)72224-8/fulltext](https://www.jbc.org/article/S0021-9258(19)72224-8/fulltext)
- DINAMIA (2013) Encuesta sobre calidad del aire Monterrey, Nuevo León. El poder del Consumidor. Página web, disponible en <https://elpoderdelconsumidor.org/2014/08/solo-el-26-de-la-poblacion-que-vive-en-el-la-zona-metropolitana-de-monterrey-considera-que-la-calidad-del-aire-que-respira-es-buena/>
- Dolan, K. J., Ciesielski, T. M., Lierhagen, S., Eulaers, I., Nygård, T., Johnsen, T. V., Gómez-Ramírez, P., García-Fernández, A. J., Bustnes, J. O., Ortiz-Santaliestra, M. E., & Jaspers, V. L. B. (2017). Trace element concentrations in feathers and blood of Northern goshawk (*Accipiter gentilis*) nestlings from Norway and Spain. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144(June), 564–571. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.062>
- Dorantes, G., Sánchez-Salinas, E. y Orríz-Hernandez, M. (2014) Percepción ambiental: Herramienta de análisis de la realidad. En: *Contaminación del aire: Aspectos fisicoquímicos, microbiológicos y sociales*. Universidad Autónoma de Morelos. México. Pp. 167-177
- Eikenaar, C., Winslott, E., Hessler, S., & Isaksson, C. (2020). Oxidative damage to lipids is rapidly reduced during migratory stopovers. *Functional Ecology*, 34(6), 1215–1222. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13540>
- Elarabany, N. & El-Batrawy, O. (2019). Physiological changes in the Cattle Egret, *Bubulcus ibis*, as a bioindicator of air pollution in New Damietta City, Egypt. *African Journal of Biological Sciences*. 15. 13-31. 10.21608/ajbs.2019.63379.
- Environment and Climate Change Canada (ECCC). (2020) Guidelines for the Euthanasia and Humane Killing of Migratory Birds in Canada, Under Damage or Danger or Avicultural Permits. The Canadian Wildlife Health Cooperative. Disponible en: http://www.cwhc-rcsf.ca/docs/miscellaneous/Guidelines_euthanasia_birds-2020-03-17_EN.pdf
- Esterbauer, H., Schaur, R. & Zollner, H. (1991) Chemistry and biochemistry of 4-hydroxynonenal, malonaldehyde and related aldehydes, *Free Radical Biology and Medicine*, Volume 11, Issue 1, Pages 81-128, ISSN 0891-5849, doi: 10.1016/0891-5849(91)90192-6. PMID: 1937131.
- Everitt, B., Landau, S., Leese, M. y Stahl D. (2011) *Cluster Analysis*. Wiley Series in Probability and Statistics., London. 337 pp.
- Fernández, A. (2007). Los índices de diversidad como una herramienta para analizar la cantidad de información en una representación social. Escuela de Biología UAP. Memorias del Coloquio Latinoamericano "Historia y Estudios Sociales sobre Ciencia y Tecnología". 23 al 27 de octubre de 2007 Ciudad de Puebla.
- Lara, D., Fernández, A., Silva, E., y Pérez, R. (2010). Representación social de las causas de los problemas ambientales. El caso de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Trayectorias, 12(30),40-55.[fecha de Consulta 10 de Abril de 2023]. ISSN: 2007-1205. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60713488004>

- Farebrother, R. (1980), Pan's Procedure for the Tail Probabilities of the Durbin-Watson Statistic (Corr: 81V30 p189; AS R52: 84V33 p363- 366; AS R53: 84V33 p366- 369). Applied Statistics 29, 224–227.
- Figueira, R., Tavares,P., Palma,L., Beja,P., Sérgio,C. (2009) Application of indicator kriging to the complementary use of bioindicators at three trophic levels, Environmental Pollution, Vol 157:10, 2689-2696.
- Fox, J. (2016) Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models, Third Edition. Sage.
- Fränzle, O. (2003). Chapter 2 Bioindicators and environmental stress assessment. Trace Metals and Other Contaminants in the Environment, 6(C), 41–84. [https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80132-7](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80132-7)
- Gajski, G., Žegura, B., Ladeira, C., Novak, M., Sramkova, M., Pourrut, B., Del Bo, C., Milić, M., Gutzkow, K. B., Costa, S., Dusinska, M., Brunborg, G., & Collins, A. (2019). The comet assay in animal models: From bugs to whales – (Part 2 Vertebrates). Mutation Research – Reviews in Mutation Research, 781(April), 130–164. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.04.002>
- Gamero-Vega, A. Y. (2019). Concentración de plomo en sangre de aves xcoquita (*Turdus grayi*) en la ciudad de Mérida , Yucatán. Tesis de maestría. CINVESTAV Unidad Mérida.
- García, A., Limón, A., y Méndez, J. (2019) Las finanzas públicas del cambio climático. Origen, costos y alternativas de los gases de efecto invernadero. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria (CIEP). Online. Disponible en <https://ciep.mx/las-finanzas-publicas-del-cambio-climatico-origen-costos-y-alternativas-de-los-gases-de-efecto-invernadero/#fnref17>
- Ghirardi, R., Enrique, C., Imbert, D., Rusillo, S., y Pacheco, C. (2009) Percepción ciudadana del estado de calidad del aire del centro y microcentro de la ciudad de Santa Fe.; Ediciones UNL; FABICIB; 13; Octubre; 11-20.
- Giraudeau M, Mousel M, Earl S, McGraw K (2014) Parasites in the City: Degree of Urbanization Predicts Poxvirus and Coccidian Infections in HouseFinches (*Haemorrhous mexicanus*). PLoS ONE 9(2): e86747. doi:10.1371/journal.pone.008674
- Giraudeau, M. & McGraw, K. J., (2014) Physiological Correlates of Urbanization in a Desert Songbird, *Integrative and Comparative Biology*, Volume 54, Issue 4, Pages 622–632, <https://doi.org/10.1093/icb/icu024>
- Giraudeau, M., Sweazea, K., Butler, M. W., & McGraw, K. J. (2013). Effects of carotenoid and vitamin E supplementation on oxidative stress and plumage coloration in house finches (*Haemorrhous mexicanus*). Comparative biochemistry and physiology. Part A, Molecular & integrative physiology, 166(3), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.07.014>
- González, R. A. P. (2001). Estrategias de comunicación. Ariel. Barcelona España, 122-723
- González A., Cabrera J., Barreto E., Fanjul N., Rodríguez M., & Jaime L. (2018). Mieloperoxidasa como marcador de daño vascular. Acta Médica del Centro, 12(2), 119-129. Recuperado de <https://revactamedicacentro.sld.cu/index.php/amc/article/view/900/1132>
- González, D., Álvarez Bernal, D., Mora, M., Buelna-Osben, H. R., & Ruelas-Insunza, J. R. (2018). Biomonitorio de metales pesados en plumas de aves acuáticas residentes del Lago de Chapala, México. Revista Internacional de Toxicología Ambiental, 34(2), 215–224. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.03>
- González, F., Fernández, C. y López, C. (2020) Uso de las representaciones sociales como elemento diagnóstico en zonas de conservación de aves: caso Aica Cuetzalan. En Reyes, F.

- (Coord.), La arena de la educación ambiental en México. (pp. 499-503). Campeche, México: Universidad del Caribe.
- Guimelli, Ch. (2004). Las representaciones sociales. *El Pensamiento Social*. México: UNAM/Ediciones Coyoacán, 29-62.
 - González-Zuarth, C.A., A. Vallarino, J.C. Pérez-Jímenez, A.M. Low-Pfeng (eds.) (2014) Bioindicadores: Guardianes de nuestro futuro ambiental. *El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur) Instituto Nacional de Ecología Climático (INECC)*, 25-26.
 - González, C., Lise, A., Felpeto, A. (2013). Tratamiento de datos con R, *Statistica y SPSS*. Ediciones Díaz de Santos.
 - Gutiérrez, J. (2006). ¿Qué sabe usted acerca de ... radicales libres? *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37 (4), 69-73. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=579/57937409>
 - H. Ayuntamiento de Puebla. (2011a). Plan de acción climática del municipio de Puebla. Disponible en <http://www.difmunicipalpuebla.gob.mx/images/transparencia/obl/vi-planes/pacmun.pdf>
 - H. Ayuntamiento de Puebla. (2011b). Plan municipal de desarrollo 2011-2014. Disponible en <http://pueblacapital.gob.mx/vi-planes-municipales-de-desarrollo/174-planes-municipales-de-desarrollo/3687-2011-2014-planes-municipales-de-desarrollo>
 - Habig, W., Pabst, M. & Jakoby W. (1974) Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *J Biol Chem*. Nov 25;249(22):7130-9. PMID: 4436300.
 - Haftorn, S. (1989). Seasonal and Diurnal Body Weight Variations in Titmice, Based on Analyses of Individual Birds. *The Wilson Bulletin*, 101(2), 217–235. <http://www.jstor.org/stable/4162726>
 - Handbook of the Birds of the World and BirdLife International (HBW) (2017) Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the world. Version 9.1. Available at: <http://datazone.birdlife.org/species/taxonomy>
 - Hanneman, Robert A. (2005). *Introduction to Social Network Methods*. USA: University of California.
 - Hastie, T. J. and Pregibon, D. (1992) Generalized linear models. Chapter 6 of *Statistical Models in S* eds J. M. Chambers and T. J. Hastie, Wadsworth & Brooks/Cole.
 - Heink, U. & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*. 584-593. 10.1016/j.ecolind.2009.09.009.
 - Hernández, J. (2011). La educación ambiental como factor determinante para mejorar programas de prevención y promoción de la Infección respiratoria aguda (IRA). *Plumilla Educativa*. 8. 313-322. 10.30554/plumillaedu.8.501.2011.
 - Herrera-Dueñas, A. (2018). Lights and shadows of city life: Consequences of urbanisation for oxidative stress balance of the house sparrow. [Groningen]: University of Groningen.
 - Herrera-Dueñas, A., Pineda, J., Antonio, M. T., & Aguirre, J. I. (2014). Oxidative stress of House Sparrow as bioindicator of urban pollution. *Ecological Indicators*, 42, 6–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.014>
 - Hoffman, J. (2002) Role of selenium toxicity and oxidative stress in aquatic birds, *Aquatic Toxicology*, Volume 57, Issues 1–2, Pages 11-26, ISSN 0166-445X, [https://doi.org/10.1016/S0166-445X\(01\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S0166-445X(01)00263-6).
 - Hui, C. A. (2002). Concentrations of chromium, manganese, and lead in air and in avian eggs. *Environmental Pollution*, 120(2), 201–206. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00158-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00158-6)

- Hull, B., & Bloom, P. (2001). The North American Banders' Manual for Raptor Banding Techniques. April, 22 pp.
- Ibáñez-Álamo, J. D., Pineda-Pampliega, J., Thomson, R. L., Aguirre, J. I., Díez-Fernández, A., Faivre, B., Figuerola, J., & Verhulst, S. (2018). Urban blackbirds have shorter telomeres. *Biology Letters*, 14(3), 6–9. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0083>
- INECC. (2017). Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis 2017 – 2030 (SEMARNAT (ed.)).
- INECC-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2016). Sistema Nacional de Calidad del Aire 2016, México. Ciudad de México: Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/171729/20160630_calidadAire_SINAICA_S_Hernandez.pdf
- INECC-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2019). Informe Nacional de Calidad del Aire 2018, México. Ciudad de México: Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental, Dirección de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos.
- INEGI (2016) Inventario Nacional de Vivienda. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>.
- INEGI (2020) Censo de población y vivienda 2020. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto de Métricas y Evaluación de la Salud (IHME) (2018). "Global Burden of Disease Study 2017. Online. Disponible en <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare/>
- Isaksson, C., Sheldon, B., & Uller, T. (2011) The Challenges of Integrating Oxidative Stress into Life-history Biology, *BioScience*, Volume 61, Issue 3, March, Pages 194–202, <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.5>
- Isaksson, C., Sturve, J., Almroth, B. C., & Andersson, S. (2009). The of impact urban environment on oxidative damage (TBARS) and antioxidant systems in lungs and liver of great tits, *Parus major*. *Environmental Research*, 109(1), 46–50. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2008.10.006>
- Jackson N. (1977). The effect of dietary copper sulphate on laying performance, nutrient intake and tissue copper and iron levels of the mature, laying, domestic fowl. *The British journal of nutrition*, 38(1), 93–100. <https://doi.org/10.1079/bjn19770065>
- Jenni, L., & Winkler, R. (1994). *Moult and Ageing of European Passerines*. Christopher Helm Publishers.
- Käffer, M., Lemos, A., Anders, M., Vaz, J., De Azevedo, S., Ferrão, V. (2012) Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil, *Environmental Pollution*, Vol 163, Pages 24-31.
- Kalousová, M., Zima, T., Tesar, V., Dusilová-Sulková, S. & Skrha J. (2005) Advanced glycoxidation end products in chronic diseases-clinical chemistry and genetic background. *Mutat Res. Nov* 11;579(1-2):37-46. doi: 10.1016/j.mrfmmm.2005.03.024. Epub 2005 Aug 5. PMID: 16084533.
- Kienzl, K., Riss, A., Vogel, W., Hackl, J., & Götz, B. (2003). Chapter 3 Bioindicators and biomonitoring for policy, legislation and administration. *Trace Metals and Other Contaminants in the Environment*, 6(C), 85–122. [https://doi.org/10.1016/S0927-5215\(03\)80133-9](https://doi.org/10.1016/S0927-5215(03)80133-9)

