



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**“EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A OZONO
INTRAMUROS Y EXTRAMUROS EN
CINCO ZONAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO
DURANTE LA TEMPORADA DE SECAS-
CALIENTES 2023”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

FRIDA FERNANDA ROMERO LARES



Ciudad Universitaria, CD. MX. 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **Profesor: Luna Pabello Víctor Manuel**
VOCAL: **Profesor: Gutiérrez Lara María Rafaela**
SECRETARIO: **Profesor: Andraca Ayala Gema Luz**
1er. SUPLENTE: **Profesor: Durán Moreno Alfonso**
2° SUPLENTE: **Profesor: García González Sergio Adrián**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Asesora del tema:

GEMA LUZ ANDRACA AYALA

Supervisor técnico:

IVÁN YASSMANY HERNÁNDEZ PANIAGUA

SUSTENTANTE:

FRIDA FERNANDA ROMERO LARES

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México junto con la Facultad de química por sus espacios, oportunidades, beneficios, todos los años de formación y enseñanzas.

Al Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático por compartir sus instalaciones con el alumnado, específicamente en el laboratorio de cromatografía líquida.

Investigación “Evaluación del estrés oxidante y la inflamación causada por la exposición personal a ozono durante condiciones episódicas y no episódicas en la Ciudad de México” realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT). Clave IA205023. Con número de becario B231583. Agradezco a la DGAPA-UNAM la beca recibida.

A la Dra. Gema Luz Andraca Ayala por darme la oportunidad de formar parte de su laboratorio y permitirme participar activamente en el proceso experimental. Por su orientación experta, paciencia y apoyo constante fueron fundamentales para el progreso del proyecto y personal.

Al Dr. Iván Yassmany Hernández Paniagua por la confianza depositada en mí al formar parte de este proyecto. Su guía y mentoría a lo largo del proceso investigativo, así como sus recomendaciones para la redacción y análisis de resultados.

Agradecer a los miembros del Laboratorio de Cromatografía Líquida que contribuyeron con su conocimiento y mejoraron el proceso. En especial a la M. en C. Lida Andrea Solórzano García cuya experiencia en cromatografía fue fundamental para superar numerosos obstáculos.

Al equipo de ozono: Noemi y Ana por ser parte del arduo trabajo del laboratorio, todas las horas de inyección y las tapas atoradas no hubieran sido divertidas sin ustedes.

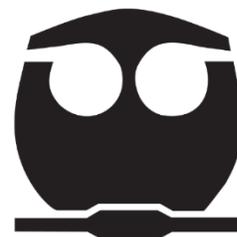
Al jurado de tesis el Dr. Víctor Manuel Luna Pabello y la M. en C. María Rafaela Gutiérrez Lara por su tiempo dedicado, sus valiosos consejos y constructivas sugerencias que han contribuido al enriquecimiento y mejora de este escrito.

Al Q. José Manuel Hernández Solís por su atención y apoyo en uso de equipo e instalación durante el proyecto y la capacitación.

También agradecer a todos los voluntarios que trabajaron cada semana, dedicando tiempo a registrar sus actividades y haciendo espacio para todo lo que implicó este trabajo.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación o Graduación con trabajo escrito)**

De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la Institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado Evaluación de la exposición a ozono intramuros y extramuros en cinco zonas de la Ciudad de México durante la temporada de secas-calientes 2023 que presenté para obtener el título/grado de Ingeniera química original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por la Facultad de Química, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación/graduación.

Atentamente

Frida Fernanda Romero Lares

Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen..... | 10 |
| 1 Introducción..... | 11 |
| 2 Antecedentes | 11 |
| 2.1 Ozono | 11 |
| 2.1.1 Características..... | 11 |
| 2.1.2 Historia..... | 12 |
| 2.2 Ozono estratosférico..... | 13 |
| 2.2.1 Ciclo de Chapman | 13 |
| 2.3 Ozono troposférico..... | 14 |
| 2.4 Efectos del ozono..... | 15 |
| 2.4.1 Personas..... | 15 |
| 2.4.2 Vegetación..... | 16 |
| 2.5 Política ambiental en México | 17 |
| 2.5.1 Calidad del aire | 18 |
| 2.5.2 Límite permisible de ozono | 19 |
| 2.6 Monitoreo ambiental en Ciudad de México..... | 20 |
| 2.7 Ozono en la Ciudad de México y sus alrededores..... | 21 |
| 2.7.1 Comportamiento geográfico..... | 21 |
| 2.7.2 Comportamiento anual..... | 23 |
| 2.7.3 Comportamiento horario | 25 |
| 2.7.4 Estudios previos..... | 26 |
| 2.8 Contingencias | 29 |
| 2.9 Exposición a ozono | 30 |
| 2.10 Tipos de monitoreo | 32 |
| 2.10.1 Monitoreo de Referencia y Equivalente | 32 |
| 2.10.2 Monitoreo activo..... | 33 |
| 2.10.3 Monitores pasivos | 34 |
| 3 Objetivos | 36 |
| 3.1 Objetivo general | 36 |
| 3.2 Objetivos particulares..... | 36 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4 | Metodología | 36 |
| 4.1 | Diseño de estudio | 36 |
| 4.1.1 | Participantes voluntarios..... | 37 |
| 4.1.2 | Asesoramiento de exposición | 37 |
| 4.1.1 | Sitios de estudio interior..... | 39 |
| 4.1.1 | Campañas de monitoreo..... | 40 |
| 4.2 | Manejo de pasivos en laboratorio | 41 |
| 4.2.1 | Procedimiento | 41 |
| 4.3 | Técnica analítica | 42 |
| 4.3.1 | Análisis de filtros Ogawa..... | 42 |
| 4.3.2 | Procedimiento | 43 |
| 5 | Resultados | 45 |
| 5.1 | Resultados generales de las actividades de los voluntarios | 45 |
| 5.2 | Comportamiento ambiental de ozono | 46 |
| 5.3 | Resultado de análisis cromatográfico | 48 |
| 6 | Análisis de resultados | 56 |
| 7 | Conclusión | 60 |
| | Referencias | 61 |
| | ANEXO I..... | 67 |
| | ANEXO II..... | 70 |
| | ANEXO III..... | 71 |
| | ANEXO IV | 73 |
| | Voluntario 1..... | 73 |
| | Voluntario 2..... | 73 |
| | Voluntario 3..... | 74 |
| | Voluntario 4..... | 74 |
| | Voluntario 5..... | 74 |
| | Voluntario 6..... | 75 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Distribución vertical de ozono con las ecuaciones de Chapman..... | 14 |
| Figura 2. Distribución de emisiones de los contaminantes precursores del ozono | 21 |
| Figura 3. Elevación de la ZMVM | 22 |
| Figura 4. Distribución espacial del ozono en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones de monitoreo | 23 |
| Figura 5. Comportamiento de ozono ambiental en los últimos 4 años | 23 |
| Figura 6. Comportamiento de la temperatura ambiental de los años 2021 y 2022 | 24 |
| Figura 7. Comportamiento de ozono en los dos meses de presencia máxima y mínima en 2022 | 25 |
| Figura 8. Representación de la acumulación de concentración de ozono y su relación con la temperatura en la ZMVM..... | 26 |
| Figura 9. Conformación del pasivo Ogawa..... | 35 |
| Figura 10. Tubo Palmes y su funcionamiento. | 35 |
| Figura 11. Colocación de pasivo personal | 38 |
| Figura 12. Ubicación de vivienda de voluntarios y estaciones de la RAMA más cercanas | 40 |
| Figura 13. Armado y extracción de pasivos en la cámara de guantes | 41 |
| Figura 14. Partes del pasivo Ogawa | 42 |
| Figura 15. Inyección de muestras en el cromatógrafo..... | 44 |
| Figura 16. Comportamiento de ozono ambiental en las campañas de muestreo | 47 |
| Figura 17. Promedio general de las muestras de la primera campaña | 49 |
| Figura 18. Promedio general de las muestras de la segunda campaña..... | 50 |
| Figura 19. Promedio general de las muestras de la tercera campaña | 51 |
| Figura 20. Promedio general de las muestras de la cuarta campaña | 52 |
| Figura 21. Promedio general de las muestras de la quinta campaña..... | 53 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Cumplimiento gradual para valores límite de ozono en el aire ambiente..... | 19 |
| Tabla 2. Delegación de viviendas de los voluntarios..... | 39 |
| Tabla 3. Campañas de muestreo | 40 |
| Tabla 4. Condiciones de técnica analítica | 43 |
| Tabla 5. Recopilación general de los sitios de permanencia y su tipo de transporte de las 5 campañas | 45 |
| Tabla 6. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la primera campaña..... | 49 |
| Tabla 7. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la segunda campaña | 50 |
| Tabla 8. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la tercera campaña..... | 51 |
| Tabla 9. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la cuarta campaña | 52 |
| Tabla 10. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la quinta campaña | 53 |
| Tabla 11. Concentración del voluntario 1 | 54 |
| Tabla 12. Concentración del voluntario 2 | 54 |
| Tabla 13. Concentración del voluntario 3 | 54 |
| Tabla 14. Concentración del voluntario 4 | 55 |
| Tabla 15. Concentración del voluntario 5 | 55 |
| Tabla 16. Concentración del voluntario 6 | 55 |

Resumen

El ozono que se encuentra a nivel de superficie es ozono troposférico, es generado por las emisiones de transporte de vehículos motorizados y fugas de gas LP (CAME , 2023), como óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COV), es aquí donde se comporta como un contaminante que afecta a los seres vivos.

Causa diversos daños a la salud, actúa como oxidante fuerte capaz de causar daños oxidativos tanto a las células como a los fluidos que cubren las vías respiratorias y a las acciones inmunoinflamatorias del pulmón (Zhang, Wei, & Fang, 2019).

En el presente trabajo se evaluó la exposición a ozono de modo personal e intramuros, con el fin de identificar la concentración a la que se exponen voluntarios en la Ciudad de México. Las campañas de monitoreo se realizaron en la temporada de ozono (marzo-mayo).

Participaron 6 voluntarios de la Ciudad de México o con actividades a realizar en la misma, se le proporcionó a cada participante dos pasivos: uno para colocarlo en la habitación de su casa donde pasen el mayor tiempo, y otro portando consigo todo el tiempo.

Como resultado se obtuvieron exposiciones personales máximas de 147 ± 28 parte por billón (ppb) y de 109 ± 3 ppb en intramuros, las mayores exposiciones a ozono se relacionaron con el transporte que se utilizó, el tiempo en actividades en exterior y la ubicación de estas, mientras que la exposición intramuros no tuvo una relación con la ubicación ni con la concentración ambiental.

1 Introducción

El ozono troposférico es un contaminante secundario que causa estrés oxidativo, dañando al sistema respiratorio y agrava enfermedades degenerativas (Khaniabadi, y otros, 2017; Corradi, y otros, 2002). En la Ciudad de México se estudia al ambiente por redes de monitoreo, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) se encarga de monitorear ozono, esto a una altura entre 3 a 15 metros del suelo (SEDEMA, 2018), que no representa el nivel en donde las personas respiran y están en contacto con el ozono.