- Latif, I. K., Karim, A. J., Zuki, A. B. Z., Zamri-Saad, M., Niu, J. P., & Noordin, M. M. (2010). Pulmonary modulation of 103inér[a]pyrene-induced hemato-and hepatotoxicity in broilers. *Poultry Science*, 89(7), 1379–1388. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00622>
- Loomis, D., Grosse, Y., Lauby-Secretan, B., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Baan, R., Mattock, H. & Straif, S. (2013) The carcinogenicity of outdoor air pollution. *The lancet oncology*, Vol. 14, No. 13, p. 1262-1263.
- López-Téllez, C., Campos, V. y Ramírez, G. (2019) Parque Nacional La Malinche y el impacto ecológico social de su decreto como Área Natural Protegida. *Regiones y Desarrollo Sustentable*. XIX: 36, ISSN electrónico: 2594-1429
- Lowry, O., Rosebrough, N., Farr, A., & Randall, R. (1951) Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent *J. Biol. Chem.* 193, 265–275
- Ludders, J. (2001). Inhaled Anesthesia for Birds, *Recent Advances in Veterinary Anesthesia and Analgesia: Companion Animals*. Available at: <https://www.ivis.org/library/recent-advances-veterinary-anesthesia-and-analgesia-companion-animals/inhaled-anesthesia>
- Maina, J. (2017). Functional Design of the Mature Avian Respiratory System. In: Maina J. (eds) *The Biology of the Avian Respiratory System*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44153-5_8
- Malik, R. N., & Zeb, N. (2009). Assessment of environmental contamination using feathers of *Bubulcus ibis* L., as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan. *Ecotoxicology* (London, England), 18(5), 522–536. <https://doi.org/10.1007/s10646-009-0310-9>
- Markert, B., Breure, A.M., Zechmeister H., (2003), *Bioindicators and Biomonitors*, Elsevier, Vol. 6, 1st ed., 677.
- Mayorga, C., Ruiz, M., y Aldás, D. (2020). Percepciones acerca de la contaminación del aire generada por el transporte urbano en Ambato, Ecuador.
- Medina, F., & Galván, M. (2007). *Imputación de datos: teoría y práctica*. Cepal.
- Meiwes, K. J., & Meesenburg, H. H. (2004). Suelos forestales en un ambiente de lluvia ácida y estrategias para recuperarlos. *Recursos Rurais*, 69-71.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., Beaver, B. M., & Velázquez Arellano, J. A. (2015). *Introducción a la probabilidad y estadística* (14a. ed. pp-68.). México, D.F.: Cengage Learning.
- Mendoza, R., Rose, J., Jiménez, F. & Escobar, V. (2012). *Las Aves del Municipio de Puebla*. Puebla: Peace Corps, USA; CONABIO; H. Ayuntamiento Puebla y SEMARNAT.
- Mert, H., Comba, B., Mert, N., Cinar, A. & Apaydin, B. (2016). Advanced Oxidative Protein Product (AOPP) Levels and Kidney Functions in Fluorotic Sheep. *Fluoride* 49(3 Pt 2):336-342
- Miranda, I., Nualles, V., Fernández, L., y Esponda, C. (2010). Utilización del análisis de cluster con variables mixtas en la selección de genotipos de maíz (*Zea mays*). *Investigación Operacional*, 31(3), 209-216.
- Molla, M. B. (2015). Urbanization process in developing countries: A review on urban ecosystem degradation and public health effect. *Research Journal of Agricultural and Environmental Management*, 4(7), 291–298.
- Monaghan P., Metcalfe N., Torres R. (2009). Oxidative stress as a mediator of life history trade-offs: mechanisms, measurements and interpretation. *Ecol Lett.* Jan;12(1):75-92. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2008.01258.x. PMID: 19016828.
- Moreno C. (2001) *Manual de métodos para medir la biodiversidad*. Textos Universitarios, Universidad Veracruzana. 49 pp.

- Moscovici, S. (1979). La representación social: un concepto perdido. *El Psicoanálisis, su imagen y su público*, 2, 27-44.
- Moscovici, S. (1981). "On social representation". En J.P. Forgas. *Social cognition. Perspectives in everyday life*, Academic Press. Londres.
- Mukhtar, H., Kumar, A., Husain, M. M., & Krishna Murti, C. R. (1981). Aryl hydrocarbon hydroxylase in pigeon skin and its inérea relevance to monitoring air pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 5(1), 97–105. [https://doi.org/10.1016/0147-6513\(81\)90049-X](https://doi.org/10.1016/0147-6513(81)90049-X)
- Muñiz., P., Coma, M. & Terán, J. (2014) Estrés oxidativo y daño vascular en procesos de hipoxia. Malondialdehido (mda) como biomarcador de daño oxidativo. *Rev Electron Biomed / Electron J Biomed* 2014; 2:46-49.
- Navarro, O. (2013). Representación social del medio ambiente y de la contaminación del aire: efecto de imbricación de dos objetos. *CES Psicología*, 6(1), 104-121.
- Necedal, J. (2011). La más común y típica de las aves canoras en nuestro país: El gorrión mexicano (*Carpodacus mexicanus* Müller). *El Canto del Centzontle*. 2. 1-14.
- North, M., Khanna, N., Marsden, P., Grasemann, H. & Scott, J. (2009) Functionally important role for arginase 1 in the airway hyperresponsiveness of asthma. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. Jun;296(6): L911-20. doi: 10.1152/ajplung.00025.2009. Epub 2009 Mar 13. PMID: 19286931.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), (2018). World Urbanization Prospects The 2018 Revision. Disponible en <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html#:~:text=Today%2C%2055%25%20of%20the%20world's,increase%20to%2068%25%20by%202050.&text=By%202050%2C%20it%20is%20projected,million%20and%20Nigeria%20189%20million>.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU), (2019). Objetivos del desarrollo sostenible. Página web: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS), (2018). Calidad del aire y salud. Página web: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health#:~:text=En%20las%20Directrices%20de%20la,con%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20aproximadamente](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health#:~:text=En%20las%20Directrices%20de%20la,con%20la%20contaminaci%C3%B3n%20en%20aproximadamente)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006) Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Disponible en https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf;jsessionid=A8EEF4CA7607A594410BEC928BE101AA?sequence=1
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018) Contaminación del aire ambiental (exterior). Online. Disponible en [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2019) Intoxicación por plomo y salud. Online. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Orta-Zavalza, E., Briones-Martin-del-Campo, M., Castano, I. and Penas, A. D. (2014). Catalase Activity Assay in *Candida glabrata*. *Bio-protocol* 4(6): e1072. DOI: 10.21769/BioProtoc.1072.
- Osawa, C., Felício, P. & Gonçalves, L. (2005). Teste de TBA aplicado a carnes e derivados: métodos tradicionais, modificados e alternativos. *Química Nova*, 28(4), 655-663. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422005000400019>

- Owen, J. C. (2011). Collecting, processing, and storing avian blood: a review. *Journal of Field Ornithology*, 82(4), 339–354. doi:10.1111/j.1557-9263.2011.00338.x
- Parra, E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *Revista CES Salud Publica*, vol. 5:1, p. 59-69.
- Pei, Y., Halbrook, R. S., Li, H., & You, J. (2017). Homing pigeons as a biomonitor for atmospheric PAHs and PCBs in Guangzhou, a megacity in South China. *Marine Pollution Bulletin*, 124(2), 1048–1054. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.059>
- Peig, J., & Green, A. J. (2009). New perspectives for estimating body condition from mass/length data: The scaled mass index as an alternative method. *Oikos*, 118(12), 1883–1891. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2009.17643.x>
- Peig, J., & Green, A. J. (2010). The paradigm of body condition: A critical reappraisal of current methods 105inérea105 mass and length. *Functional Ecology*, 24(6), 1323–1332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01751.x>
- Pickrell JA, 2007. Respiratory toxicity. In RC Gupta (ed.) *Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles*. 1 ed. USA: Academic Press, 182-183.
- Pinilla, J., Díaz, M., & Asensio, B. (2000). Manual Para El Anillamiento Científico De Aves. *SEO/BirdLife*, 6, 163.
- Powell, F. & Hopkins S. (2004) Comparative physiology of lung complexity: implications for gas exchange. *News Physiol Sci*. Apr;19:55-60. doi: 10.1152/nips.01469.2003. PMID: 15016903.
- Powell, F. (2000). Respiration. In: *Sturkie`s Avian Phisiology*. Fifth Edition. Academic Press. San Diego, California. United States of America.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramírez, O. (2015) Identificación de problemáticas ambientales en Colombia a partir de la percepción social de estudiantes universitarios localizados en diferentes zonas del país *Rev. Int. Contam. Ambie*. 31 (3) 293-310.
- Rose, K., Newman, S., Uhart, M. & Lubroth, J. (Eds.) (2006) *WILD BIRD HPAI SURVEILLANCE*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Ruiz, C. (2012). Aplicación del análisis de componentes principales como técnica para obtener índices sintéticos de calidad ambiental. *UCV-Scientia*, 4(2), 145-153. Ruiz, S. R., Espín, S., Sánchez-Virosta, P., Salminen, J. P., Lilley, T. M., & Eeva, T. (2017). Vitamin profiles in two free-living passerine birds under a metal pollution gradient – A calcium supplementation experiment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 138(August 2016), 242–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.12.037>
- Salmón, P., Stroh, E., Herrera-Dueñas, A., von Post, M., & Isaksson, C. (2018)a. Oxidative stress in birds along a Nox and urbanisation gradient: An interspecific approach. *Science of the Total Environment*, 622–623(x), 635–643. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.354>
- Salmón, P., Watson, H., Nord, A., & Isaksson, C. (2018)b. Effects of the Urban Environment on Oxidative Stress in Early Life: Insights from a Cross-fostering Experiment. *Integrative and Comparative Biology*, 58(5), 986–994. <https://doi.org/10.1093/icb/icy099>
- Sanín, L., González-Cossío, T., Romieu, I., Hernández-Avila, M. (1998) Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México*, [S.l.], v. 40, n. 4, p. 359-368, jul. 1998. ISSN 1606-7916. Disponible en: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/6100/7157>

- Sanmiguel, R. & Peñuela-Sierra, L. (2012) Una revisión a las particularidades del sistema respiratorio aviar. *Spei Domus*; 8(17):59-65.
- Santana, O. F. (1991). El análisis de cluster: aplicación, interpretación y validación. *Papers: revista de sociología*, 65-76.
- Santiago-Alarcon, D. (2015). Técnicas de campo y laboratorio para el estudio de parásitos sanguíneos del orden haemosporida en aves terrestres. In S. Gallina (Ed.), *Manual de técnicas del estudio de la fauna* (1st ed., pp. 53–86). Instituto de Ecología A.C. http://www.inecol.edu.mx/inecol/libros/Manual_de_estudio_de_la_fauna.pdf
- Santos, C., Brandão, R., Monteiro, M., Bastos, A., Soares, A. & Loureiro, S. (2017) Assessment of DNA damage in *Ardea herodias* and *Ciconia ciconia*: A 5-year study in Portuguese birds retrieved for rehabilitation. *Ecotoxicol Environ Saf.* 136:104-110. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.10.039. Epub 2016 Nov 8. PMID: 27833047.
- Scanes, C. G. (2017). Human activity and *Ardea herodias*: Destruction, fragmentation, and degradation. In *Animals and Human Society*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805247-1.00026-5>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2015) Norma Oficial Mexicana NOM-033-SAG/ZOO-2014. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. *Diario Oficial de la Federación*, 26 de agosto.
- Secretaria de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT). (2022). Informe Anual de Calidad del Aire Zona Metropolitana del Valle de Puebla ZMVP. https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/documents/Reporte_Anual_2021_Calidad_del_Aire.pdf
- Shah, S. W. A., Chen, J., Han, Q., Xu, Y., Ishfaq, M., & Teng, X. (2020). Ammonia inhalation impaired immune function and mitochondrial integrity in the broilers bursa of fabricius: Implication of oxidative stress and apoptosis. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 190(August 2019), 110078. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110078>
- Shannon, C. (1948). The mathematical theory of communication. En C. E. Shannon; W. Weaver (Ed). *Univ. of Illinois. Press*, 134–154
- Simioni, D. (2003). Contaminación atmosférica y conciencia ciudadana. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (ONU). ISBN: 92-1-322157-6.
- Smallwood, I. (2017) Manual Cervical Neck dislocation in Poultry en STANDARD OPERATING PROCEDURES FORM (For Domestic Fowl, Native Fauna/Wildlife, Domestic Livestock & Laboratory Animals). The university of New England Animal Ethics Committee (AEC). Disponible en: https://www.une.edu.au/__data/assets/pdf_file/0006/182526/F9-Manual-Cervical-Neck-dislocation-in-Poultry.pdf
- Sotil, G., Alvis, R., Francia, J., & Shiga, B. (2007). Aplicación de dos biomarcadores para el análisis de lesiones en el DNA de bivalvos marinos. *Revista Peruana de Biología*, 13(3), 249-254.
- Stat Soft, Inc. (2004) STATISTICA (data análisis software system) versión 7. www.statsoft.com.
- Suzuki K, Ota H, Sasagawa S, Sakatani T, Fujikura T. (1983) Assay method for myeloperoxidase in human polymorphonuclear leukocytes. *Anal Biochem.* 15;132(2):345-52. doi: 10.1016/0003-2697(83)90019-2. PMID: 6312841.
- Svensson, L. (1992). *Identification Guide to European Passerines*. Stockholm.

- Torres, M., Barros M., Campos S., Pinto E., Rajamani S., Sayre R. & Colepicolo P. (2008) Biochemical biomarkers in algae and marine pollution: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 71: 1-15.
- Tursi Ríspoli, Leonardo De, Vázquez Tarragón, Antonio, Vázquez Prado, Antonio, Sáez Tormo, Guillermo, Ismail Mahmoud, Ali, Bruna Esteban, Marcos, Mulas Fernandez, Claudia, & Gumbau Puchol, Verónica. (2013). Relationship of oxidative stress and weight loss achieved in morbid obese patients by means of bariatric surgery using the duodenal switch technique. *Nutrición Hospitalaria*, 28(4), 1085-1092. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.4.6539>
- Umaña, S. A. (2002). Las representaciones sociales Ejes teóricos para su discusión. *Flacso (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales)*, 52-84.
- Urrutia, j., Salazar, h. y Cruz e. (2011). Evaluación de la robustez de un modelo de regresión múltiple para predecir las ventas diarias de un hipermercado en Pereira, Risaralda.. *Scientia Et Technica*, XVII(47), 95-100.
- U.S. EPA, (2016). Integrated science assessment for oxides of nitrogen – health. U.S. Environmental Protection Agency, National Center for Environmental Assessment, Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/R-15/068.
- Villalpando, D., Alvarez, C. & Gómez A. (2017) Advanced oxidation protein products and their relationship with cardiovascular risk factors in young apparently healthy people. *Sep-Oct;29(5):209-215*. English, Spanish. doi: 10.1016/j.arteri.2017.04.004. Epub 2017 Jun 13. PMID: 28619393.
- Villaseñor, J. y Santana, E. (2003) El monitoreo de poblaciones: herramienta necesaria para la conservación de aves en México. En *Conservación de aves experiencias en México*. CIPAMEX, ISBN: 968-5716-00-5. pp. 224-250.
- Vivanco, M. (2005). Muestreo estadístico. Diseño y aplicaciones. Editorial Universitaria.
- Voyer, L. y Alvarado, C. (2019) Reacción de Maillard. Efectos patogénicos. *Medicina*; 79: 2, pp. 137-143.
- Wallace, S. J., de Solla, S. R., Thomas, P. J., Harner, T., Eng, A., & Langlois, V. S. (2018). Airborne polycyclic aromatic compounds contribute to the induction of the tumour-suppressing P53 pathway in wild double-crested cormorants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150(August 2017), 176–189. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.028>
- Watson, H., Videvall, E., Andersson, M. N., & Isaksson, C. (2017). Transcriptome analysis of a wild bird reveals physiological responses to the urban environment. *Scientific Reports*, 7(October 2016), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep44180>
- Wei, T. y Viliam, S. (2021) Corrplot: Visualization of a Correlation Matrix. Disponible en <https://github.com/taiyun/corrplot>.
- West, J. (2009) Comparative physiology of the pulmonary blood-gas barrier: the unique avian solution. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 297:6. Disponible en <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00459.2009>
- Weyers, B., & Gluck, E. (1988). Investigation of the significance of heavy metal contents of blackbird feathers. *The Science of the Total Environment*, 77, 61–67.
- Witko-Sarsat, V., Friedlander, M., Capeillère-Blandin, C., Nguyen-Khoa, T., Nguyen, A., Zingraff, J., Jungers, P. & Descamps-Latscha, B. (1996). Advanced oxidation protein products as a novel marker of oxidative stress in uremia. *Kidney International*, 49(5), 1304–1313. Doi:10.1038/ki.1996.186

- Zhou, Q., Zhang J., Fu, J., Shi, J. & Jiang G. (2008) Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. *Analytica Chimica Acta* 606: 135-150.

Anexo I. Procedimientos utilizados en los ensayos de estrés oxidante.

A) Determinación de Metilglioxal

El Metilglioxal (MG) es un compuesto dicarbonilo producto del metabolismo celular presente en condiciones normales o con una patología. Se sabe que las rutas metabólicas enzimáticas y no enzimáticas producen MG. [7]

Durante el proceso catabólico de glucólisis, metabolismo de la cetona o en el catabolismo de la teonina se forma el metabolito conocido como Metilglioxal (MG), el cual es un subproducto conocido por ser un potente glicante, el cual puede interactuar con proteínas o través de reacciones en cadena conocidas como reacciones de Maillard, produciendo así productos estables conocidos como Productos Finales de Glicación Avanzada o AGEs por sus siglas en inglés. El MG es un importante precursor en la formación de AGEs, esto va a depender de condiciones fisiológicas tales como la hiperglucemia y la cetoacidosis, estas condiciones son asociadas a la DM. [8] [9]

MG es un producto secundario metabólico que se produce principalmente después de la quinta reacción de la glucólisis a través de la desfosforilación espontánea de gliceraldehído-3-fosfato (GAP) y fosfato de dihidroxiacetona (DHAP). Si bien la MG puede producirse como un subproducto del metabolismo de las proteínas y los ácidos grasos, la vía de la glicólisis, esta representa la fuente endógena más importante de MG a través de la fragmentación de los trifosfatos. gliceraldehído-3-fosfato (GAP) y dihidroxiacetona fosfato (DHAP). Se estima que 0.1-0.4% del flujo glucolítico resulta en la producción de MG. Es importante destacar que, como MG es altamente reactiva, su vida media es corta en un entorno biológico y, por lo tanto, en el momento y lugar de producción, las concentraciones locales pueden ser significativamente más altas. [10] [11]

Para evitar los efectos tóxicos de la MG, las células poseen diferentes mecanismos de desintoxicación, como las vías de glioxalasa, aldosa reductasa, aldehído deshidrogenasa y carbonil reductasa. Sin lugar a duda, el sistema de glioxalase, una vía enzimática ubicua, es el principal sistema de desintoxicación de la MG y otros compuestos de dicarbonilo reactivos en células eucariotas, desempeñando así un papel importante en la defensa celular contra la glicación y el estrés oxidativo. []

Reactivos:

- 2,4-Dinitrofenilhidrazina 0.9 mM en HCl 1 N
- NaOH 1.5 N
- Stock de metilglioxal 25 mM
- Metilglioxal 12.5 mM para la curva.

Procedimiento:

Curva estándar

Metilglioxal 12.5 mM (ul)	H ₂ O doble destilada (ul)	Concentración final
0	25	0
1	24	0.5
2	23	1
3	22	1.5
4	21	2

Procedimiento para curva

- Añadir 100ul de DNFH A 0.9 M por duplicado e incubar por 10 minutos a 37°C
- Adicionar 100ul de NaOH en una concentración de 1.5 N en todas las muestras.
- Leer a 540 nm

Procedimiento para muestra (EDTA-Suerum)

- Adicionar 50ul de muestra por duplicado (placa)
- Adicionar 100ul de DNFH A 0.9 M por duplicado e incubar por 10 minutos a 37°C
- Adicionar 100ul de NaOH en una concentración de 1.5 N en todas las muestras.
- Leer a 540 nm.

B) Actividad enzimática de Glutación-S-Transferasa

La actividad enzimática se medirá espectrofotométricamente a $\lambda = 340$ nm por medio del complejo formado por el glutatión y el sustrato (GS-DND):



de acuerdo con el protocolo de Habig et al. (1974) modificado para el propósito del presente estudio.

Preparación de reactivos:

Buffer fosfatos 50 mM pH 7.4

- En un vaso de precipitado de 1 L disolver 4.354 g de K₂HPO₄ bibásico en 500 ml de agua destilada.
- En otro vaso de precipitado de 500 ml disolver 1.7 g de KH₂PO₄ monobásico en 250 ml de agua destilada.
- Agregar la solución monobásica a la bibásica hasta ajustar el pH a 7.4 para obtener aproximada 750 ml de la solución buffer.

Stock Glutación (GSH) 10 mM

- Disolver 3.073 mg de glutatión en 1 ml de solución buffer fosfatos pH 7.4.

Stock DCNB (1 cloro-2,4-dinitrobenceno) 60 mM

- Disolver 12.153 mg de DCNB en 1 ml de Etanol al 100% (mantener en obscuridad).

Preparación de mix para el ensayo

Para preparar 5 ml:

- Con una micropipeta agregar en el siguiente orden:
 - 4.580 ml de solución buffer fosfatos pH 7.4
 - 360 μ L de la solución stock de GSH
 - 60 μ L de la solución stock de DCNB
- Guardar en un frasco ámbar.

El stock de GSH y DCNB se pueden mantener en el congelador, el mix se mantiene únicamente en refrigeración y no se usa más de tres veces.

La muestra será tratada de acuerdo con el procedimiento descrito en el para obtener el sobrenadante para las pruebas. Una vez obtenida el sobrenadante se diluirá en una proporción 1:5 (muestra: solución tampón) para el análisis de la actividad enzimática y la determinación de proteínas.

Procedimiento:

- 1) Agregar en cada pozo 15 μ l de muestra diluida o blanco (PBS).
- 2) Agregar 235 μ l de Mix y agitar en el lector de ELISA 20 segundos en dos ocasiones
- 3) Leer la placa en el lector de ELISA en Kinetic a una absorbancia (ABS) de 1: 340 nm, por 06:45 minutos, 10 puntos con un intervalo de 45 segundos.
- 4) Para el procesamiento de datos, se necesita sacar el promedio de las celdas vacías, el cual se va a restar a cada lectura de ABS de cada pozo, obtener el promedio de las celdas ocupadas por cada muestra; restar el blanco a cada promedio de muestra y graficar para obtener pendiente.

La actividad enzimática de la GST se estima con la siguiente ecuación:

$$\text{Actividad de GST (nmol/min/mg proteína)} = \frac{[(\Delta A \cdot 10^3 / \text{min})(V \text{ pozo})]}{(\epsilon)(b)(\text{proteína})}$$

Donde:

ΔA = pendiente de la absorbancia por minuto

($V \text{ pozo}$) = volumen del pozo en μ l (250 μ l)

V_{muestra} = volumen de la muestra en μ l (15 μ l)

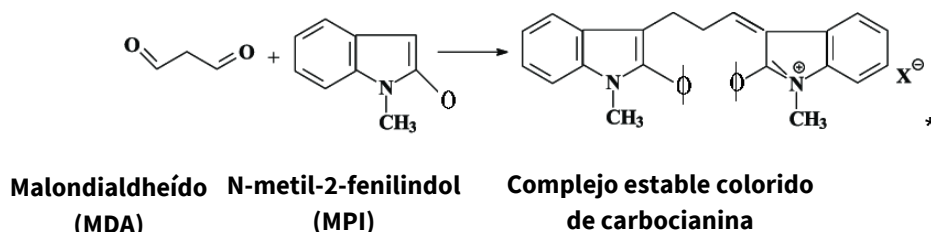
ϵ = Coeficiente de extinción molar de la reacción GS-DNB ($9.6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

b = espesor del pozo (1 cm)

proteína = cantidad de proteína en mg/ml

C) Determinación de la peroxidación de lípidos mediante niveles de malondialdehído (MDA) en plasma.

Se determinarán los niveles de MDA por la técnica de Esterbauer et al. (1991), la cual está basada en la reacción de un reactivo cromógeno, N-metil-2-fenilindol (MPI), con el MDA a 45 °C. Una molécula de MDA reacciona con 2 moléculas de MPI para producir un complejo estable de carbocianina colorido como se muestra en la siguiente reacción:



*(Tomado y modificado de Osawa et al.,2005)

Los niveles de MDA se medirán espectrofotométricamente a una absorbancia (λ) entre 586 y 595nm.

Preparación de reactivos:

H₂SO₄ al 1%.

- Tomar 1.013 ml de H₂SO₄ y aforar a 100 ml con agua doble destilada.

Stock MDA 1,1, 3,3-Tetrametoxipropano (Malonaldehído bis (dimetilacetal)) 10 mM*

- Tomar 12 μ l de MDA y aforar en 10 ml de H₂SO₄ al 1%.
- También puede aforarse con buffer fosfatos pH 7.4 (PBS)

*Mantener en refrigeración (hasta 1 año). Para su uso dejar en reposo a temperatura ambiente durante dos horas.

MPI (1-metil-2-fenilindol) 10 mM en acetonitrilo: metanol (3:1)

- Pesar 0.02072 g de MPI y disolver en 20 ml de acetonitrilo:metanol (3:1)* y aforar a 100 ml con acetonitrilo:metanol (3:1).

*Agregar 10 ml de metanol por cada 30 ml de acetonitrilo.

Esta solución es estable por dos días a 4°C.

MDA 1,1, 3,3-Tetrametoxipropano (Malonaldehído bis (dimetilacetal)) 0.1mM*

- Tomar 50 µl de la solución stock 1,1,3,3-Tetrametoxipropano (Malonaldehído bis (dimetilacetil)) 10 mM y aforar a 5 ml con PBS

*Mantener en refrigeración.

Y HCl al 37%.

Preparación de la curva estándar

Se puede hacer uso de PBS o H₂SO₄ al 1% para realizar la curva estándar.