Se han estimado la exposición personal con diferentes métodos que al compararlos no son precisos y no describen el comportamiento del ozono a nivel de la superficie (Bräuner , y otros, 2016). Se encontraron artículos desde 1992 (Romieu, y otros, 1992) en donde se estudia las repercusiones del ozono en México en las enfermedades respiratorias, afecta a diferentes sectores de la población, como a niños, personas adultas y personas con enfermedades.

En este trabajo se compara las concentraciones de ozono a las que se exponen voluntarios tanto a nivel personal como intramuros, la exposición personal abarca ambientes en exterior e interior, también se verá cómo afecta las actividades cotidianas y los factores que se le atribuyen. Obteniendo una referencia de ozono al nivel de superficie.

2 Antecedentes

2.1 Ozono

2.1.1 Características

El ozono está formado por tres átomos de oxígeno, con un enlace sencillo y uno doble, generando un radical libre con el cual puede reaccionar como un fuerte oxidante. Su estado es gaseoso, poco soluble en agua, con olor (Shirk, 2000) de forma líquida es de color azul (Ospina Montoya & Garrido Tamayo, 2013).

Al ser un oxidante fuerte, de mayor fuerza que el oxígeno molecular (O_2) y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que se usan regularmente para blanqueamiento (ZOTAL, 2023), por sus propiedades es utilizado en la purificación de agua y aire, esterilización de alimentos y en terapias médicas (Dongbin Zheng, y otros, 2023). Hace gran daño a los seres vivos al generar estrés oxidativo provocando el deterioro de enfermedades progresivas.

La presencia del ozono se encuentra en las dos capas más cercanas a la superficie de la tierra, se encuentra en mayor cantidad en la estratosfera, al estar en este nivel, llamada capa de ozono se define como ozono bueno, su función es protegernos de la radiación al absorber selectivamente longitudes de onda. Por otro lado, al estar en la troposfera el ozono es malo para los seres vivos, generando estrés oxidativo, aquí se convierte en un contaminante para todo ser vivo en la superficie.

2.1.2 Historia

El ozono fue descubierto por Martinus Van Marun científico holandés, al hacer descargas eléctricas en presencia de oxígeno en el aire y en 1839 el químico C. F. Schönbein lo detectó y le dio el nombre de ozono, proveniente de la palabra griega ozein, que significa olor. Después de experimentos con una mezcla de ozono y oxígeno, espectros y absorción infrarroja, se estimó el rango de absorción del ozono (Ospina Montoya & Garrido Tamayo, 2013).

Pero hasta 1913 la capa de ozono fue descubierta por los físicos Charles Fabry y Henry Boisson. En 1920 se construyó el Espectrofotómetro de Dobson el primer instrumento que mide el espesor de ozono en la atmósfera, por el físico y meteorólogo Gordon Miller Bourne Dobson, por el quien se le llamaría Unidades Dobson (UD) a los niveles de ozono en un punto en la atmósfera. Un UD equivale a 0.01 milímetros de espesor de capa de ozono a condiciones normales (P 1 atm y T 0°C), normalmente el promedio anual es de 300UD (3mm), la cantidad difiere geográficamente, por el aire y su circulación (Bekki & Lefèvre, 2009; Sánchez, 2006).

El siguiente descubrimiento importante pero no conveniente, es el riesgo en el que se encontraría la capa de ozono por los compuestos clorofluorocarbonados, su degradación preocupante daría inicio al Protocolo de Montreal en 1987, donde la

Asamblea General de las Naciones Unidas llamaría a los países a involucrarse con la disminución de los contaminantes y cuidado de medio ambiente (de la Mata & Felipe Antón, 2010).

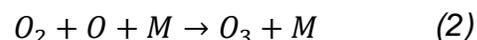
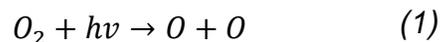
2.2 Ozono estratosférico

La producción de ozono natural es en la estratosfera, a unos 25 kilómetros, se encuentra una mayor cantidad absoluta, de una concentración de 2 a 8 partes por millón (ppm) (Bekki & Lefèvre, 2009). Gracias a su función de absorción de luz ultravioleta ayuda al equilibrio y la química de la atmósfera, a eliminar daños provocados por la alta energía y longitudes de onda de los rayos, que provocan daños como aumento de temperatura provocando incendios, sequías y derretimiento de hielo (Erickson, Sulzberger, Zepp, & Austin, 2015).

El nivel de rayos ultravioleta dependerá de la elevación del sol, que varía con la hora del día y la época del año. La radiación ultravioleta se divide en: UVC, longitudes de onda menores a 280 nm; UVB, de 280 nm a 315 nm; y UVA, de 315 nm a 400 nm (Sánchez, 2006). El ozono absorbe UVC y el 90% de UVB.

2.2.1 Ciclo de Chapman

Chapman propuso en 1930 la existencia de la capa de ozono y las tendencias de concentraciones de ozono en la atmósfera (Ojeda, 2006; Rangel & Santoyo, 2018), se genera mediante las reacciones 1 y 2:



En la estratosfera se efectúa la producción y la destrucción del ozono por la radiación UV, cuando el ozono absorbe radiación se convierte en un átomo de ozono libre y un oxígeno molecular, de aquí se puede formar de nuevo ozono o dos oxígenos libres pueden juntarse (OZONO, 2012). La Figura 1 muestra el comportamiento de concentración de ozono de acuerdo con la altura en la atmósfera.

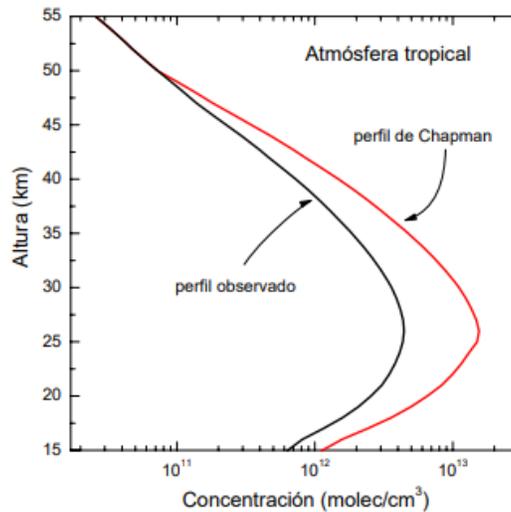
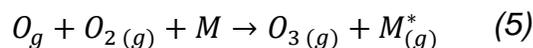
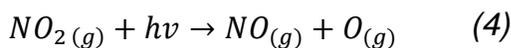
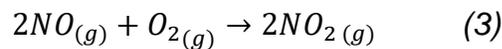


Figura 1. Distribución vertical de ozono con las ecuaciones de Chapman
Tomada de (Ojeda, 2006)

2.3 Ozono troposférico

El ozono se genera por las emisiones de transporte de vehículos motorizados y fugas de gas LP (CAME, 2023), una pequeña parte proviene de la estratosfera que migra por el movimiento vertical que existe en la atmósfera en los tiempos de primavera en el hemisferio norte, esto es una concentración mínima comparada con el ozono que se genera en la troposfera por las reacciones entre los contaminantes emitidas por el hombre (Zhang, Wei, & Fang, 2019).

Los precursores del ozono provienen principalmente de la combustión de combustibles liberados de los escapes de los automóviles como NO_x y COV. El proceso de formación del ozono troposférico (Soares & Silva, 2022) es por medio de reacciones fotoquímicas, necesariamente con rayos ultravioleta, lo cual se realiza mediante las reacciones 3, 4 y 5:



Como esta reacción necesita de luz ultravioleta su pico de concentración se relaciona con una mayor temperatura, esto sucede cuando la elevación del sol llega a su máximo punto (OMS, 2022), así que inicia desde la mañana hasta su punto más alto en la tarde, 14 a 15 horas, por eso es que el ozono tiene una tendencia tan marcada en el uso horario, ya que no es emitida de forma natural y necesita de precursores para producirse, como se genera de una reacción inicial es considerado un contaminante secundario y participante del smog (OMS, 2022; 2022).

2.4 Efectos del ozono

2.4.1 Personas

Uno de los problemas de salud son los contaminantes a los que estamos expuestos a diario. Estudios de la Escuela de Salud Pública de Harvard junto con la SEDEMA comprobaron que, al disminuir contaminantes a lo largo de 1950 a 2015 hizo que la esperanza de vida aumentara (Liu, y otros, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que, el efecto de los contaminantes está asociado con 6.7 millones de muertes prematuras al año y la estima que las muertes que se asociaron fueron causadas por cardiopatía isquémica, accidente cerebrovascular, enfermedades pulmonar obstructiva crónica e infecciones agudas de las vías respiratorias y cáncer de éstas (OMS, 2022).

El ozono como contaminante causa diversos daños a la salud, en múltiples artículos han estudiado sus efectos, por eso es de suma importancia su control y el conocimiento de su impacto. Su propiedad que lo vuelve riesgoso es que actúa como oxidante fuerte, la asociación epidemiológica de la mortalidad y morbilidad respalda esta propiedad química, capaz de causar daños oxidativos tanto a las células como los fluidos que cubren las vías respiratorias y a las acciones inmunoinflamatorias del pulmón (Zhang, Wei, & Fang, 2019).

Otras enfermedades son a largo plazo como en exposiciones constantes que se representa a la exposición diaria de las personas, Rosalba Rojas (2007) estudió a niños de 8 años durante tres años, asoció la exposición a largo plazo de

contaminantes, uno de ellos ozono, a una pérdida de crecimiento FVC (capacidad vital forzada) y FEV1 (volumen espiratorio forzado 1).

De igual forma Yusef (2017) mostró un aumento de riesgo de mortalidad cardiovascular, mortalidad respiratoria y admisiones hospitalarias por enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Para Yongjie Xia (2021) analizó biomarcadores inflamatorios, de estrés y daño oxidativos mitocondrial en la sangre; donde se observaron aumentos en biomarcadores inflamatorios y uno de estrés oxidativo. Estos aumentos los encontraron con periodos cortos de exposición al ozono con concentraciones por debajo del estándar de calidad (promedio de 8 horas, 75ppb). Se demostró que después de una exposición que no sobrepasaba los límites permitidos en China, se encontraron activadas hormonas de estrés, observaron la repercusión del ozono en las hormonas en el eje del estrés, con un rango de concentración de 4.5 a 104.3 ppb (Xia, y otros, 2022).

Ugalde Resano (2022) asoció las visitas a servicio de urgencias cardiovasculares por contaminación de aire ambiental en la Ciudad de México de 2016 a 2019, como resultado se obtuvo un aumento de asociación del mismo día, finalmente se asoció un 10.3% de visitas por urgencias cardiovasculares. Concluyeron que la contaminación ambiental tiene porcentajes de aumento en visitas de urgencia cardiovasculares en contaminantes como PM₁₀, PM₂₅, O₃, NO₂, y CO.