- Agregar en cada tubo Eppendorf ámbar los µl correspondientes de MDA de 0.1mM y el agua doble destilada de acuerdo con la siguiente tabla:

Tubo	nM de MDA	µl de MDA de 0.1mM	H ₂ O destilada (µl)	MPI (µl)	HCl 37% (µl)
1	-	-	55	185	40
2	0.5	5	50	185	40
3	1	10	45	185	40
4	2	20	35	185	40
5	4	40	15	185	40

- Agregar los µl correspondientes de MPI y HCl 37% en obscuridad y agitar inmediatamente.
- Incubar a 45 °C por 40 minutos
- Centrifugar a 10,000 rpm por 15 minutos los tubos
- Tomar 200 µl del sobrenadante y agregar en cada pozo de la microplaca
- Leer la placa en el lector de ELISA en Single a una ABS de 586 nm

Lectura de muestras

La muestra será tratada de acuerdo con el procedimiento antes descrito para la extracción celular. Se realizará una réplica por muestra.

- Blanco: Agregar en el tubo Eppendorf ámbar 50 µl de agua doble destilada.
- Muestra: Agregar 25 µl de muestra y 25 µl de agua doble destilada.
- Agregar 185 µl de MPI y 40 µl de HCl 37% en obscuridad y agitar inmediatamente.
- Incubar a 45 °C por 40 minutos
- Centrifugar a 3500 rpm 10 minutos
- Tomar 200 µl del sobrenadante y agregar en cada pozo de la microplaca
- Leer la placa en el lector de ELISA en Single a una ABS de 590 nm

El nivel de MDA se estima con la siguiente ecuación:

Nivel de MDA (mmol LHOO / ml de plasma) =

$$m(\text{Promedio ABS} - \text{ABS de celdas vacías})(20)$$

Donde:

m = pendiente de la curva estándar

Promedio ABS = promedio de la absorbancia de las réplicas de cada muestra

D) Determinación de productos de oxidación avanzada de proteínas (AOPP en inglés) en plasma (Witko-Sarsat et al., 1996).

Preparación de reactivos:

Stock de Cloramina T 2.5 mM*

- Pesar 0.003521 g de Cloramina T y disolver en 2 ml de PBS.
- Aforar a 5 ml con PBS.

* Preparar el día de uso y desechar.

Yoduro de potasio (KI) 1.16 M*

- Pesar 4.81 g de Yoduro de potasio y disolver en 15 ml de PBS.
- Aforar a 25 ml con PBS.

*Preparar en tubos ámbar y mantener refrigeración después de su uso. Al usar mantener en frío.

Cloramina T 100µM*

- Tomar 40 µl de la solución stock de Cloramina T 2.5 mM y diluir en 1 ml de PBS.

Preparación de la curva estándar

1. Agregar en cada tubo Eppendorf ámbar los µl correspondientes de PBS y Cloramina T 100 µM de acuerdo con la siguiente tabla:

Tubo	PBS (µl)	Cloramina T 100 µM (µl)	Concentración µM de Cloramina T por litro
1	200	-	0
2	190	10	5
3	170	30	15
4	150	50	25
5	100	100	50
6	-	200	100

2. Adicionar 20 µl de KI 1.16 M, agitar por 2 minutos.

3. Adicionar 40 µl de ácido acético puro, agitar por 2 minutos.

4. Leer enseguida la placa en el lector de ELISA en SIMPLE a una ABS de 405 nm

Lectura de muestras

1. Agregar 20µl de plasma en 140 µl de PBS a cada tubo

2. Adicionar 40 µl de ácido acético puro, agitar por 2 minutos

3. Esperar 10 minutos

4. Leer enseguida la placa en el lector de ELISA en Single Wavelength a una ABS de 340 nm

La absorbancia de la Cloramina T a 340 nm es lineal dentro del rango de 0 a 100 $\mu\text{M/L}$, por tanto, la concentración de AOPP se expresa en $\mu\text{mol/L}$ de equivalentes de Cloramina T en las mismas unidades, de acuerdo con la tabla de la curva estándar se puede conocer la concentración de AOPP con respecto a la absorbancia registrada.

E) Actividad enzimática de la arginasa (Corraliza et al., 1994)

Preparación de reactivos:

Buffer Tris-HCl 25mM pH 7.4 y MnCl_2 5mM en relación 1:1

- Mezclar en 20mL de agua destilada 0.006 g de MnCl_2 con 0.0788 g de Tris-HCl.

Arginina 0.5M pH 9.7 en agua

- Disolver 8.71g de L-arginina en 100mL de agua destilada.

Nota: No utilizar L-arginina-HCl. (Utilizar L-arginina sigma-A5006-100G).

Mezcla de ácidos H_2SO_4 , H_3PO_4 y H_2O 1:3:7 v/v

- Mezclar 10mL de H_2SO_4 , 30mL de H_3PO_4 y 70mL de agua destilada para obtener un volumen total de 110 ml.

Isonitrosopropiofenona (ISPF) al 9% en etanol absoluto

- Disolver 1.8 g de ISPF en 18.2mL de etanol absoluto.

Solución de urea 1mg/ml

- Disolver 1mg de urea en 1ml de agua destilada.

Preparación de la curva estándar

1. Agregar en cada tubo Eppendorf los μl correspondientes de urea, mezcla de ácidos e ISPF de acuerdo con la siguiente tabla:

Tubo	Agua (μL)	Urea ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$)	Mezcla ácidos (μL)	ISPF (μL)
0	100	0	140	10
1	98	0.02	140	10
2	96	0.04	140	10
3	94	0.06	140	10
4	92	0.08	140	10
5	90	0.10	140	10
6	85	0.15	140	10

2. Después de añadir todos los reactivos, calentar a 100°C por 45 minutos y dejar enfriar 10 minutos en obscuridad.
3. Leer absorbancia a 540 nm.

Lectura de muestras

1. Diluir las muestras séricas en una razón de 1:10 con agua destilada. En el caso de las células, no diluir.
2. Colocar 100 µl de muestra.
3. Añadir 100 µl de la mezcla buffer/ MnCl₂.
4. Incubar a 55°C por 10 minutos.
5. Tomar 50 µl del volumen total y colocarlo en otro tubo.
6. Agregarle a este último 50 µl de arginina e incubar a 37°C por 1 hora.
7. Parar la reacción con 140 µl de la mezcla de ácidos.
8. Añadir 10 µl de ISPF.
9. Incubar a 100°C por 45 minutos y dejar enfriar por 10 minutos a oscuras.
10. Leer absorbancia a 540 nm.

Nota: La incubación a 100°C puede derretir ligeramente el fondo del tubo, en este caso, al leer la absorbancia, traspasar 150 µl de la placa donde se realizó la incubación a 100°C a una placa de lectura.

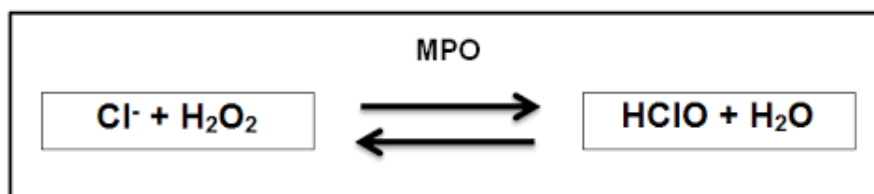
Procedimiento para calcular la concentración en las muestras

Después de obtener la ecuación de la recta de la curva de calibración de urea se despeja a (X) y se sustituye en (Y) el valor obtenido de la absorbancia de la muestra a 540 nm.

El valor obtenido debe ser dividido entre la cantidad de proteínas totales de la muestra en mg/ml.

F) Determinación de la actividad mieloperoxidasa en placa 96 pozos (Medición en suero).

La mieloperoxidasa humana (MPO) es una hemoproteína compuesta de dos subunidades pesadas que contienen hemo de 53 kDa y de dos subunidades ligeras de 15 kDa. La MPO se almacena en los gránulos de neutrófilos y monocitos y se libera en respuesta a la activación de los leucocitos. MPO actúa como un catalizador en la producción de ácido hipocloroso (HOCl), un potente oxidante producido a partir de iones cloruro (Cl⁻) y peróxido de hidrógeno (H₂O₂) importante como agente bactericida en presencia de H₂O₂ e iones haluro. Aunque la MPO es importante para el sistema inmune, también desempeña un papel en varias afecciones inflamatorias. Este método utiliza tetrametilbenzidina (TMB), un sustrato no carcinogénico.



Reactivos:

- TMB 16 mM
- H₂O₂ 0.3 mM
- Buffer fosfatos 0.1 M pH: 5.4
- Buffer Acetatos 0.4 M pH:3

Preparación de reactivos

STOCK TMB 16mM*

Pesar 0.1002 g y disolver en 10 mL de DMSO y agregar 10 mL de H₂O doble destilada. Mantener en frío en un contenedor ámbar.

*Almacenar a -20°C por 2 años.

TMB 1.6 mM*

Tomar de la solución Stock 0.1 mL y aforar a 1 mL con agua doble destilada. Mantener en frío en un contenedor ámbar.

*Refrigerar por menos de 3 días.

H₂O₂ 0.3 mM*

Tomar 17 ul de H₂O₂ (30%) y aforar a 500 ul de agua doble destilada.

*Preparar el día de uso y desechar después.

Buffer fosfatos 0.1 M pH: 5.4*

Pesar 0.07098 g de Na₂HPO₄ y 3.380755 g NaH₂PO₄*H₂O, disolver en 200 mL de agua doble destilada. Ajustar el pH a 5.4 y aforar a 500 mL con agua doble destilada.

*Mantener en frío y conservar en refrigeración.

*Buffer Acetatos 0.4 M pH:3

Tomar 2.353 mL de ácido acético glacial, agregar 20 ml de agua doble destilada. Ajustar pH:3 y aforar a 100 mL con agua doble destilada.

*Mantener en recipiente cubierto de la luz en frío, y conservar en refrigeración.

Para preparar 2 mL de la Mix colocar en un contenedor ámbar:

- 1706 µl de buffer fosfatos
- 210 µl de TMB 1.6 mM
- 84 µl de H₂O₂ 0.3 mM

Nota: El Mix se prepara al momento y al terminar se deshecha. Mantener en frío.

Procedimiento para la lectura de muestras

- 1) Agregar en cada pozo 10 µl de muestra o blanco (H₂O),
- 2) Agregar 90 µl de Mix, proteger la placa de la luz y agitar en el lector de ELISA 20 s x 3 veces.
- 3) Incubar a 37°C en baño maría por 3 min protegido de la luz.
- 4) Meter en un baño de hielo y agregar 150 µl de Buffer acetatos y agitar inmediatamente;
- 5) Leer la placa en el lector de ELISA en Single Wavelength a una ABS de 7: 590 nm (UN SOLO PUNTO).
- 6) Para el procesamiento de datos, se necesita sacar el promedio de los pozos que contienen el blanco y este valor se resta a cada ABS de pozo con muestra, obtener el promedio de los pozos con muestra y:

La actividad de MPO se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{(\text{Promedio ABS de cada muestra})(200)}{3} \text{ Para sacar ABS en 1 mL}$$

El resultado llevarlo a regla de 3 ya que definimos las unidades arbitrarias de MPO de la siguiente manera: 1U de actividad de MPO se define como el cambio de 0.1 en la DO.

Obtener CV y DV

Bibliografía:

Modificado de Suzuki, K., Ota, H., Sasagawa, S., Sakatani, T., & Fujikura, T. (1983). Assay method for myeloperoxidase in human polymorphonuclear leukocytes. *Analytical Biochemistry*, 132(2), 345-352. doi: 10.1016/0003-2697(83)90019-2

Determinación de proteínas por el método de Lowry et al., (1951).

- 1) Preparar solución cupro-alcálica (solución de Lowry)* (1:50).

Para preparar 5 ml mezclar:

- 4.9 ml solución A (solución de Na_2CO_3 al 2% y tartrato de sodio y potasio al 0.02% en NaOH 0.1 N).
- 0.1 ml de solución B (Solución de CuSO_4 al 0.5% en agua destilada).

*Preparar al momento de usarse.

2) Preparar reactivo de Folin-Ciocalteu diluido 1:4 en agua destilada.

3) Construir la curva estándar con albúmina bovina (BSA) 2 mg/ml con agua destilada

Preparación de la curva estándar

Agregar en cada tubo los μl correspondientes de BSA y el agua doble destilada de acuerdo con la siguiente tabla:

Pozo	Concentración de BSA (μg)	BSA (μl)	H_2O (μl)
1	-	0	10
2	0.2	1	9
3	0.4	2	8
4	0.8	4	6
5	1.2	6	4
6	1.6	8	2
7	2.0	10	0

4) Agregar 200 μl de solución de Lowry a cada pozo, mezclar e incubar por 10 minutos a temperatura ambiente en oscuridad.

5) Agregar 20 μl de solución de Folin diluida 1:4, agitar e incubar 15 minutos a temperatura ambiente en oscuridad.

6) Leer la absorbancia a 590 nm.

Lectura de muestras

Se realiza el mismo procedimiento, pero utilizando 10 μl de muestra.

Cálculo de la concentración de proteínas

Los datos de absorbancia obtenidos serán corregidos restando el valor promedio de la absorbancia de las celdas vacías.

Se graficarán los datos obteniendo la curva patrón y se realizara una regresión lineal para obtener la ecuación de la relación absorbancia (y) concentración de proteína (x). despejando x se obtendrá la concentración de proteína:

$$Y = mx + b$$

Una vez calculada la concentración de proteína de cada muestra, se multiplica dependiendo del factor de dilución utilizado en cada ensayo enzimático y finalmente se obtiene el valor promedio de las réplicas que se reporta en mg/ml.

Anexo II. Formato de encuesta (Tomado y modificado de DINAMIA (2013)).

Percepción sobre la calidad y contaminación del aire en la Ciudad de Puebla.

Esta encuesta forma parte del proyecto de investigación del trabajo de tesis de maestría del programa de posgrado en Ciencias Biológicas de la BUAP, cuyo propósito es caracterizar la percepción y conocimiento que tiene la población que vive en la Ciudad de Puebla y su zona conurbada sobre el aire que respira y las implicaciones que puede tener en su salud, así como sí identifica las fuentes de contaminación y la regulación de la calidad del aire.

Con el fin de validar la información, se le pide proporcionar datos generales antes de comenzar la encuesta. Es importante mencionar que la confidencialidad de esta información recabada no será usada con fines de lucro, ni será utilizada con fines políticos, expuesta a terceras personas ni se hará un mal uso de ella.

Tiempo de respuesta estimado: 10 minutos.

1. Fecha en la que realiza esta encuesta
2. Edad
3. Sexo
 - Femenino
 - Masculino
 - Prefiero no decirlo
 - Otro
4. ¿Cuál es su principal ocupación?
5. Máximo grado de estudios
 - Ninguno
 - Primaria
 - Secundaria
 - Preparatoria / bachiller
 - Licenciatura
 - Maestría
 - Doctorado
 - Otro:
6. Colonia en la que vive
7. Si conoce su código postal escríbalo por favor

8. ¿Cuánto tiempo lleva viviendo en la Ciudad de Puebla?

Calidad del aire y salud

La calidad del aire es una cifra que refleja la cantidad de contaminantes presentes en el aire. Cuando la calidad del aire es buena (tiene pocos contaminantes), las personas pueden respirarlo indefinidamente sin que su salud se vea afectada. Cuando es mala pueden darse irritaciones oculares, todo tipo de problemas respiratorios e incluso cardíacos.

9. ¿Cómo considera que es la calidad del aire que respira?

- Muy buena
- Buena
- Regular
- Mala
- Muy mala

10. Mencione tres palabras que justifiquen su respuesta

11. ¿Tiene algún familiar en su domicilio que tenga enfermedades respiratorias crónicas (asma, EPOC, etc.) o del corazón? No por causa del COVID-19*

- Si
- No
- No sé

12. En los últimos 3 meses en la calle, ¿ha sentido...?

- Garganta irritada
- Palpitaciones
- Fatiga sin motivo aparente
- Resequedad en la nariz
- Ojos irritados
- Silbidos al respirar
- Dolor de cabeza
- Falta de aire
- Dolor u opresión de pecho

13. ¿Cree que estos síntomas pueden ser por causa de la contaminación del aire?

- Si
- No
- No sé
- Tal vez

14. Si la respuesta fue afirmativa, indique con tres palabras por que los síntomas pueden ser causados por la contaminación

15. ¿Sabía usted que la contaminación atmosférica puede ...? (Si/No)

- Provocar o agravar enfermedades respiratorias
 - Provocar o agravar enfermedades cardiovasculares
 - Provocar muertes prematuras
16. ¿Cree que pueda estar en riesgo su salud por la contaminación del aire?
- Si
 - No
 - No sé
17. Si la respuesta fue afirmativa indique tres palabras por las cuales la contaminación pone en riesgo su salud
18. La contaminación del aire le preocupa:
- Mucho
 - Algo
 - Poco
 - Nada
19. Mencione tres palabras que justifiquen su respuesta
20. Las personas más afectadas por la contaminación del aire son:
- Niños menores de 5 años
 - Niños de 6 a 12 años
 - Adolescentes de 13 a 17 años
 - Adultos
 - Adultos mayores de 65 años
21. Mencione tres palabras que justifiquen su respuesta

Calidad y contaminación del aire

22. ¿Cuál cree que es lugar donde se respira más aire contaminado?
- Dentro de mi casa
 - En una calle o avenida principal
 - En la central camionera
 - En el parque de mi colonia
 - En mi automóvil
 - En el camión, autobús o RUTA
 - En calles poco transitadas
 - No sé
23. En una escala del 1 al 5 donde 1 es “el que menos contamina” y 5 “el que más contamina” asigne un numero a:
- Comercios y servicios

- Vehículos motorizados
- Hogares
- Industrias
- Tiraderos de basura
- Incendios y quema de leña, carbón, papel, basura, etc.

24. Contamina más:

- Motocicletas
- Automóviles
- Camiones
- Trailers

25. ¿Sabía que los automóviles llegan a contaminar el aire igual o más que las industrias?

- Sí
- No

26. Si la respuesta fue afirmativa indique con tres palabras porque considera que los automóviles contaminan más que la industria

27. ¿Sabía que cada año crece el número de automóviles que circulan por las calles de la ciudad?

- Sí
- No

28. Si su respuesta fue afirmativa indique con tres palabras porque cree que el número de vehículos en la ciudad ha aumentado

29. ¿Sabía que los incendios y la quema de leña, carbón, papel, basura, entre otros aumenta la contaminación del aire?

- Sí
- No

30. Si su respuesta fue afirmativa indique tres palabras que justifiquen su respuesta

31. ¿Considera que el uso del tabaco contribuye a aumentar la contaminación del aire y sus efectos en la salud?

- Sí
- No
- No se

32. Si su respuesta fue afirmativa indique tres palabras que justifiquen su respuesta

33. Es la medida más eficiente para protegerse de la contaminación del aire:

- No hacer ejercicio al aire libre
- Usar tapabocas
- Verificar el automóvil
- Usar el transporte público en lugar del automóvil
- Endurecer los controles y normas de emisión de gases contaminantes
- No salir a la calle
- Incrementar las sanciones a las fábricas y empresas que contaminen el aire
- Aumentar las sanciones a las personas que no verifiquen el automóvil

- Aplicar el “Hoy no circula” en la ciudad
- Mover a las industrias fuera de la ciudad
- Crear áreas libres de vehículos
- Evitar incendios en lotes baldíos y la quema de leña, carbón, papel, basura, etc.

34. De las opciones anteriores la más fácil de aplicar es:

- No hacer ejercicio al aire libre
- Usar tapabocas
- Verificar el automóvil
- Usar el transporte público en lugar del automóvil
- Endurecer los controles y normas de emisión de gases contaminantes
- No salir a la calle
- Incrementar las sanciones a las fábricas y empresas que contaminen el aire
- Aumentar las sanciones a las personas que no verifiquen el automóvil
- Aplicar el “Hoy no circula” en la ciudad
- Mover a las industrias fuera de la ciudad
- Crear áreas libres de vehículos
- Evitar incendios en lotes baldíos y la quema de leña, carbón, papel, basura, etc.

35. ¿Sabe dónde informarse sobre la calidad del aire de la ciudad?

- Sí
- No
- No sé

36. Si respondió sí anote donde por favor:

37. ¿Las medidas tomadas hasta ahora para reducir la contaminación del aire han tenido éxito?

- Sí
- No
- No sé

38. Mencione tres palabras que justifiquen su respuesta

39. Dentro de 10 años la calidad del aire en la ciudad será:

- Muy buena
- Buena
- Regular
- Mala
- Muy mala
- No sé

40. En mi día a día, la contaminación del aire me afecta:

- Mucho
- Algo
- Poco
- Nada
- No sé

41. Pensando en otras ciudades de la República considera que la ciudad de Puebla esta:

- Más contaminada
- Igual de contaminada
- Menos contaminada

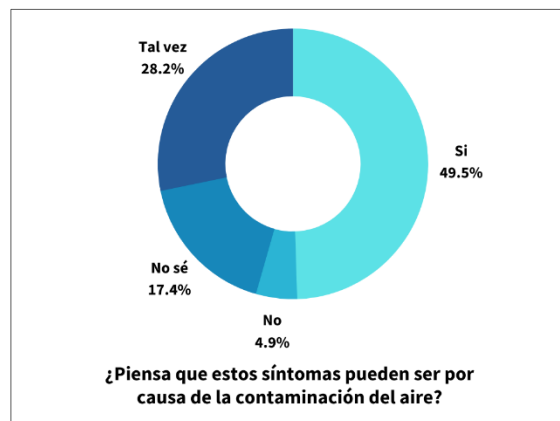
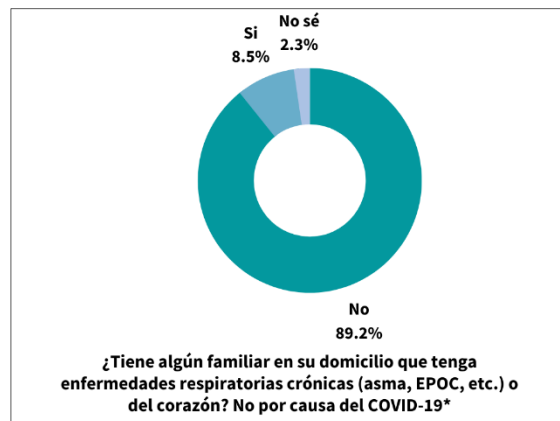
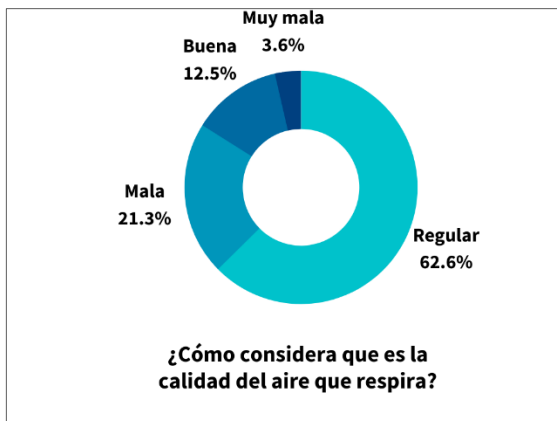
42. Indique quienes son los responsables de regular la calidad del aire en la ciudad.

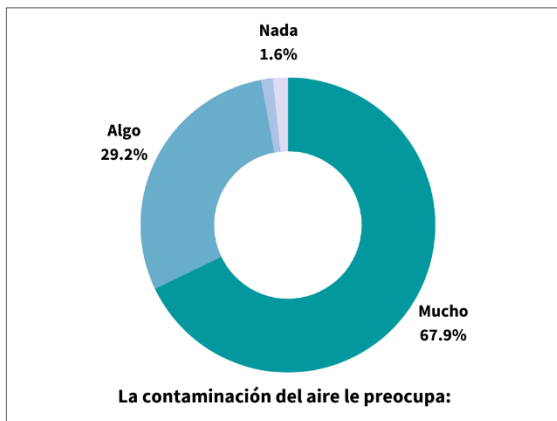
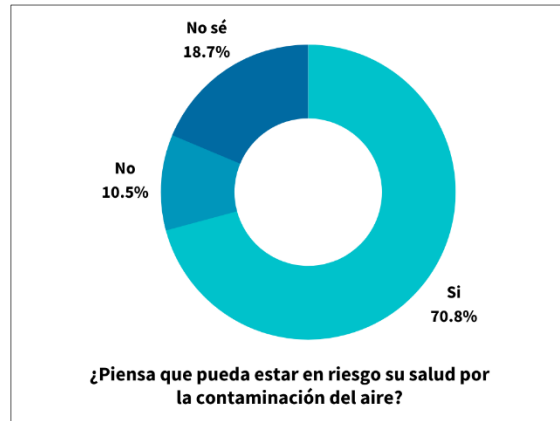
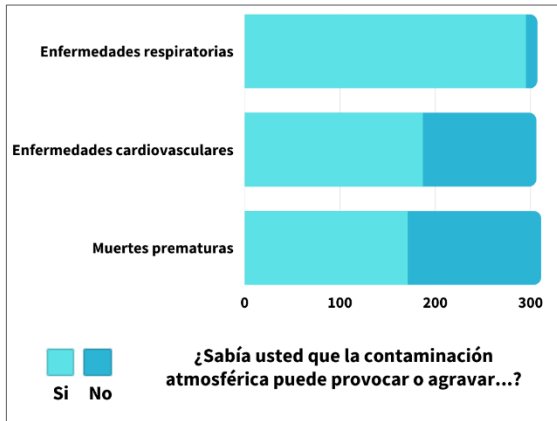
43. Mencione tres acciones que permitan mejorar la calidad del aire en la ciudad.

Gracias por su tiempo.

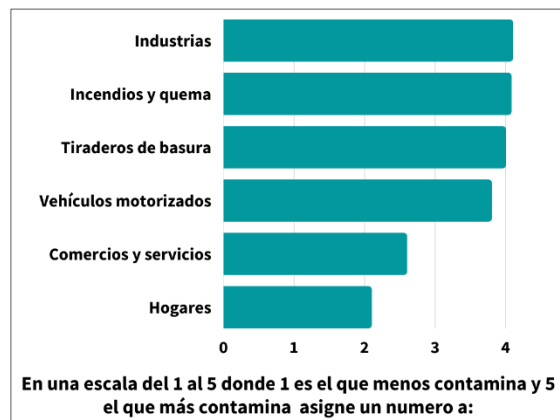
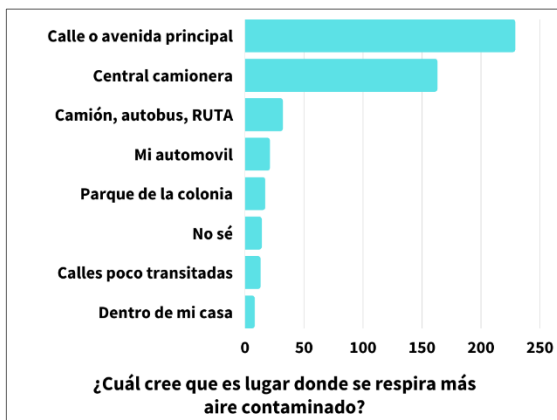
Anexo III. Resultados de la encuesta de percepción social.