2.4.2 Vegetación

En las plantas el ozono entra por los estomas de las hojas y son afectadas por concentraciones menores a 200 µg/m³, produciendo estrés oxidativo que no deja realizar la fotosíntesis necesaria, dejando a la planta sin poder crecer. Se ve afectada la asimilación del carbono, viendo perjudicado la conductancia estomática, la cual regula la transferencia de dióxido de carbono (CO₂) del ambiente y agua de la planta, disminución de fijación de CO₂ en el metabolismo, disminuye carbohidratos como la sacarosa que favorece el crecimiento de la planta (Ainsworth, Yendrek, Sitch, Collins, & Emberson, 2012). En algunos casos se ve reflejada el ozono en lesiones visibles en las hojas de las plantas, como manchas,

blanqueamiento, esto también depende del lugar y año en el que se encuentre (Bergmann, Bender, & Weigel, 2017).

El mayor daño de ozono es el estrés oxidativo, afecta a las reacciones necesarias para que el funcionamiento de las plantas sea exitoso, aumenta los radicales libres, provoca daño en los procesos de reparación, así como el combate con antioxidantes (Ghosh, Singh, Agrawal, & Agrawal, 2018). Para los cultivos se ve reflejado en su reproducción y tamaño de fruto junto con raíces, afectando el rendimiento de los cultivos como el trigo, arroz, maíz, soja y frijoles (Li, Muthuramalingam, & Mahalingam, 2015).

2.5 Política ambiental en México

El gran avance económico que se ha presentado en las últimas décadas ha contribuido a un seguimiento para aprovechar los recursos humanos, esto ha llevado a implementar leyes y políticas, que se han ido modificando para ser más estrictos y llegar a un estilo de vida donde se trabaje con armonía con el ambiente.

La iniciativa para que la Ciudad de México tenga un mejor aire se remonta a 1988 con la publicación de la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental (LGEEPA), establece la garantía de todas las personas a vivir en un medio ambiente sano. Con esto se inicia un surgimiento de leyes y funciones que se acoplan con el objetivo de LGEEPA, como leyes reglamentarias de Materia de Impacto Ambiental, Residuos Peligrosos, Contaminación por ruido, Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica (Anglés, Rovalo, & Tejado, 2021).

Años después se crea la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) para manejar de manera integral los recursos y políticas ambientales, abarcando también puntos sociales y económicos. Por falta de participación ciudadana en las decisiones ambientales y por el avance de criterios del cuidado ambiental en el año 2000 se crea la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), encargado de impulsar la política de tal forma que fuera un ámbito importante de Estado, incluyendo el concepto de sustentabilidad (Espinoza Saucedo & Soto Sánchez, 2020).

Para tener una referencia de las acciones de las disposiciones oficiales de parte del gobierno, se toma en cuenta las Normas que se publican en el Diario Oficial de la Federación, que en el caso del cuidado del ambiente y el ozono son de carácter obligatorio (Secretaría de Gobernación).

Dentro de la Norma Oficial Mexicana (NOM) la SEMARNAT se encarga de publicar normas que se refieren a las mediciones junto con la calibración de equipos adecuadas de los contaminantes criterio en el aire, por otro lado, la Secretaría de Salud se encarga de las concentraciones límite y los criterios para su evaluación (Instituto Nacional de Ecología, 2010).

2.5.1 Calidad del aire

El Estado está obligado a dar difusión a los riesgos que conllevan los contaminantes a la población, es por eso la creación del Índice Aire y Salud, planteada por la SEMARNAT en la NOM-172-SEMARNAT-2019: Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice de Aire y Riesgos a la Salud, su objetivo es estandarizar el método en el que todas las ciudades y la zona metropolitana trabajan sobre la calidad del aire. Se desea que esto ayude a informar de una mejor manera la salud del ambiente y poder actuar de forma eficiente contra la contaminación.

Para calcular ya sea el índice o la concentración se tiene un algoritmo para todos los contaminantes, pero cada uno tiene su propia tabla que contiene una constante de proporcionalidad específica de cada contaminante criterio, que son, ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2), PLOMO (Pb), las partículas suspendidas iguales o menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y partículas suspendidas iguales o menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) (Secretaría de Salud (SSA), 2019).

Los riesgos a la salud se representan en una escala de 5 categorías: Bajo, Moderado, Alto, Muy alto y Extremadamente alto. Los niveles aceptables llegan hasta la concentración límite de la NOM asignada a cada contaminante, los valores buenos vienen del valor sugerido por la OMS (Secretaría de Salud (SSA), 2019).

2.5.2 Límite permisible de ozono

Las Normas Oficiales son de carácter obligatorio, es como constituye la principal autoridad para establecer valores máximos de contaminantes para favorecer la salud pública. Son las que describen los límites permisibles por contaminante, su fuente de emisión, el establecimiento y operación de los monitoreos (Anglés, Rovalo, & Tejado, 2021).

A finales del 2021 se publicó en el DOF la actualización de la norma sobre la concentración permisible de ozono, NOM-020-SSA1-2021, titulada: Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O₃). Valores normados para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población (Secretaría de Salud, 2021). En la Tabla 1. Se indican los límites máximos permisibles de la NOM conforme al tiempo estipulado de disminución de valores.

*Tabla 1. Cumplimiento gradual para valores límite de ozono en el aire ambiente
Tomada de (Secretaría de Salud, 2021)*

| Concentración | Año 1^a | | Año 3^a | | Año 5^a | |
|----------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| | µg/m³_v | ppm_v | µg/m³_v | ppm_v | µg/m³_v | ppm_v |
| <i>De 1 hora</i> | 176 | 0.090 | 176 | 0.090 | 176 | 0.090 |
| <i>De 8 horas</i> | 127 | 0.065 | 118 | 0.060 | 100 | 0.051 |

Le precede la NOM-020-SSA1-2014, la central diferencia es la descripción de la concentración, el nuevo lineamiento especifica la concentración límite a un determinado lapso, que va disminuyendo en la concentración promedio de 8 horas, y disminuyendo el promedio de una hora de 0.095 ppm a 0.090 ppm, tratando así de mejorar la calidad de aire y ser más estrictos con eso. La disminución del valor

límite es estar más cerca del valor promedio de 8 horas de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que recomienda la OMS.

2.6 Monitoreo ambiental en Ciudad de México

El inicio de monitoreo en México fue en 1940 en El observatorio de Tacubaya como indicador único: la visibilidad, para la siguiente década se realizaron investigaciones en la Ciudad de México de parte de La Dirección de Higiene Industrial de la Secretaría de Salubridad y Asistencia donde encontraban la existencia de contaminantes atmosféricos.

Fue hasta 1966 donde se colocaron 4 estaciones de monitoreo donde sondearon dióxido de azufre, partículas suspendidas, polvo sedimentable y acidez. Con los años se fueron modificando el número de estaciones y sus ubicaciones, en el 2000 se integra el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT). Este se encarga de monitorear distintos parámetros para describir la calidad del aire, desde el 2012 se cuentan con un total de 44 puntos de muestreo llamados estaciones de monitoreo de calidad de aire.

Todas las estaciones deben cumplir con criterios para que los valores se consideren representativos de cada contaminante por su entorno físico, algunos de ellos son (SEDEMA, 2018): altura de la toma de muestra se sugiere que sea entre 3 a 15 metros de la superficie, distancia de al menos 30 metros de alguna fuente emisora, mínimo 20 metros de distancia a vialidades vehiculares de gran tamaño, no existan obstrucciones tanto al nivel de medición como a nivel del flujo de aire.

Hoy en día se cuenta con un conjunto de redes de monitoreo, cada uno con diferentes parámetros a medir.

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), cuenta con 34 estaciones, monitorea monóxido de carbono, SO_2 , NO_2 , O_3 , PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.

La Red de Meteorología y Radiación Solar (REDMET), monitorea en 28 estaciones variables como: temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad de viento, radiación solar y presión barométrica.

La Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA), recolecta muestras de partículas suspendidas y la determinación de metales pesados, principalmente plomo, en 9 estaciones.

La Red de Depósito Atmosférico (REDDA) recolección con 16 estaciones muestras de depósito seco (polvo sedimentable) y depósito húmedo (lluvia, granizo, nieve, rocío).

2.7 Ozono en la Ciudad de México y sus alrededores

2.7.1 Comportamiento geográfico

Los factores de los que depende es la temperatura, la dirección del viento y la cantidad de precursores en el aire. En estos últimos su aparición se concentra en residencias, servicios y comercios, en el caso de los COVs con fugas de gas y combustión incompleta de gas LP, por otro lado, los óxidos de nitrógeno tienen una generación en los vehículos de transporte con un porcentaje del 84% (SEDEMA, 2018). La presencia de ozono no es precisamente en el lugar de las emisiones de los precursores, en las zona industrial y mayor densidad vehicular, como en la Figura 2, se muestra por rango de colores los lugares donde se emiten los contaminantes precursores del ozono, que son los COVs (izquierda) y NOx (derecha).

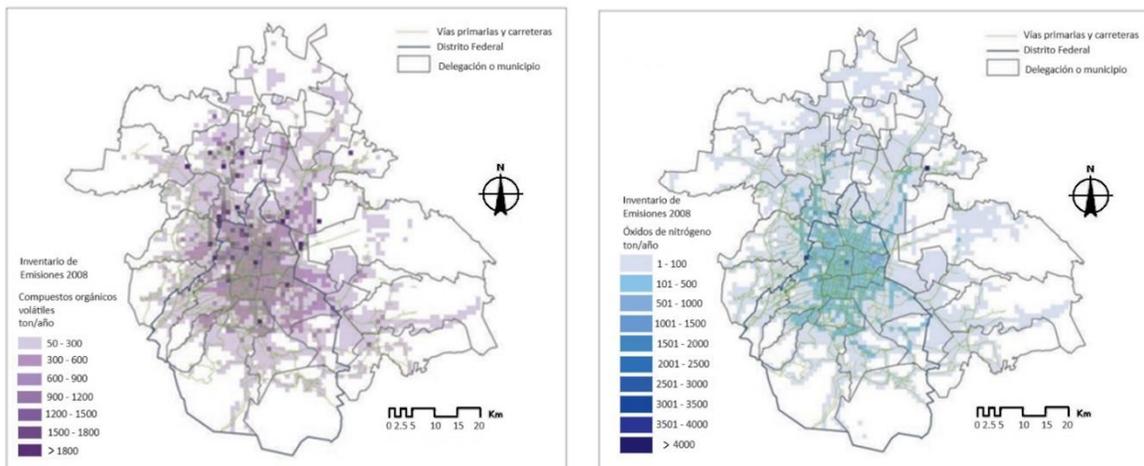
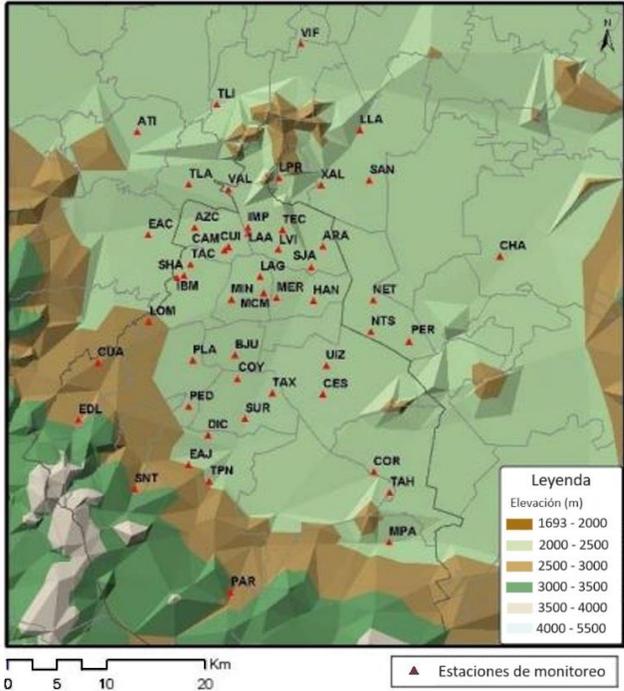


Figura 2. Distribución de emisiones de los contaminantes precursores del ozono

Tomada de (Jaimes & Retama, 2015)

Por otra parte, la dirección de los vientos diurnos que van de noroeste al suroeste es lo que mueve los contaminantes al sur, donde son retenidos por una cuenca montañosa manteniéndolos ahí por el bloqueo físico junto con la disminución del flujo del viento durante el día, en la Figura 3 se muestra las elevaciones de la Cd. Mx., donde se observa una barrera natural al surponiente.