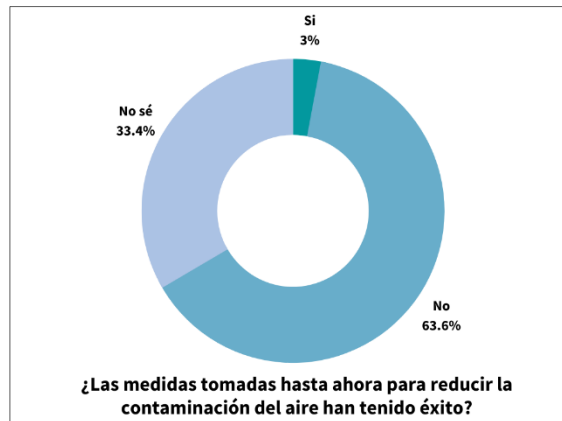
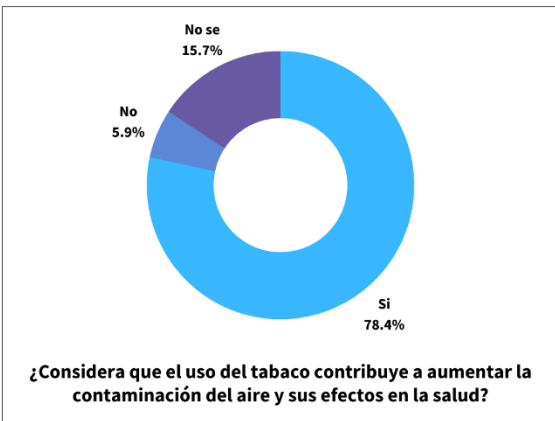
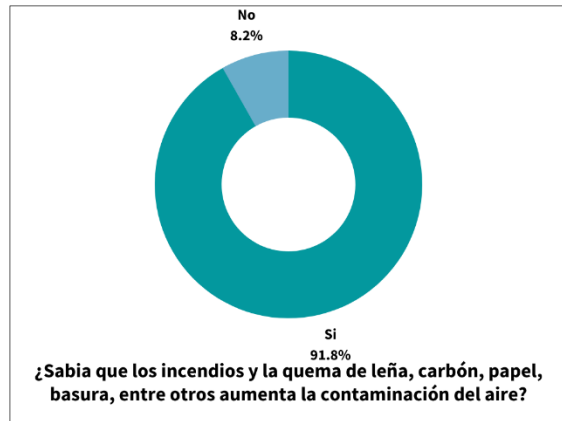
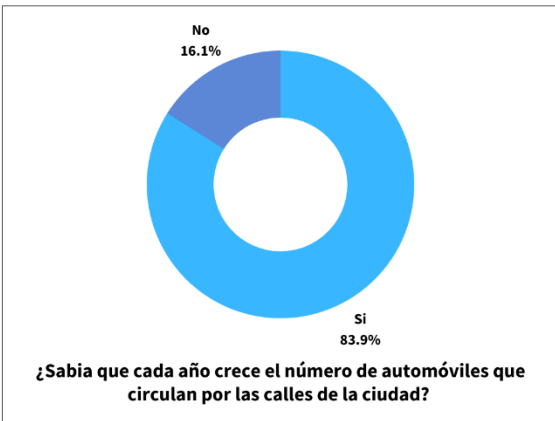
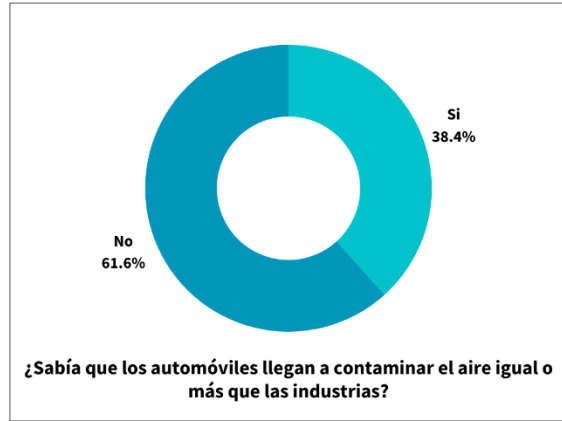
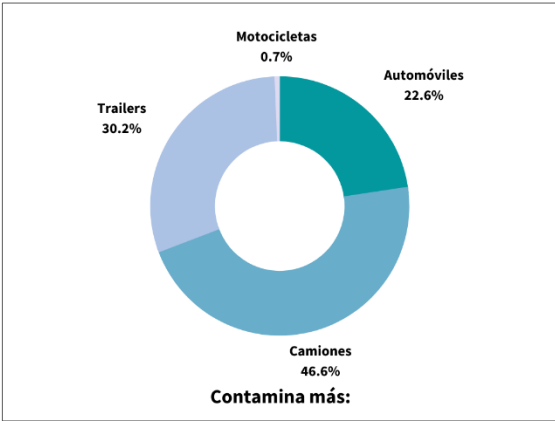
Calidad del aire y salud

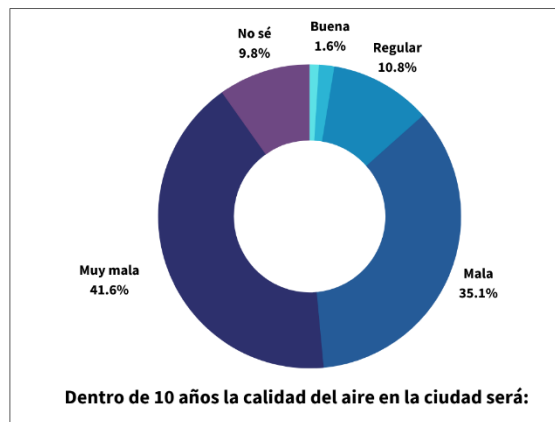
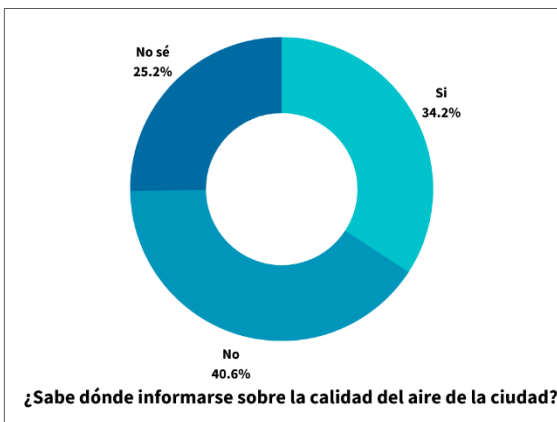
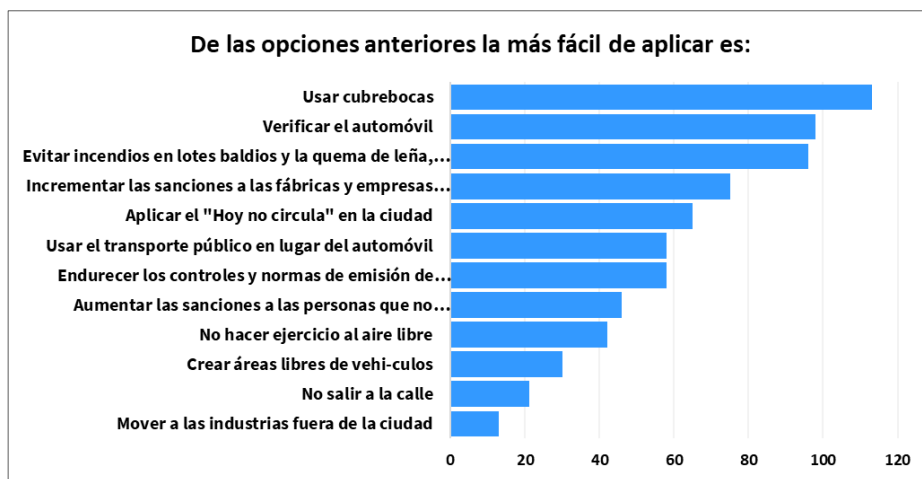
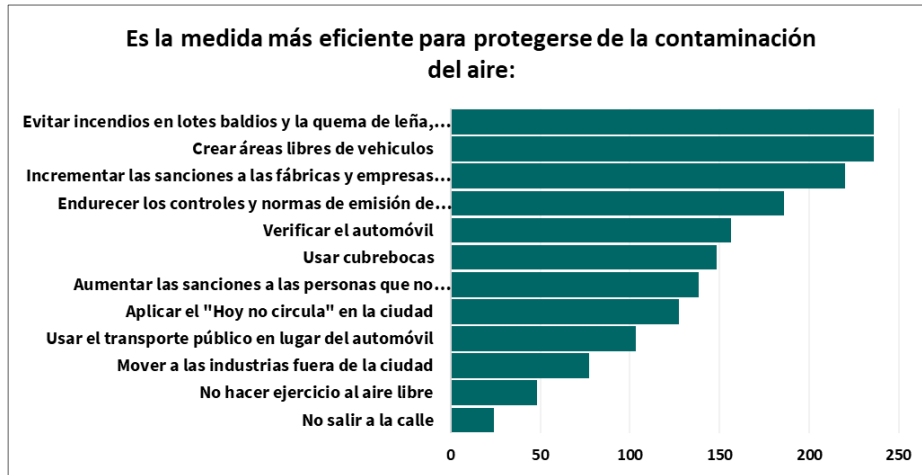


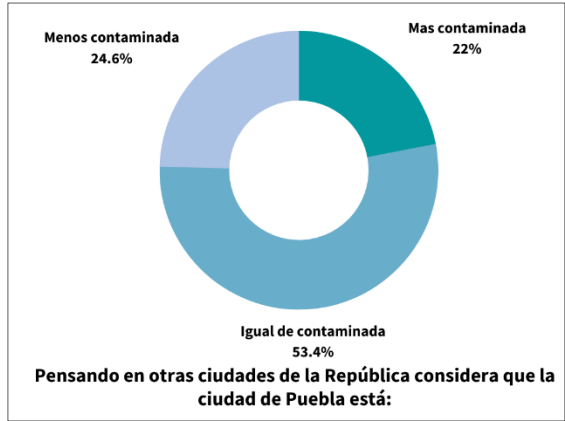
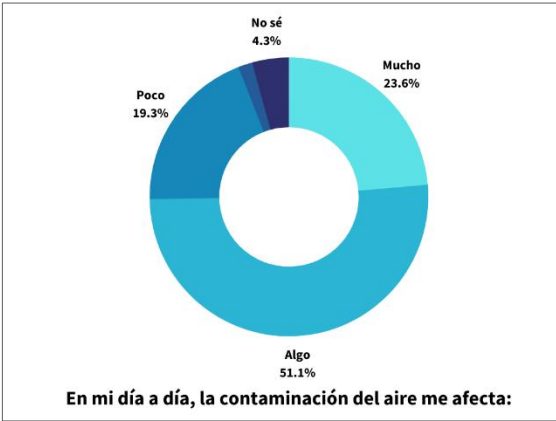


Calidad y contaminación del aire









Anexo IV. Morfometría de las aves

Tabla A. Resultados de la prueba de Levene sobre la homogeneidad de varianzas del peso de las aves (g).

	Muestreo 1	Muestreo 5
Media	1.897727273	1.915909091
Varianza	0.006273784	0.008345666
Estadístico t	-0.997466059	
P(T<=t) dos colas	0.321336655	

Tabla B. Promedios del peso (g.), y longitud del tarso (cm.) de los individuos durante el periodo de estudio.

		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	
Ninfas	Peso	Media ± e.e.	19.0 ± 0.26	18.5 ± 0.30	18.0 ± 0.09	17.76 ± 0.29	16.61 ± 0.40
		Mínimo	18.00	17.00	17.00	17.00	13.00
		Máximo	21.00	20.00	20.00	20.00	18.00
	Tarso	Media ± e.e.	1.85 ± 0.02	-	-	-	1.86 ± 0.02
		Mínima	1.70	-	-	-	1.70
		Máxima	2.00	-	-	-	2.00
Velódromo	Peso	Media ± e.e.	19.42 ± 0.21	18.89 ± 0.21	18.75 ± 0.19	18.43 ± 0.18	17.55 ± 0.22
		Mínimo	16.00	16.00	17.00	17.00	13.00
		Máximo	21.00	21.00	21.00	21.00	20.00
	Tarso	Media ± e.e.	1.89 ± 0.11	-	-	-	1.91 ± 0.01
		Mínimo	1.70	-	-	-	1.70
		Máximo	2.10	-	-	-	2.10
UTP	Peso	Media ± e.e.	19.45 ± 0.26	18.52 ± 0.22	18.36 ± 0.18	18.33 ± 0.21	17.41 ± 0.28
		Mínimo	16.00	16.00	17.00	17.00	13.00
		Máximo	21.00	20.00	20.00	20.00	19.00
	Tarso	Media ± e.e.	1.89 ± 0.01	-	-	-	1.90 ± 0.02
		Mínimo	1.70	-	-	-	1.70
		Máximo	2.10	-	-	-	2.10
Agua Santa	Peso	Media ± e.e.	19.63 ± 0.19	18.59 ± 0.21	18.45 ± 0.18	18.10 ± 0.17	17.19 ± 0.21
		Mínima	16.00	14.00	15.00	15.00	13.00
		Máxima	22.00	21.00	21.00	21.00	20.00
	Tarso	Media ± e.e.	1.89 ± 0.01	-	-	-	1.91 ± 0.01
		Mínima	1.70	-	-	-	1.70
		Máxima	2.10	-	-	-	2.10

Anexo V. Contaminantes criterio

Tabla A. Estadísticos descriptivos de los contaminantes criterio enero – mayo 2021.

Contaminante criterio	Media	Mínimo	Máximo	Error estándar
CO (ppm)	0.78705	0.229	2.1501	0.121532
NO ₂ (ppm)	0.0164	0.003	0.075	0.000705
O ₃ (ppm)	0.03675	0.004	0.115	0.002105
PM _{2.5} (µg/m ³)	21.9173	6.755	51.281	0.797443
PM ₁₀ (µg/m ³)	64.43545	17.458	168.634	2.917596
SO ₂ (ppm)	0.00225	0.0011	0.0027	0.000239

Tabla B. Valores semanales promedio de contaminantes criterio previos a los muestreos realizados por estación de monitoreo automático.

CO (ppm)	M1	M2	M3	M4	M5
NINFAS	0.302	0.557	0.372	0.335	0.381
AGUA SANTA	0.565	0.604	0.323	0.229	0.272
UTP	0.703	0.812	0.713	0.710	0.747
VELODROMO	1.751	1.877	1.717	1.078	1.693

PM _{2.5} (µg/m ³)	M1	M2	M3	M4	M5
NINFAS	14.155	21.857	18.804	17.147	20.054
AGUA SANTA	22.696	28.319	23.827	22.795	29.281
UTP	18.138	23.102	21.767	23.630	23.187
VELODROMO	18.330	24.426	21.466	21.191	24.174

NO ₂ (ppm)	M1	M2	M3	M4	M5
NINFAS	0.014	0.023	0.015	0.014	0.018
AGUA SANTA	0.018	0.019	0.015	0.014	0.017
UTP	0.018	0.022	0.017	0.016	0.018
VELODROMO	0.013	0.009	0.016	0.014	0.018

PM ₁₀ (µg/m ³)	M1	M2	M3	M4	M5
NINFAS	71.378	83.652	68.158	86.634	66.887
AGUA SANTA	57.199	75.601	61.090	65.099	64.881
UTP	55.735	62.109	54.466	70.348	50.685
VELODROMO	44.485	34.458	72.066	82.961	60.817

O ₃ (ppm)	M1	M2	M3	M4	M5
NINFAS	0.029	0.036	0.026	0.037	0.043
AGUA SANTA	0.019	0.013	0.010	0.014	0.034
UTP	0.025	0.032	0.020	0.031	0.042
VELODROMO	0.025	0.032	0.026	0.023	0.038

SO ₂ (ppm)	M1	M2	M3	M4	M5
NINFAS	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002
AGUA SANTA	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003
UTP	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002
VELODROMO	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004

Tabla C. Calidad del aire por días durante los meses de enero a mayo 2021 (SMADSOT, 2022).

Parámetro	Días			
	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
PM ₁₀	24	76	40	0
PM _{2.5}	19	119	2	0
O ₃	70	61	9	0
Total	113	258	49	0
Porcentaje	27%	61%	12%	0%

Anexo VI. Temperatura y humedad relativa

Tabla A. Temperatura y humedad relativa promedio, mínima y máxima mensual para cada estación de monitoreo atmosférico automático (°C y % respectivamente).

			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Ninfas	Temperatura	Media ± e.e.	15.09 ± 0.08	16.03 ± 0.09	18.52 ± 0.09	19.81 ± 0.08	19.05 ± 0.06
		Mínima	4.81	5.88	7.60	8.63	12.01
		Máxima	27.01	26.47	30.94	29.98	26.91
	Humedad relativa	Media ± e.e.	51.15 ± 0.32	38.31 ± 0.31	38.13 ± 0.30	38.52 ± 0.29	54.43 ± 0.30
		Mínima	9.84	9.39	6.83	8.85	10.45
		Máxima	88.29	75.94	76.59	81.00	90.71
Velódromo	Temperatura	Media ± e.e.	15.49 ± 0.20	16.12 ± 0.31	19.24 ± 0.29	20.72 ± 0.21	19.95 ± 0.16
		Mínima	1.98	3.64	7.63	6.46	10.27
		Máxima	29.42	28.17	31.84	31.29	28.53
	Humedad relativa	Media ± e.e.	43.24	48.53	47.03	52.77	41.33
		Mínima	7.00	9.00	8.00	6.00	9.00
		Máxima	92.00	95.00	97.00	89.00	96.00
UTP	Temperatura	Media ± e.e.	13.88 ± 0.09	14.17 ± 0.12	17.17 ± 0.08	18.52 ± 0.10	17.84 ± 0.07
		Mínima	3.11	4.22	4.44	5.94	9.17
		Máxima	25.61	26.11	29.22	29.28	26.50
	Humedad relativa	Media ± e.e.	61.77 ± 0.36	47.27 ± 0.42	47.81 ± 0.27	48.60 ± 0.34	65.10 ± 0.34
		Mínima	11.00	12.00	8.00	14.00	19.00
		Máxima	95.00	89.00	90.00	88.00	94.00
Agua Santa	Temperatura	Media ± e.e.	14.32 ± 0.09	15.50 ± 0.10	17.86 ± 0.10	19.31 ± 0.10	18.53 ± 0.07
		Mínima	2.39	2.72	4.56	7.61	10.56
		Máxima	27.28	26.56	30.06	29.94	27.89
	Humedad relativa	Media ± e.e.	56.53 ± 0.40	40.51 ± 0.39	41.44 ± 0.38	40.71 ± 0.37	59.80 ± 0.39
		Mínima	9.00	7.00	8.00	8.00	9.00
		Máxima	97.00	93.00	89.00	90.00	96.00

Anexo VII. Biomarcadores de estrés oxidativo

Tabla A. Media, mínimo, máximo, desviación y error estándar del biomarcador arginasa (mg ARG/proteína total).

Ninfas	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.00199	0.00125	0.00316	0.00054	0.00016
Muestreo 2	0.00397	0.00267	0.00610	0.00111	0.00034
Muestreo 3	0.00106	0.00093	0.00141	0.00013	0.00004
Muestreo 4	0.00189	0.00087	0.00383	0.00088	0.00027
Muestreo 5	0.00093	0.00069	0.00129	0.00015	0.00005

UTP	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.00170	0.00110	0.00211	0.00030	0.00009
Muestreo 2	0.00444	0.00155	0.00775	0.00190	0.00057
Muestreo 3	0.00086	0.00047	0.00109	0.00018	0.00005
Muestreo 4	0.00155	0.00080	0.00271	0.00065	0.00020
Muestreo 5	0.00070	0.00057	0.00108	0.00016	0.00005

Velódromo	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.00159	0.00104	0.00218	0.00033	0.00010
Muestreo 2	0.00379	0.00238	0.00568	0.00099	0.00030
Muestreo 3	0.00072	0.00028	0.00099	0.00021	0.00006
Muestreo 4	0.00078	0.00057	0.00103	0.00014	0.00004
Muestreo 5	0.00064	0.00055	0.00075	0.00006	0.00002

Agua Santa	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.00190	0.00134	0.00306	0.00044	0.00013
Muestreo 2	0.00196	0.00170	0.00223	0.00018	0.00005
Muestreo 3	0.00066	0.00058	0.00076	0.00005	0.00001
Muestreo 4	0.00069	0.00047	0.00092	0.00014	0.00004
Muestreo 5	0.00068	0.00057	0.00076	0.00005	0.00002

Tabla B. Media, mínimo, máximo, desviación y error estándar del biomarcador glutatión-s-transferasa (nmol/min/mg proteína total).

Ninfas	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.05659	0.00608	0.14838	0.04233	0.01276
Muestreo 2	0.02809	0.00360	0.05347	0.01408	0.00425
Muestreo 3	0.01775	0.01543	0.02145	0.00142	0.00043
Muestreo 4	0.03561	0.01637	0.07112	0.01780	0.00537
Muestreo 5	0.02449	0.01767	0.03643	0.00462	0.00139

UTP	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.14162	0.02453	0.24604	0.06447	0.01944
Muestreo 2	0.04698	0.02024	0.08219	0.02029	0.00612
Muestreo 3	0.01506	0.01102	0.02078	0.00288	0.00087
Muestreo 4	0.04326	0.02177	0.08473	0.02190	0.00660
Muestreo 5	0.02236	0.01834	0.02988	0.00292	0.00088

Velódromo	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.23128	0.02313	0.54875	0.17770	0.05358
Muestreo 2	0.04538	0.02959	0.07028	0.01127	0.00340
Muestreo 3	0.01313	0.01047	0.01539	0.00152	0.00046
Muestreo 4	0.01983	0.01204	0.02421	0.00313	0.00094
Muestreo 5	0.02311	0.01947	0.02652	0.00200	0.00060

Agua Santa	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.11460	0.02712	0.21948	0.07561	0.02280
Muestreo 2	0.01814	0.01442	0.02223	0.00239	0.00072
Muestreo 3	0.01271	0.01130	0.01461	0.00103	0.00031
Muestreo 4	0.02982	0.01611	0.06040	0.01511	0.00456
Muestreo 5	0.02110	0.01600	0.02595	0.00320	0.00096

Tabla C. Media, mínimo, máximo, desviación y error estándar del biomarcador malondialdehído (nM de MDA).

Ninfas	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.	Velódromo	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.01809	0.00915	0.03432	0.00650	0.00196	Muestreo 1	0.01017	0.00686	0.01373	0.00268	0.00081
Muestreo 2	0.02679	0.00469	0.04447	0.01047	0.00316	Muestreo 2	0.04189	0.02713	0.06487	0.01193	0.00360
Muestreo 3	0.04885	0.03614	0.05520	0.00492	0.00148	Muestreo 3	0.05682	0.03886	0.08153	0.01389	0.00419
Muestreo 4	0.02273	0.00399	0.03921	0.00951	0.00287	Muestreo 4	0.02923	0.00751	0.04508	0.01152	0.00347
Muestreo 5	0.03996	0.01090	0.06721	0.01564	0.00472	Muestreo 5	0.04228	0.02271	0.05904	0.01301	0.00392

UTP	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.	Agua Santa	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.03608	0.00229	0.08581	0.02097	0.00632	Muestreo 1	0.02416	0.00114	0.04348	0.01257	0.00379
Muestreo 2	0.04837	0.01591	0.09241	0.02340	0.00706	Muestreo 2	0.04912	0.00877	0.08527	0.02478	0.00747
Muestreo 3	0.06274	0.04249	0.08789	0.01180	0.00356	Muestreo 3	0.05452	0.01616	0.09243	0.02083	0.00628
Muestreo 4	0.03945	0.01925	0.06034	0.01234	0.00372	Muestreo 4	0.04391	0.01221	0.08265	0.01987	0.00599
Muestreo 5	0.05914	0.03451	0.08629	0.01257	0.00379	Muestreo 5	0.03981	0.02089	0.05631	0.00846	0.00255

Tabla D. Media, mínimo, máximo, desviación y error estándar del biomarcador metilgloxal (unidades de MGO/ mg proteína total).

Ninfas	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.	Velódromo	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.10022	0.02947	0.21288	0.05467	0.01648	Muestreo 1	0.11633	0.02471	0.23605	0.05669	0.01709
Muestreo 2	0.58157	0.06710	1.53655	0.40367	0.12171	Muestreo 2	0.67954	0.34298	1.12995	0.22890	0.06902
Muestreo 3	0.10784	0.03009	0.15441	0.03030	0.00914	Muestreo 3	0.11219	0.07780	0.13067	0.01629	0.00491
Muestreo 4	0.13399	0.08896	0.25838	0.04509	0.01359	Muestreo 4	0.11775	0.04795	0.19315	0.04428	0.01335
Muestreo 5	0.32658	0.20675	0.46072	0.07105	0.02142	Muestreo 5	0.36261	0.30228	0.44353	0.04479	0.01350

UTP	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.	Agua Santa	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.11438	0.00342	0.24717	0.06686	0.02016	Muestreo 1	0.03677	0.00253	0.12813	0.03537	0.01067
Muestreo 2	0.64058	0.19817	1.10383	0.26935	0.08121	Muestreo 2	0.28227	0.20306	0.48047	0.07178	0.02164
Muestreo 3	0.12425	0.03794	0.17522	0.04177	0.01259	Muestreo 3	0.12477	0.09974	0.14679	0.01214	0.00366
Muestreo 4	0.26296	0.13403	0.56954	0.14770	0.04453	Muestreo 4	0.12117	0.02455	0.20287	0.04628	0.01395
Muestreo 5	0.38813	0.25912	0.49213	0.05911	0.01782	Muestreo 5	0.35472	0.26672	0.44971	0.04832	0.01457

Tabla E. Media, mínimo, máximo, desviación y error estándar del biomarcador mieloperoxidasa (unidades de MPO/ mg proteína total).