*Figura 3. Elevación de la ZMVM
Tomado de (INE-SEMARNAT, 2007)*

Con el monitoreo de las estaciones podemos ver el comportamiento del ozono en la Ciudad, en la Figura 4 por parámetros de color se muestra las concentraciones de ozono, los puntos simbolizan las estaciones de monitoreo y los círculos representan el área de representatividad de los mismos, vemos como la mayor concentración se encuentra en el sur y centro de la ciudad, que concuerda con la dirección del viento que regularmente es de norte a sur, transportando los contaminantes a esta zona (SEDEMA, Aire CDMX, 2021).

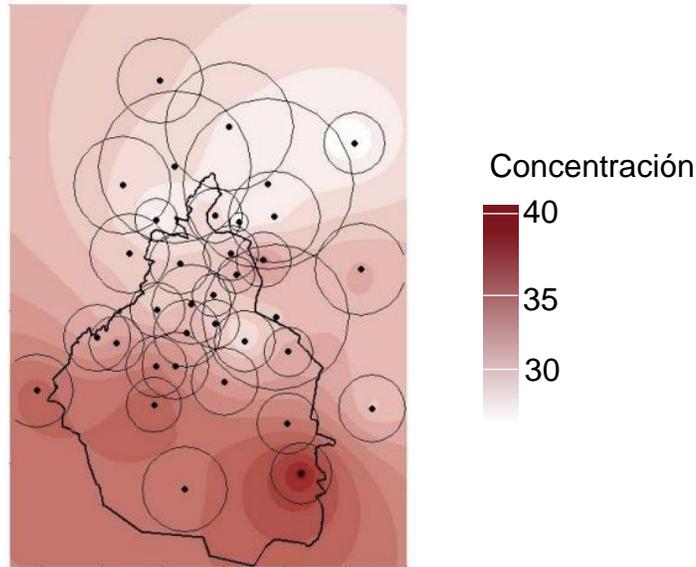


Figura 4. Distribución espacial del ozono en la ZMCM y áreas de representatividad de las estaciones de monitoreo
Tomada de (SEDEMA, Aire CDMX, 2021)

2.7.2 Comportamiento anual

En la Figura 5 se muestra el comportamiento anual de ozono, se analizó con los registros recolectados por la RAMA, se usaron los datos diarios del 2019 a 2022 de ozono, los valores de 1 hora se promediaron para cada mes de todas las estaciones de monitoreo, esto nos indica en qué meses es más grande la presencia de ozono.

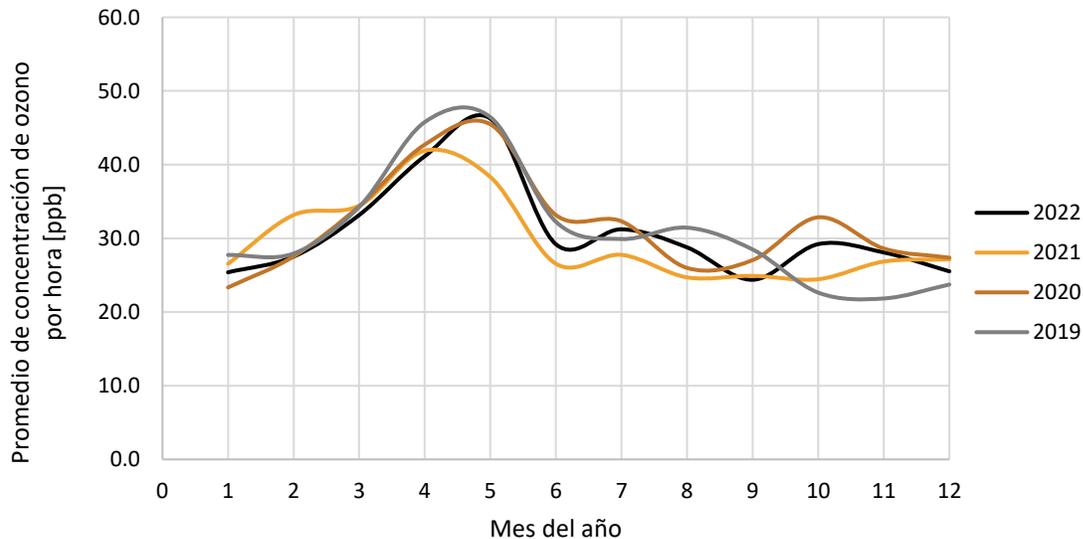


Figura 5. Comportamiento de ozono ambiental en los últimos 4 años
Datos tomados de SEDEMA

En la primera mitad del año se encuentra marcada la tendencia, en los cuatro años se ve un aumento y el pico máximo de ozono, siendo el mes de mayo con mayor presencia del contaminante.

La temporada de ozono se manifiesta de febrero a junio con promedios máximos de 1 hora de 150 a 170 ppb, en esta época se caracteriza por pocas nubes y vientos débiles que facilita la acumulación del ozono (SEDEMA, 2023); la otra mitad del año no se ve una tendencia clara de su comportamiento, pero es considerablemente menor que la primera mitad.

El comportamiento del año se ve asociado con la temperatura ambiente, la temporada de calor va de marzo a mayo con temperaturas de 25 a 33.2 °C, que se relacionan con los meses donde hay concentraciones de ozono ambiental elevadas, en la Figura 6 se presenta una temperatura promedio de 1 hora de los años 2021 y 2022, los datos son tomados de la base de datos de la RAMA Y REDMET disponibles en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aKBi%27> .

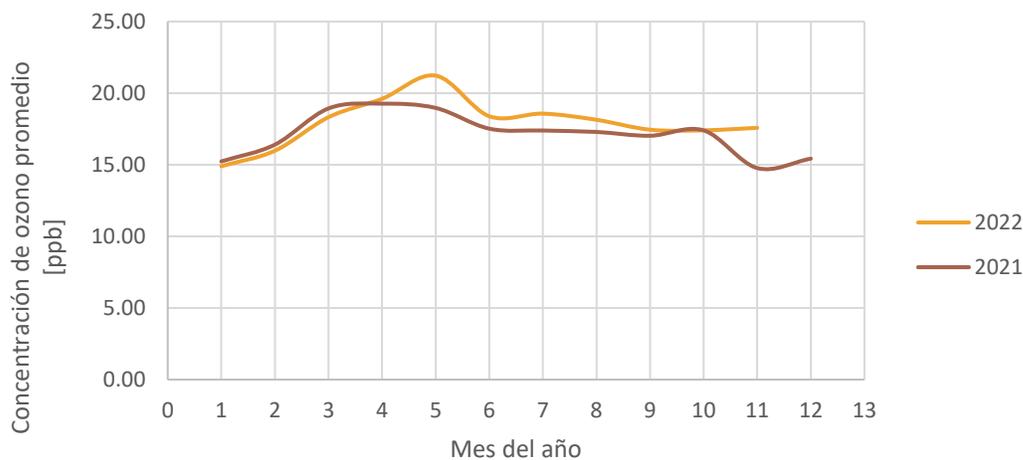
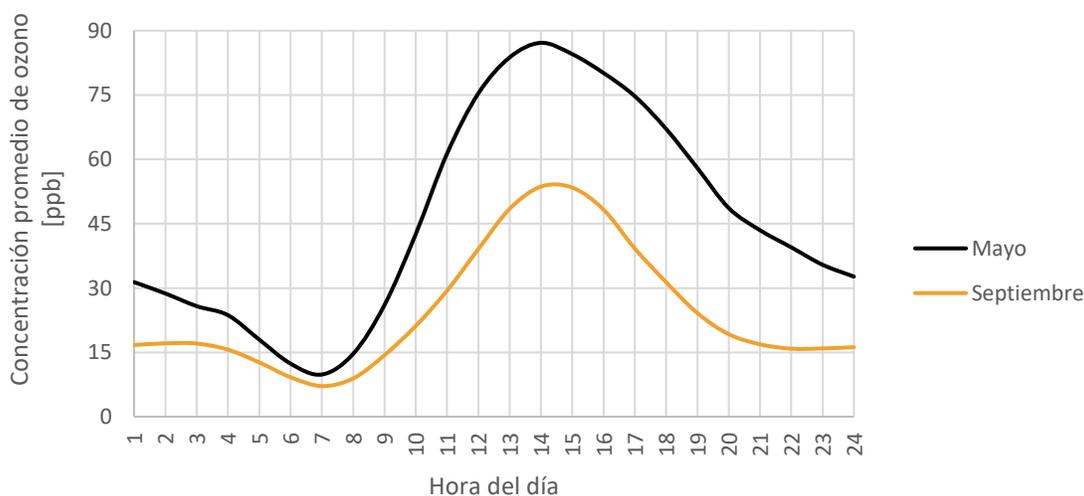


Figura 6. Comportamiento de la temperatura ambiental de los años 2021 y 2022

2.7.3 Comportamiento horario

Del año 2022 se tomó el mes de máximo ozono, mes de mayo, y el mes de menos ozono, mes de septiembre, y se examinaron los patrones diarios de esos meses, lo que vemos en la Figura 7 son los promedios de cada hora del mes. Hubo grandes diferencias de ozono durante el transcurso del día, con un máximo de 87 ppb (mayo) y 53 ppb (septiembre), casualmente el mínimo entre estos meses es más cercano 9 y 7 ppb respectivamente. El patrón es similar en los dos meses con un inicio de producción de ozono de 7:00 hasta un máximo a las 14:00, nos indica el momento donde la exposición en actividades al aire libre de ozono es más alta.



*Figura 7. Comportamiento de ozono en los dos meses de presencia máxima y mínima en 2022
Datos tomados de SEDEMA*

El traslado de los contaminantes en la atmósfera se ilustra en la Figura 8, donde (a) se contienen los precursores en horario de madrugada, (b) desde que empieza a elevarse el sol la dispersión y la producción de ozono comienza, (c) mientras aumenta la concentración de ozono por el aumento de la temperatura ambiente, los vientos hacen que se acumulen en el lado sur de la ciudad, (d) cuando descende el sol ya no hay radiación para formar ozono y disminuye su concentración, este ciclo se repite cada día.