Ninfas	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.10022	0.02947	0.21288	0.05467	0.01648
Muestreo 2	0.58157	0.06710	1.53655	0.40367	0.12171
Muestreo 3	0.10784	0.03009	0.15441	0.03030	0.00914
Muestreo 4	0.13399	0.08896	0.25838	0.04509	0.01359
Muestreo 5	0.32658	0.20675	0.46072	0.07105	0.02142

Velódromo	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.11633	0.02471	0.23605	0.05669	0.01709
Muestreo 2	0.67954	0.34298	1.12995	0.22890	0.06902
Muestreo 3	0.11219	0.07780	0.13067	0.01629	0.00491
Muestreo 4	0.11775	0.04795	0.19315	0.04428	0.01335
Muestreo 5	0.36261	0.30228	0.44353	0.04479	0.01350

UTP	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.11438	0.00342	0.24717	0.06686	0.02016
Muestreo 2	0.64058	0.19817	1.10383	0.26935	0.08121
Muestreo 3	0.12425	0.03794	0.17522	0.04177	0.01259
Muestreo 4	0.26296	0.13403	0.56954	0.14770	0.04453
Muestreo 5	0.38813	0.25912	0.49213	0.05911	0.01782

Agua Santa	Media	Mínimo	Máximo	Desv. est.	Error est.
Muestreo 1	0.03677	0.00253	0.12813	0.03537	0.01067
Muestreo 2	0.28227	0.20306	0.48047	0.07178	0.02164
Muestreo 3	0.12477	0.09974	0.14679	0.01214	0.00366
Muestreo 4	0.12117	0.02455	0.20287	0.04628	0.01395
Muestreo 5	0.35472	0.26672	0.44971	0.04832	0.01457

Tabla F. Media, mínimo, máximo, desviación y error estándar del biomarcador POAP ($\mu\text{mol/L}$ /mg proteína total).

Ninfas	Media	Minimo	Maximo	Desv.est.	Error est.
Muestreo 1	3.29282	2.47379	3.62870	0.32105	0.09680
Muestreo 2	1.35466	0.06656	3.59989	1.12428	0.33898
Muestreo 3	0.71716	0.39911	0.95930	0.12774	0.03852
Muestreo 4	0.80326	0.17538	1.38981	0.33852	0.10207
Muestreo 5	0.29846	0.07868	0.48348	0.12674	0.03821

Velódromo	Media	Minimo	Maximo	Desv.est.	Error est.
Muestreo 1	2.81665	1.53992	4.41387	0.68756	0.20731
Muestreo 2	1.82125	0.47919	2.92321	0.80008	0.24123
Muestreo 3	0.71091	0.42499	1.04537	0.19289	0.05816
Muestreo 4	0.69611	0.10841	1.64107	0.46802	0.14111
Muestreo 5	0.69208	0.28333	1.55480	0.33327	0.10049

UTP	Media	Minimo	Maximo	Desv.est.	Error est.
Muestreo 1	2.29488	0.72510	4.20357	0.88431	0.26663
Muestreo 2	2.78207	0.86976	5.27034	1.63330	0.49246
Muestreo 3	0.76035	0.10330	1.26558	0.35197	0.10612
Muestreo 4	2.24426	0.62778	5.16878	1.52915	0.46106
Muestreo 5	0.36416	0.09675	0.76064	0.19336	0.05830

Agua Santa	Media	Minimo	Maximo	Desv.est.	Error est.
Muestreo 1	2.73542	1.60054	3.83496	0.66144	0.19943
Muestreo 2	1.19063	0.17350	2.28444	0.54612	0.16466
Muestreo 3	0.70774	0.57244	0.86601	0.07814	0.02356
Muestreo 4	1.28395	0.04777	3.14694	1.07424	0.32390
Muestreo 5	0.63102	0.09144	1.10799	0.32653	0.09845

Anexo VIII. Correlación de variables climáticas y biomarcadores de estrés oxidativo

Tabla A. Parámetros climáticos, contaminantes criterio y biomarcadores analizados (valor promedio por muestreo).

Estación	Muestreo	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ (ppm)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	SO ₂ (ppm)
NIN	M1	16.1304	40.2129	0.3023	0.0144	0.02924699	14.1547	71.3781	0.0013
UTP	M1	14.8133	49.3422	0.7028	0.0176	0.02484242	18.1383	55.7345	0.0008
VEL	M1	15.4245	43.2466	1.7514	0.013	0.02530357	18.3295	44.4846	0.0036
STA	M1	16.5441	47.1872	0.5652	0.0178	0.0194	22.6957	57.199	0.0028
NIN	M2	19.2335	35.6096	0.5573	0.0227	0.03598171	21.8571	83.6521	0.0018
UTP	M2	16.0016	49.2405	0.8117	0.022	0.0317485	23.1021	62.1086	0.0011
VEL	M2	18.4024	48.5358	1.8768	0.0091	0.0322	24.426	34.4578	0.0034
STA	M2	18.4895	38.9097	0.6038	0.0189	0.01333929	28.3188	75.6014	0.0027
NIN	M3	18.7401	40.9263	0.3715	0.0149	0.02618354	18.8035	68.1578	0.001
UTP	M3	17.3788	51.8214	0.7131	0.017	0.02005096	21.7669	54.4656	0.001
VEL	M3	19.6131	47.0344	1.7169	0.01573	0.02611111	21.4658	72.0655	0.0033
STA	M3	17.9508	44.5752	0.3234	0.0153	0.01011585	23.8271	61.0902	0.002
NIN	M4	18.6116	41.0732	0.3348	0.014	0.03730968	17.1472	86.6343	0.0015
UTP	M4	17.7119	49.0086	0.7098	0.0158	0.0305	23.6296	70.3478	0.0012
VEL	M4	19.2329	52.7737	1.0777	0.01446	0.02305422	21.1905	82.9606	0.004
STA	M4	18.0573	42.8973	0.2287	0.0136	0.01356173	22.7948	65.0987	0.002
NIN	M5	20.8294	34.8463	0.3813	0.0182	0.0430119	20.0535	66.8869	0.0019
UTP	M5	19.4577	46.7187	0.7469	0.0183	0.0419521	23.1867	50.6845	0.0015
VEL	M5	21.3918	41.3372	1.6925	0.0177	0.03793452	24.1738	60.8174	0.0038
STA	M5	20.3161	35.0808	0.2724	0.0166	0.03386905	29.2814	64.8809	0.0026

Continuación: **Tabla A.** Parámetros climáticos, contaminantes criterio y biomarcadores analizados (valor promedio por muestreo).

Estación	Muestreo	TARSO (cm)	PESO (g)	Arginasa (mg ARG/proteína total)	Glutación-S-Transferasa (nmol/min/mg proteína total)	Malondialdehído (nM de MDA)	Metilglioxal (unidades de MGO/ mg proteína total)	Mieloperoxidasa (unidades de MPO/ mg proteína total)	Productos de oxidación avanzados de proteínas ((μ mol/L) /mg proteína total)
NIN	M1	1.86	19	0.0020	0.0566	0.0164	0.0911	0.0002	3.2928
UTP	M1	1.95	19.9	0.0017	0.1416	0.0295	0.1040	0.0002	2.2949
VEL	M1	1.92	19.36	0.0016	0.2313	0.0102	0.0952	0.0003	2.8166
STA	M1	1.91	20.27	0.0019	0.1146	0.0198	0.0368	0.0003	2.7354
NIN	M2	1.86	18.5	0.0040	0.0281	0.0268	0.5287	0.0003	1.3547
UTP	M2	1.95	18.54	0.0044	0.0470	0.0484	0.4097	0.0005	2.7821
VEL	M2	1.92	19.63	0.0038	0.0454	0.0419	0.4942	0.0004	1.8213
STA	M2	1.91	17.7	0.0020	0.0181	0.0491	0.2566	0.0002	1.1906
NIN	M3	1.86	18	0.0011	0.0178	0.0488	0.1078	0.0002	0.7172
UTP	M3	1.95	18.72	0.0009	0.0151	0.0627	0.1242	0.0002	0.7604
VEL	M3	1.92	19.54	0.0007	0.0131	0.0568	0.1122	0.0002	0.7109
STA	M3	1.91	17.54	0.0007	0.0127	0.0545	0.1248	0.0002	0.7077
NIN	M4	1.86	17.76	0.0019	0.0356	0.0207	0.1340	0.0002	0.8033
UTP	M4	1.95	18.9	0.0016	0.0433	0.0394	0.2630	0.0005	2.2443
VEL	M4	1.92	18.63	0.0008	0.0198	0.0292	0.1178	0.0002	0.6961
STA	M4	1.91	17.1	0.0007	0.0298	0.0439	0.1212	0.0003	1.2840
NIN	M5	1.86	16.62	0.0009	0.0245	0.0400	0.3266	0.0001	0.2713
UTP	M5	1.95	18.14	0.0007	0.0224	0.0591	0.3881	0.0002	0.3642
VEL	M5	1.92	17.81	0.0006	0.0231	0.0423	0.3626	0.0002	0.6292
STA	M5	1.91	16.12	0.0007	0.0211	0.0398	0.3547	0.0002	0.6310

Tabla B. Componentes principales del análisis realizado.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8
Desviación estándar	2.1547	1.6866	1.5819	1.4188	1.02935	0.9699	0.92219	0.71954
Proporción de varianza	0.2902	0.1778	0.1564	0.1258	0.06622	0.0588	0.05315	0.03236
Proporción acumulativa	0.2902	0.468	0.6244	0.7502	0.81641	0.8752	0.92836	0.96072
	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15	CP16
Desviación estándar	0.42695	0.42236	0.3395	0.29065	0.225	0.1077	0.06606	0.03916
Proporción de varianza	0.01139	0.01115	0.0072	0.00528	0.00316	0.00072	0.00027	0.0001
Proporción acumulativa	0.97211	0.98326	0.9905	0.99574	0.99891	0.99963	0.9999	1

Anexo IX. Participación en congresos



HÉCTOR GONZÁLEZ OREA
BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
PRESENTE

Estimado(a) HÉCTOR GONZÁLEZ OREA

Por este medio me permito informarle que su trabajo titulado **“PERCEPCIÓN SOCIAL DE LA CALIDAD DEL AIRE DE LA CIUDAD DE PUEBLA, MAYO 2021.”** fue **ACEPTADO** para participar en la modalidad **CARTEL** dentro del 11er. Congreso Internacional “La Investigación en el Posgrado” en la **Mesa 1: Ciencias Biológicas y Agropecuarias**, que tendrá lugar los días 13, 14, y 15 de octubre del presente año de manera virtual.

El cartel deberá de cargarse en formato PDF, JPG o PNG, con calidad 150 dpi y con un tamaño máximo de 5 megas y subirse al sistema informático del Congreso, etiquetando el archivo con el nombre completo del autor y la mesa temática en un máximo de 20 caracteres a más tardar el 1 de octubre de 2021 con la finalidad de que el equipo del Congreso tenga la oportunidad de preparar su exhibición durante los tres días del Congreso y tenerlo listo para su presentación en la sesión de evaluación. En la página 4 de la convocatoria podrá revisar las especificaciones de los carteles.

Le solicitamos confirmar su participación en el Congreso antes del 3 de septiembre en el apartado de Depósito del sistema en línea, esto para efectos de logística y elaboración de material. Aquellas personas que no confirmen su participación no serán consideradas en el programa del evento, ni se generará la constancia de participación correspondiente.

El programa específico se podrá consultar en la página del Congreso a partir del 1 de octubre del presente año.

Le informamos que se ofrecerán talleres para su formación profesional sin costo y con cupo limitado, por lo que le sugerimos estar pendiente en la página del congreso para realizar el registro.

La información del programa académico, de los talleres a ofertar, así como de las actividades académicas y culturales, se podrá consultar en el siguiente enlace: <http://posgrados.dgip.uaa.mx/congreso/ciip-2021/>

- Conferencias
- Mesas redondas
- Presentación de ponencias
- Presentación de carteles
- Talleres

Le recordamos realizar el pago de participación, considerando las siguientes fechas. Para mayor información de cómo realizar el pago, consulte este enlace: <https://bit.ly/344YG8t>

Pago hasta el 31 de agosto	Durante septiembre	Del 1 al 14 de octubre
\$ 400.00	\$ 450.00	\$ 550.00

Sin más por el momento me despido de Usted, aprovechando la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"SE LUMEN PROFERRE"
Aguascalientes, 27 de Agosto de 2021

Elizabeth Casillas

DRÁ. ELIZABETH CASILLAS CASILLAS
PRESIDENTE DEL COMITÉ ORGANIZADOR
DIRECTORA GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CONSTANCIA

a:

**LIC. HÉCTOR GONZÁLEZ OREA; M. EN C. MA. CONCEPCIÓN
LÓPEZ TÉLLEZ; DR. EN C. OCTAVIO GAMALIEL AZTATZI
AGUILAR; DRA. EN C. ANGÉLICA TRUJILLO HERNÁNDEZ**

por su participación en la **Modalidad de Carteles**
en la mesa de **Ciencias Biológicas y Agropecuarias**

dentro del



**CONGRESO
INTERNACIONAL
LA INVESTIGACIÓN
EN EL POSGRADO
EDICIÓN VIRTUAL**

Se Lumen Proferre

Aguascalientes, Ags., 13, 14 y 15 de octubre de 2021

Dr. en C. Francisco Javier Avelar González
Rector

Mtra. Elizabeth Casillas Casillas
Directora General de Investigación y Posgrado

POSGRADO