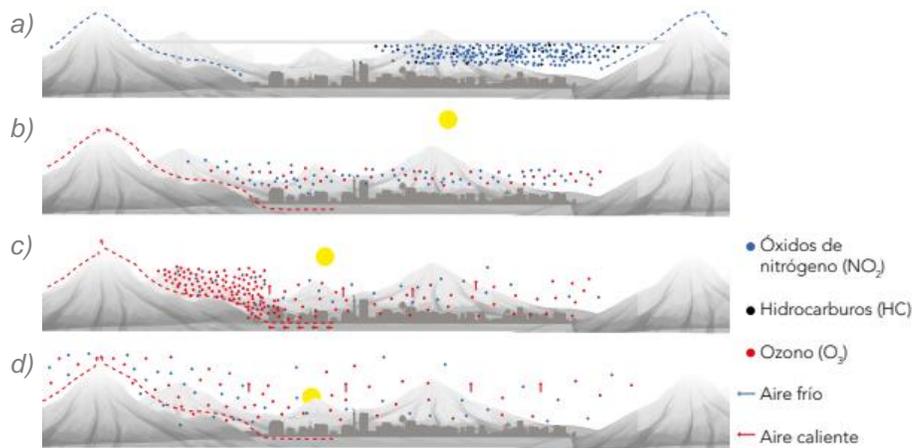


Figura 8. Representación de la acumulación de concentración de ozono y su relación con la temperatura en la ZMVM Tomada de (SEDEMA, 2017)

Por eso es importante controlar las emisiones de los COVs como los NO_x, ya que no solo las emisiones de los vehículos son emitidas durante su uso, también existen las emisiones diurnas de transportes estacionados con el motor apagado (Rangel & Santoyo, 2018). Para no agravar más al ambiente se sugieren recomendaciones por parte de SEDEMA (2017), por ejemplo, en la Ciudad de México se presentan fugas en 4 de 10 hogares por lo que se pide revisar los tanques de gas LP, apagar el boiler cuando no se use, cocinar de manera eficiente tapando las ollas y sartenes para que el calor se aproveche y consumir menos gas, al usar calentadores solares, verificar que sean certificados para que así se ahorre completamente un 70% de gas.

2.7.4 Estudios previos

Se buscó en la base digital de Tesis de la UNAM estudios de ozono en la Ciudad de México, los estudios recolectados cuentan con un tipo de relación con las estaciones de monitoreo de la RAMA, estos trabajos relacionan el ozono y la exposición a él.

Se han realizado estudios bibliográficos donde recopilan información relevante sobre la exposición a ozono y sus efectos a la salud como en el trabajo titulado

“Exposición a ozono y disfunción endotelial: biomarcadores relacionados con la síntesis del óxido nítrico” (Botello Taboada, 2023), donde encontró estudios experimentales y epidemiológicos que relacionan la exposición a ozono con biomarcadores de disfunción endotelial. De un total de 17 estudios, identificaron los métodos con el que se analizó los daños en la salud, la concentración de exposición y los biomarcadores afectados. Concluye con que la mortalidad y enfermedad cardiovascular se relacionan con la exposición a ozono en distintos estudios en todo el mundo, algunos mostraron asociación entre ozono y biomarcadores de disfunción endotelial.

En el caso de Rodríguez D. (2023) observó la relación de los contaminantes atmosféricos en 88 mujeres embarazadas de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) que dieron a luz entre 2014 y 2015 con el contenido relativo de ADNmt placentario. En este caso se estimó la exposición a contaminantes atmosféricos como $PM_{2.5}$, PM_{10} , y ozono, haciendo uso de los datos reportados por la red de monitoreo del Programa de gestión para mejorar la calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (Proaire). No se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre el contenido relativo de ADNmt placentario.

Otra forma de estimar la exposición es interpolando con los datos de las estaciones de monitoreo fijas en la ciudad, en “Exposición a material particulado 2.5 ($PM_{2.5}$) y ozono (O_3) y su asociación con índice de masa corporal en adultos de la Ciudad de México” (Valencia Ortega, 2023) se empleó análisis espacial e interpolación de datos reportados por el SIMAT del 2003 a 2012, para evaluar la exposición de $PM_{2.5}$ y O_3 y grasa corporal, IMC y categorías de IMC en adultos. Los principales hallazgos fueron asociaciones significativas, aunque negativas, entre $PM_{2.5}$ y O_3 con los valores de grasa pericárdica. Finalmente, no encontraron asociaciones significativas entre la exposición a estos contaminantes y la grasa total, visceral, subcutánea, IMC o categorías del IMC.

De igual forma en “Estimación del impacto en la morbilidad por exposición a ozono, PM_{10} y $PM_{2.5}$ en la zona metropolitana del Valle de México” (Zaldivar Sánchez, 2017) usó las bases de datos de casos y de concentraciones de contaminantes por zona

geográfica, junto con una regresión lineal con el fin de determinar el cambio medio que se produce en el número de casos por cada unidad de cambio de la concentración de los contaminantes. Así relacionó la exposición ambiental de O₃, PM₁₀ y PM_{2.5} sobre la morbilidad (asma, conjuntivitis y otitis media), del 2003 al 2012 en la zona metropolitana del Valle de México. Encontró un coeficiente de regresión más alto para el asma y estado asmático con PM_{2.5} reportado en la zona Suroeste en el año 2009; mientras que para conjuntivitis fue el ozono en la zona Noroeste en 2015. Se concluyó que las exposiciones a concentraciones elevadas de Ozono, PM₁₀ y PM_{2.5} incrementan los casos de asma, otitis media aguda y conjuntivitis. Mientras se regulen los contaminantes se puede evitar los daños a la salud de la población.

Otro tipo de exposición es del tipo controlado, donde la concentración es regulada de forma manual en un ambiente controlado por el mismo personal. Un ejemplo de esto es el trabajo "Simulación de daño por ozono y dióxido de azufre en *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh y *Pinus greggii* Englem" (Chávez Hernández, 2022) donde estudia los efectos causados en tres tipos de plantas por exposiciones a ozono y dióxido de azufre en un ambiente semi controlado con un generador de ozono en una cabina, para que sea muy parecida a los bosques de la Ciudad de México. Para igualar condiciones se usó cabinas de exposición, la concentración fue de 86 ppb de O₃ durante 4 horas diarias por 6 semanas. Se registraron daños anatómicos en hojas a la segunda semana de exposición por ozono, muerte de individuos a la quinta semana y diferencias significativas en el contenido de clorofila comparado con los plantones que se mantuvieron sin exposición.

González E. (2015) evaluó el efecto de la exposición a 1 parte por millón de O₃ durante 1, 3 o 6 h, así como a 1 o 3 h al día durante cinco días consecutivos en ratas para determinar si la respuesta inflamatoria, en los pulmones como en el cerebro, pueden ser el mecanismo mediante el cual el O₃ afecta los tejidos fuera del sistema pulmonar. Los resultados muestran incremento significativo en la concentración de citocinas inflamatorias en los pulmones y aumento de la expresión de la proteína GFAP en la corteza cerebral, que ayuda en los daños cerebrales. Estos resultados apoyan la hipótesis de que la respuesta neuro-inflamatoria puede

ser la responsable de los efectos reportados en el sistema nervioso central por la exposición a O₃.

2.8 Contingencias

Siempre se está al pendiente de los registros de los contaminantes que monitorea la SEDEMA, dependiendo de la calidad de aire se va informando de las acciones a seguir o las prohibiciones en las actividades de la población. Al alcanzar un alto nivel de índice de calidad de aire se activa el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA), que conforma de Fase I y Fase II, cada una tiene su recomendación y acciones a seguir, esto para reducir esa concentración de contaminante y alertar a la población.

Los programas y acciones (AIRE, 2023) asociados al ozono son:

La Fase I se activa al rebasar los 150 puntos del índice de calidad de aire (154 ppb), se informa la contingencia tanto en la página y aplicación, se inicia:

- El Programa hoy no circula
- Evitar actividades como pintar, barrer, pavimentar, entre otras
- Reducción de la producción industrial y la capacidad de calderas en comercios y servicios
- Se suspenden actividades industriales y de servicios: uso de solventes, de leña y carbón, quemas, desengrase, entre otros
- Suspensión del 20% de la actividad en estaciones de carburación y en plantas de distribución de gas LP

La Fase II es a partir de 200 puntos del índice (204 ppb), aquí es más extremo el daño, aumenta el porcentaje de reducción de actividades en algunos casos.

- Hoy no circula con totalidad de hologramas "1" y "2"
- Motocicletas con base en la terminación de placa (par o non), de manera alternada
- Se suspenden actividades de: pintado, barrido, pavimentación, bacheo, balizamiento, entre otras

- Reducción de 60% de la producción industrial y del 50% de la capacidad de calderas en comercios y servicios
- Se suspenden actividades industriales y de servicio: uso de solventes, de leña y carbón, quemas, desengrase, entre otros
- Suspensión de 40% de la capacidad de estaciones de carburación y en plantas de distribución de gas LP.

La primera contingencia fue activada en 1988 por ozono con un valor mayor de 200 puntos IMECA, a todo lo largo de los monitoreos se han tenido 86 casos de contingencias, los cuales el 87% (75/86) han sido por concentraciones altas de ozono (Calidad de aire SEDEMA, 2023).

En 2016 hubo un incremento de días con concentraciones elevadas de ozono por las inusuales características climáticas que se presentaron durante ese año, junto con un pico de concentración de 1 h de 210 ppb (SEDEMA, 2016), provocando la aplicación y modificación de medidas ambientales extraordinarias para enfrentar las elevadas concentraciones, que se presentaron principalmente en la zona sur, donde las Sierras de las Cruces y del Ajusco-Chichinautzin dificultaron su dispersión (El Economista, 2016). El PCAA cambió sus medidas haciendo más estrictas protegiendo así a la población en las temporadas secas-calientes, que es cuando el ozono está en mayor concentración, se eliminó las precontingencias y se redujo el valor de activación de las fases: Fase I de 185 a 155 y la Fase II de 264 a 205 (SEDEMA, 2016). Así es como la reducción de los límites de activación de contingencias y el límite normado ha disminuido satisfactoriamente las concentraciones de ozono ambiental, y el número de contingencias por año.

2.9 Exposición a ozono

Las primeras mediciones se realizaron de manera ambiental en estaciones fijas, a lo largo de los años se han contemplado desde este nivel, abarcando zonas extendidas de área y a alturas elevadas, en algunos artículos la exposición personal son tomadas de las mediciones ambientales (Michael Jerrett, 2009), otros utilizan programas que relacionan los datos de calidad de aire con información epidemiológica para obtener los riesgos (Khaniabadi, y otros, 2017), para puntos

específicos en donde no hay monitores fijos se estiman usando modelados por promedio de área o usando interpolación espacial por ponderación (Ugalde Resano, Riojas Rodríguez, Texcalac Sangrador, Cruz, & Hurtado Díaz, 2022), ya que los datos son insuficientes para demostrar la exposición entre estaciones fijas (Bell, 2006), se usan estos métodos, ya que, el nivel donde se mide el rasgo ambiental no tiene las mismas condiciones ni concentración en donde se encuentran las personas, mostrando una deficiencia en la estimación de las exposiciones individuales (Zhang X. Z., 2023).

En la exposición personal participa diferentes factores, no solo participa la época del año en el que se encuentre, también hay una contribución con el tipo de transporte, patrones de vida, la meteorología, proximidad a alguna fuente emisora, tiempo de permanencia en los lugares y uso de fuentes precursoras (Zhang X. Z., 2023; Evangelopoulos, y otros, 2021).

Los lugares de permanencia cubren los espacios donde se realizan las actividades diarias tanto en interior como exterior, regularmente se pasa un mayor tiempo en interior, en muchos casos no rebasa el 90% (Zhang X. Z., 2023). La exposición en interior puede ser por la ventilación del hogar, filtración del exterior, que depende del estado de la construcción; generarse por actividades de la misma habitación, como emisiones por fotocopiadoras, contaminantes en el aire existentes por el humo de cigarro, la combustión de biomasa al cocinar y calentar (Zhang X. Z., 2023; Qingyu Meng, 2012; Siegel, y otros, 2023).

Un estudio de Grecia (Kalimeri, Bartzis, & Saraga, 2017) se monitorean a trabajadores de oficina, los cuales les fueron dados pasivos de ozono para monitorear en intramuros y extramuros de su casa y trabajo. Encontraron que la relación interior/exterior del lugar de trabajo es el doble que el de su residencia, en un solo caso se encontró que el interior del lugar de trabajo contenía más concentración de ozono, esto por las actividades de fotocopiado e impresora que se realiza. Además, se encontró que existe una relación positiva del tiempo de permanencia en exterior e interior con la exposición personal.

2.10 Tipos de monitoreo

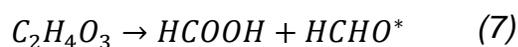
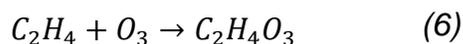
Por lo que hemos visto hay medición de ozono por estaciones fijas y en equipos personales o en ambientes específicos, usados de forma fija y móvil. Se usan diferentes métodos y equipos dependiendo de las características del proyecto. El diseño de equipos portátiles consta de monitores activos y pasivos, su diferencia es el flujo de aire que se hace pasar por él para su detección, flujo de aire mecánica y flujo por difusión respectivamente.

A continuación, se hace una breve descripción de algunos equipos y métodos para la medición de ozono.

2.10.1 Monitoreo de Referencia y Equivalente

2.10.1.1 Luminiscencia química

El resultado de reacción entre ozono y etileno es emisión de luz, este proceso es representado por las reacciones 6, 7 y 8. Etileno y ozono producen ozónido, que se disocia en ácido fórmico y formaldehído activado, que a su vez se disipa emitiendo luz por el exceso de energía que posee. Estos compuestos son pasados por una cámara carente de luz en donde se mezclan y reaccionan, la luz emitida es captada en su totalidad por un tubo fotomultiplicador que es convertida en una señal eléctrica. Este es el método de referencia establecido en la NOM-036-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición (NOM-CAM-003-ECOL/1993), puede ser sustituido por el método equivalente descrito en la misma norma.



2.10.1.2 Fotómetro de Luz Ultravioleta (UV)

Usado como método sustituto del método de referencia antes mencionado, se basa en la absorción de luz ultravioleta del rango del ozono. La intensidad se mide por un fotodetector que se encuentra al fondo de una cámara, en donde se hace pasar la

muestra a aire cero. El método depende del coeficiente de absorción del ozono (254 nm), su concentración y la distancia que viaja. (NOM-CAM-003-ECOL/1993; Ospina Montoya & Garrido Tamayo, 2013).

2.10.2 Monitoreo activo

2.10.2.1 Monitor personal de ozono

Por sus siglas en inglés POM de 2B Tech es un monitor personal con GPS, principio de medición de absorción UV, mediciones de 2 o 10 segundos, tiempos promedios de 1, 5 minutos o 1 hora, equipada con batería de litio (2.B Tech, s.f.; Cao & Thompson, 2016).

2.10.2.2 Monitor OZA-C10

Monitor de ozono portátil OZA-C10, está hecho con sensor químico electrónico y con tecnología de microcontrolador, medición de temperatura y humedad, bomba de aire, almacenamiento de datos y batería recargable (Honri Airclean Techology Co., s.f.).

2.10.2.3 Sensores Alphasense

Monitores de gas Alphasense, son sensores de gas de 2 a 3 vías, capaces de detectar NO₂ y NO, los sensores son conectados a un soporte, los contaminantes son registrados en una tarjeta SD para su posterior descarga (Liu M. B., 2020).

2.10.2.4 Semiconductor de óxidos metálicos

Sensor de ozono semiconductor de óxidos metálicos (MOS), estos sensores detectan gran cantidad de gases contaminantes, pero requieren de calibración (McKercher, Salmond, & Vanos, 2017). Contiene sensores de SGX Sensortech®, cuando se enciende se calienta la capa metálica haciéndolo sensible al gas y comenzará una reacción redox, donde el ozono es adsorbido y el oxígeno se desorbe al terminar la reacción, los resultados son guardados como voltajes (Cao & Thompson, 2016).

2.10.2.5 Sensor de conductividad eléctrica.

Se basa en reacciones químicas con métodos amperométricos, son sensibles a la presión y humedad, es por eso por lo que es necesario su calibración, su vida útil es de 1 año (Cao & Thompson, 2016).

2.10.2.6 Monitor Aeroqual serie 500

Es utilizado como monitor personal y en estado fijo, tiene una variedad de sensores como cabezales las cuales pueden ser sustituidas por la necesidad que se requiera (Cao & Thompson, 2016). El cabezal específico para ozono contiene sensores semiconductores de óxido metálico (Lin, y otros, 2017).

2.10.3 Monitores pasivos

Por su parte los monitores pasivos no requieren energía, es más fácil su manejo, son pequeños, fáciles de llevar, la capacitación es fácil. Se ha visto que los diferentes tipos de pasivos tienen una gran heterogeneidad en ambientes pequeños, (Kim & Rohr, 2021). No dan valores continuos como los activos, se obtienen valores integrados del tiempo de exposición (Hůnová, 2017).

Están basados en la ley de Fick, el contaminante ambiental es dirigido por la diferencia de concentración hasta el filtro colector donde reaccionan (Hůnová, 2017). Las muestras resultantes son analizadas con cromatografía iónica que se basa en una separación por cargas, la fase estacionaria cargada positiva o negativamente retiene a los solutos innecesarios para separar la muestra requerida (Gismera Garcia, Quintana Mani, & Silca de Campos, 2009). Los valores son detectados por conductividad, al contener cargas tanto de la muestra como de la fase móvil, en algunos casos existen iones de alta conductividad, haciendo difícil la detección de iones de baja conductividad, por lo que se usa un supresor para eliminar los ruidos de fondo (Universidad de Alicante , 2023).

2.10.3.1 Tubos Radiello

Pasivos de tubos de Radiello, son cartuchos cilíndricos de polietileno que por dentro contiene el cartucho, en un cuerpo difusor con protección de luz azul, es su caso se capta la muestra requerida por el área superficial del tubo en lugar de la base del cartucho como otros pasivos (Comunidad de Madrid, 2018).

2.10.3.2 Pasivos Ogawa

Fue elaborada en la Universidad de Harvard en 1991, ha sido utilizado en California desde 1997, en Toronto y la Ciudad de México desde 1995. El gobierno de los Estados Unidos, en el Servicio de Parques Nacionales utiliza actualmente desde el año 1994 (Ospina Montoya & Garrido Tamayo, 2013).

En la Figura 9 se muestran los componentes del pasivo Ogawa, el cual es un cilindro de 2.6 cm de largo, con diámetro exterior de 1.9 cm, con dos cavidades a los extremos, donde se coloca una base plana, un aro, malla, filtro, malla y la tapa difusora, cuentan con un portador que está equipado con broche dentado y un seguro para colocarlo en la ropa o en algún lugar fijo. Para monitorear ozono el filtro está impregnado de nitrito de sodio, que al estar en contacto con el ozono lo oxida a nitrato de sodio, la cantidad de nitrato es proporcional al ozono ambiental.

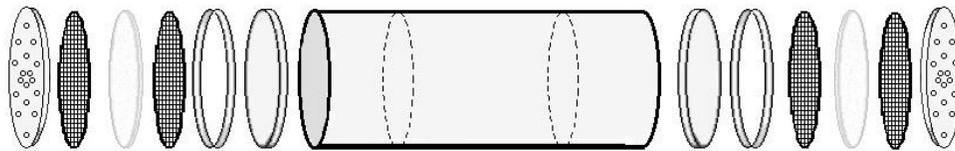


Figura 9. Conformación del pasivo Ogawa

2.10.3.3 Tubo Palmes

Tubo que capta las moléculas a determinar por medio de difusión de una parte del tubo que se encuentra abierta hasta un medio absorbente (Comunidad de Madrid, 2018). En la Figura 10 se explica su funcionamiento, junto con las partes del pasivo.

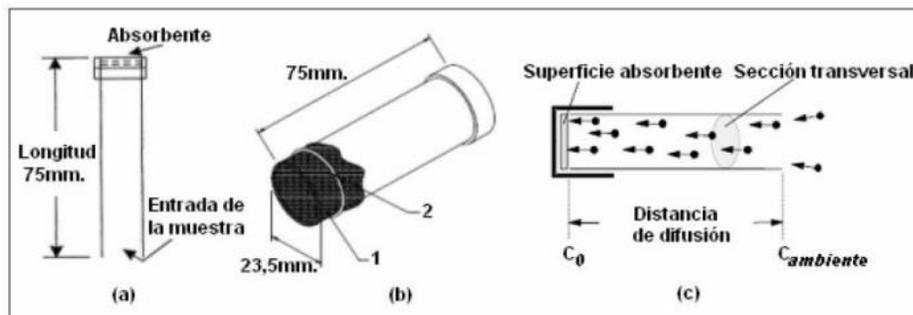


Figura 10. Tubo Palmes y su funcionamiento. Tomado de (Comunidad de Madrid, 2018)

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Determinar la exposición personal a ozono durante la realización de actividades cotidianas en la Ciudad de México utilizando monitores pasivos durante la época de contingencias ambientales del 2023.

3.2 Objetivos particulares

1. Determinar las concentraciones de ozono en ambientes intramuros y extramuros utilizando monitores pasivos tipo Ogawa a las que se exponen diferentes voluntarios durante la época de contingencias ambientales del 2023.
2. Cuantificar la exposición personal acumulada de ozono a la que se exponen los voluntarios utilizando cromatografía de líquidos de alta resolución.
3. Determinar cuáles son las actividades que representan la mayor exposición personal a ozono durante las actividades diarias de los voluntarios.

4 Metodología

4.1 Diseño de estudio

Con los datos que proporciona la RAMA se ha analizado las concentraciones de ozono que presenta la Ciudad de México, el comportamiento del contaminante ayudó a la selección de los puntos críticos, se tomó en cuenta las zonas con mayor y menor concentración, para tener una comparación de actividades y permanencias en éstas dos áreas.

El tiempo total de muestreo fueron 5 campañas, donde mayormente se inicia los lunes y termina los viernes, se seleccionó a los participantes que tuvieran facilidad de tiempo para desplazarse hasta el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAYCC) ubicada en la Ciudad Universitaria de la UNAM para la recolección y entrega de los pasivos. En general se tienen 2 tiempos de muestreo

en temporada secas-calientes: en temporada baja de ozono (marzo) y en temporada de ozono (abril – junio).

A cada uno se le proporcionó dos pasivos con la finalidad de monitorear ozono personal e interior. El pasivo personal representa la concentración individual del voluntario, el cual se llevó consigo todo el tiempo; el pasivo interior también llamado intramuros se colocó en la habitación de su casa, donde permaneció en la misma habitación en todas las campañas, nos referiremos a él como pasivo fijo.

4.1.1 Participantes voluntarios

De los participantes para este monitoreo se contó con personas no fumadoras y se les pidió no tener cercanía con fumadores activos. Los voluntarios totales fueron 6: 2 mujeres y 4 hombres, de edad entre 22 a 25 años.

4.1.2 Asesoramiento de exposición

Para las primeras indicaciones se hizo una reunión 3 días antes del primer monitoreo, se les explicó el modo de uso y cuidado de los pasivos, se entregaron guías de uso de pasivos (Anexo I) y bitácoras (Anexo II) para registrar en cada campaña sus actividades detalladamente.

Se recomendó la colocación del pasivo interior en la habitación donde el voluntario pasara el mayor tiempo en su casa, evitando la cocina y baño, la posición del pasivo no tiene que estar escondido, donde el flujo de aire pasara y se mantuviera en el mismo lugar durante la campaña.

Para el pasivo personal se les indicó colocarlo ya sea con el clip o con las pinzas del soporte en su ropa a la altura media del pecho y hombros, para estar lo más cerca del área de su respiración, se muestra el sitio de colocación del pasivo en los voluntarios en la Figura 11. Evitar estar en ambientes húmedos y en presencia de humo de cigarro, ya que, puede interferir en la reacción de la solución del filtro del pasivo. No se permitía usar al bañarse o dormir, en ese tiempo se mantuvo cerca de ellos como en mesitas de noche o escritorios en la misma habitación del pasivo fijo.



Figura 11. Colocación de pasivo personal

Los pasivos se les entregaron en bolsas herméticas para mantenerlo sin reaccionar hasta el momento adecuado, los voluntarios registraron la hora del comienzo de la exposición en la bitácora, donde también especificaban la hora de inicio y final de la actividad que realizaron durante la campaña, la delegación, una descripción del suceso y el tipo de transporte.

4.1.1 Sitios de estudio interior

Las ubicaciones proporcionadas por los voluntarios se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Delegación de viviendas de los voluntarios

| Voluntario | Delegación |
|-------------------|---------------------|
| 1 | Magdalena Contreras |
| 2 | Magdalena Contreras |
| 3 | Coyoacán |
| 4 | Tlalnepantla |
| 5 | Gustavo I. Madero |
| 6 | Iztapalapa |

La mayoría de ellos tiene una estación de monitoreo de ozono cerca de su domicilio. Los puntos de las viviendas y estaciones de la RAMA más próximas a ellas se muestran en la Figura 12, la estación más lejana es de 6.5 kilómetros de la residencia del voluntario y la más cercana de 1.15 kilómetros. Ninguna de las residencias tiene una fuente fija cercana que pudiera ser un contribuyente a la exposición requerida. Los voluntarios 1, 2 y 3 representan la zona sur de la ciudad, y los voluntarios 4, 5 y 6 la zona norte.

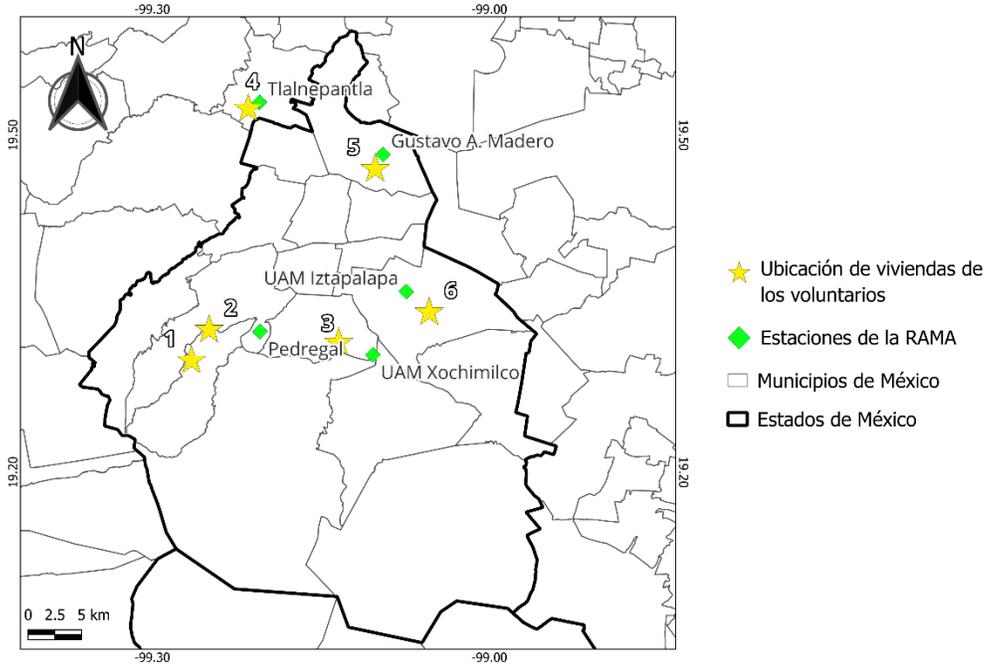


Figura 12. Ubicación de vivienda de voluntarios y estaciones de la RAMA más cercanas

4.1.1 Campañas de monitoreo

Con las estadísticas de ozono se sabe que la temporada de ozono es de marzo a junio, sabiendo esto se inició la primera campaña de temporada baja de ozono que se realizó del 6 al 11 de marzo del 2023. Las siguientes 4 campañas se realizaron en temporada de ozono descritas en la Tabla 3, durante este tiempo no se activó una contingencia por ozono.

Tabla 3. Campañas de muestreo

| Campaña | Fecha | Duración |
|----------------|---------------------|-----------------|
| 1 | 6 Marzo a 11 Marzo | 6 días |
| 2 | 28 Marzo a 1 Abril | 5 días |
| 3 | 24 Abril a 28 Abril | 5 días |
| 4 | 1 Mayo a 5 Mayo | 5 días |
| 5 | 8 Mayo a 12 Mayo | 5 días |

4.2 Manejo de pasivos en laboratorio

4.2.1 Procedimiento

4.2.1.1 Armado de pasivos

El armado se llevó a cabo en la cámara de guantes (Fig. 13), donde se hace pasar aire cero que no contiene contaminantes que alteren las concentraciones del filtro.

Por cada cuerpo cilíndrico del pasivo el orden de colocación es el mismo que el mencionado en la sección de Pasivos Ogawa; este proceso se realizó en los dos orificios del pasivo.

Terminado el armado del pasivo se coloca en el clip de soporte y se guarda en una bolsa metálica hermética con su etiquetado correspondiente.

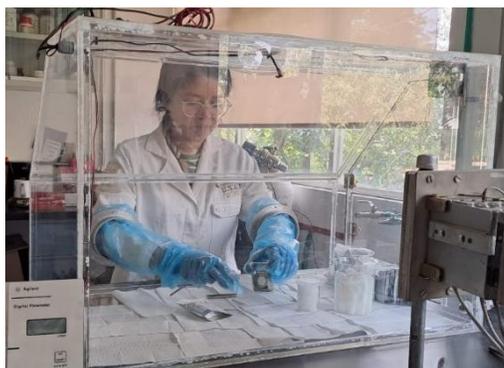


Figura 13. Armado y extracción de pasivos en la cámara de guantes

4.2.1.2 Extracción de pasivos

Las extracciones se recolectaron en frascos limpios Nalgene® donde se deposita las mallas y filtros, junto con 5 mL de agua desionizada.

Se almacenaron a temperaturas bajas para minimizar la degradación del nitrito y que afectara el análisis. Se usaron filtros en blanco para corregir las alteraciones de las muestras de las campañas.

La Figura 14 muestra las partes del pasivo, su montaje final (f) y en donde se guardaron para entrega a los voluntarios (e).

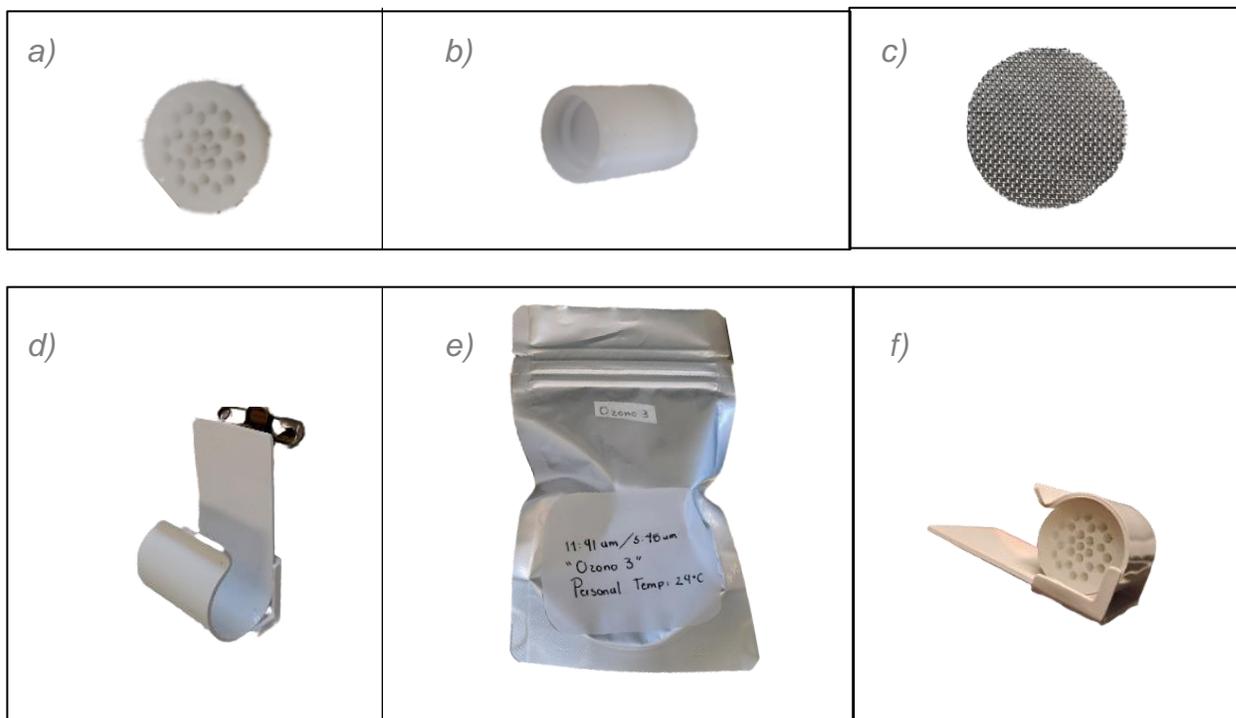


Figura 14. Partes del pasivo Ogawa

a) Tapa difusora, b) Cuerpo cilíndrico, c) Malla de acero, d) Soporte de pasivo, e) Pasivo Ogawa en el soporte, f) Pasivo en bolsa hermética etiquetado.

4.3 Técnica analítica

4.3.1 Análisis de filtros Ogawa

Para el análisis se utilizó un cromatógrafo de alta resolución, una vez que se completó la extracción de los pasivos. En la Tabla 4 se especifican las características del equipo cromatográfico utilizado.

Tabla 4. Condiciones de técnica analítica

| Parámetros | Característica |
|-------------------|--|
| <i>Columna</i> | PRP-X110S 7Mm 150 x 4.1 mm |
| <i>Fase móvil</i> | Carbonato de sodio 1.8 mM, Bicarbonato de sodio 1.7 mM y Tiocianato de sodio 0.1 mM. |
| <i>Flujo</i> | 1.5 ml/min |
| <i>Elusión</i> | Isocrático |
| <i>Detector</i> | Conductividad, SHIMADZU CDD-10A VP |
| <i>Horno</i> | SHIMADZU CTO-20A |
| <i>Bomba</i> | SHIMADZU LC 20AD |
| <i>Inyección</i> | 100 µL |
| <i>Supresor</i> | Dionex, ACRS 500 4 mm, ácido sulfúrico 25 mM |

4.3.2 Procedimiento

4.3.2.1 Preparación de Fase móvil

Para analizar las muestras se utilizó la técnica de cromatografía de iones con fase móvil de 1.7mM NaHCO₃, 1.8 mM Na₂CO₃ y 0.18 mM NaSCN. La técnica requiere que los fluidos sean lo más puros posibles, por lo que se filtra al vacío para impedir que cualquier materia sólida entre al sistema y es sonicado por media hora.

Para el análisis cromatográfico se realizan estándares de nitrito y nitrato para obtener el tiempo de retención.

Las muestras fueron filtradas utilizando acrodiscos Titan3, 17mm FILTER GREEN, 0.45µm, NYLON MEMBRANE a la hora de inyectar. Al finalizar se integra de forma manual cada cromatograma para obtener la concentración de la muestra, que

representa la concentración de ozono de forma líquida. La Figura 15 muestra una imagen en el momento de realizar una inyección de las muestras de exposición a ozono.



Figura 15. Inyección de muestras en el cromatógrafo

Se obtuvieron los datos meteorológicos a partir de las bases de la REDMET disponibles en la página <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27aKBi%27> para su cuantificación real de temperatura ambiente con las estaciones más cercanas a la vivienda de los voluntarios y ese valor es la que se sustituye en la ecuación 9 proporcionada por Ogawa (Keiro Higuchi, 2023).

$$O_3 \text{ concentración} = \frac{\alpha_{O_3} W_{O_3}}{t} \quad (9)$$

Donde:

α_{O_3} : coeficiente alfa, que depende de la temperatura [ppb min/ ng]

W_{O_3} : Concentración del análisis cromatográfico [ng]

t : tiempo de muestreo [min]

5 Resultados

5.1 Resultados generales de las actividades de los voluntarios

Los voluntarios se trasladaron de diferente manera y en diferentes sitios, de las bitácoras se tomaron la siguiente información de cada voluntario. La descripción del microambiente donde se posicionó el pasivo fijo se encuentra en el Anexo IV. En la Tabla 5 se muestran los tipos de transporte y las delegaciones que frecuentaban durante todo el tiempo de monitoreo.

Tabla 5. Recopilación general de los sitios de permanencia y su tipo de transporte de las 5 campañas

| Voluntario | Delegaciones | Tipo de transporte |
|-------------------|---|---|
| 1 | <i>Magdalena Contreras*, Coyoacán* y Álvaro Obregón</i> | <i>Auto, microbús, taxi, camión* y metro*</i> |
| 2 | <i>Magdalena Contreras*, Álvaro Obregón y Coyoacán</i> | <i>Camión* y metro*</i> |
| 3 | <i>Coyoacán*</i> | <i>Combi*, camión y auto</i> |
| 4 | <i>Tlanepantla* y Coyoacán*</i> | <i>Camión* y metro*</i> |
| 5 | <i>Gustavo A. Madero* y Venustiano Carranza</i> | <i>Auto, metrobus* y metro</i> |
| 6 | <i>Iztapalapa*, Gustavo A. Madero y Nezahualcóyotl</i> | <i>Metro* y auto*</i> |

* Todas las campañas

5.2 Comportamiento ambiental de ozono

Como se indica en la sección 2.7.1, el comportamiento local de ozono se modifica dependiendo de las características de la zona. En esta sección se muestra las concentraciones de ozono en la Cd. de Mx. durante el periodo de muestreo. Se tomaron los datos de ozono ambiental de las estaciones de la RAMA, realizando un promedio de la concentración de cada estación y con estos datos se realizaron los mapas de la Figura 16, utilizando el software Qgis 3.30.2, con escala de colores, iniciando de un tono claro para las concentraciones bajas, pasando por azules y morados, terminando en la concentración máxima de color rojo.

Cada uno de los mapas muestra la concentración promedio de ozono troposférico de su propia campaña de muestreo, en la Figura 16 se observa las residencias de los voluntarios con su número correspondiente y las estaciones de monitoreo de ozono. Cada mapa corresponde a una campaña: a) campaña 1, b) campaña 2, c) campaña 3, d) campaña 4, e) campaña 5, estos datos se tomaron en cuenta para percibir si los perfiles intramuros y extramuros tendrían una relación con los resultados de ozono ambiental durante la exposición de los voluntarios.

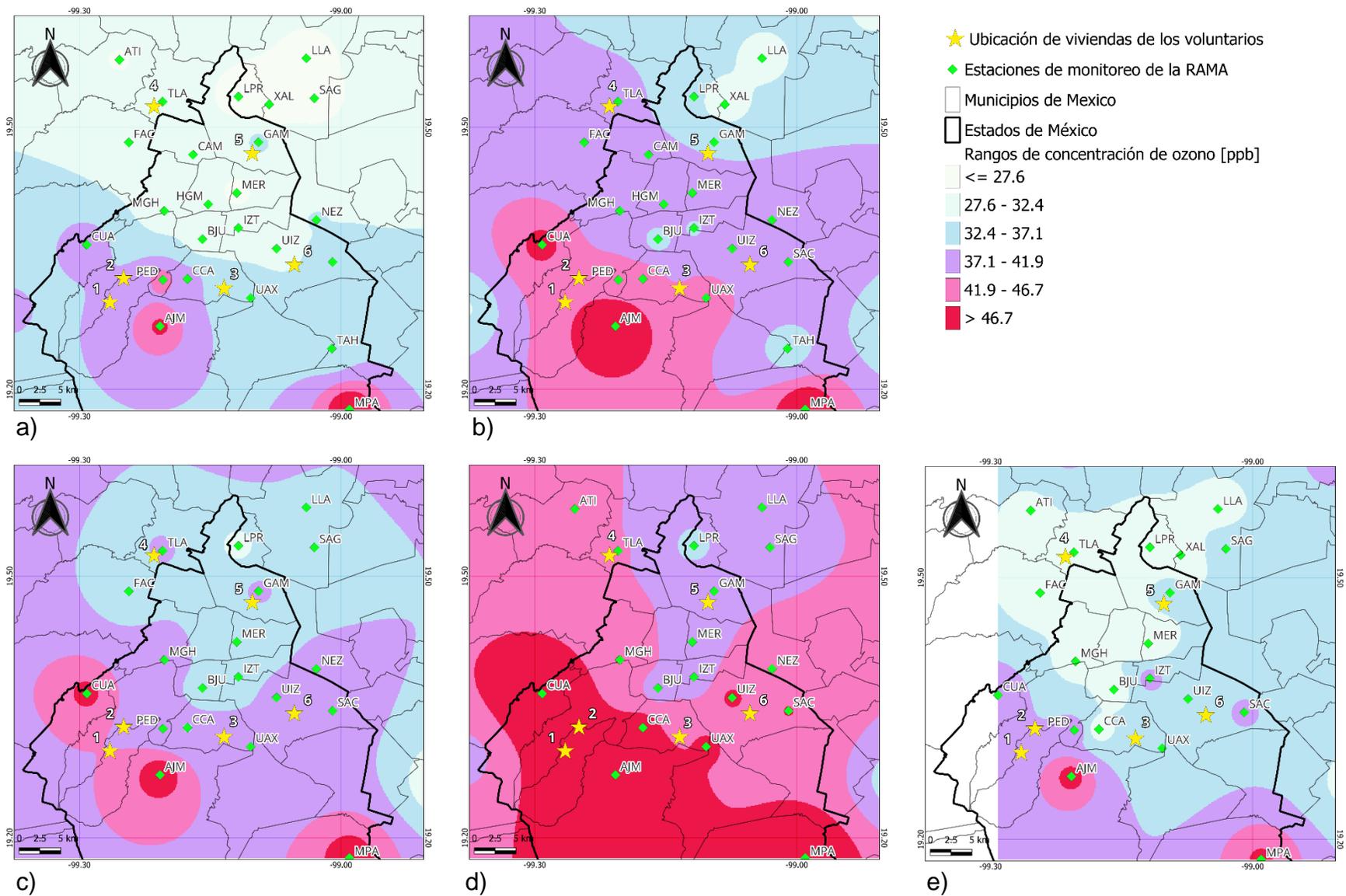


Figura 16. Comportamiento de ozono ambiental en las campañas de muestreo

5.3 Resultado de análisis cromatográfico

En las Figuras 17 a 21 se observan gráficas con las concentraciones de los pasivos de cada voluntario, se tiene como “Personal” al pasivo que llevaron consigo todo el tiempo, el “Fijo” es el pasivo que se quedó en una de las habitaciones de su casa. Para cada gráfica se tienen los resultados obtenidos de la campaña correspondiente en las Tablas 6 a 10. Donde las columnas representan las concentraciones de ozono expuesta y el grafico lineal representa el porcentaje en ambiente exterior del voluntario asociando al pasivo personal.

También se calculó el porcentaje de tiempo que el voluntario pasó en interiores y exteriores con referencia al pasivo personal, los espacios interiores se contaron como sitios cerrados, ya sea, una habitación, restaurante, salón o el transporte en cualquier vehículo; en exterior se contaron con cualquier sitio donde el flujo de aire no pueda ser regulado, como estar al aire libre, puestos en la calle, caminata al transporte, etc.

Tabla 6. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la primera campaña

| Voluntario | Fijo | | Personal | |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|
| | Concentración [ppb _v] | Concentración [ppb _v] | Porcentaje de tiempo de monitoreo | |
| | | | Interior | Exterior |
| 1 | 39.9 ± 2.2 | 141.9 ± 0.6 | 67% | 33% |
| 2 | 4.8 ± 0.1 | 147.8 ± 27.8 | 84% | 16% |
| 3 | 77.1 ± 12.5 | 91.2 ± 0.2 | 82% | 18% |
| 4 | 79.9 ± 3.9 | 44.2 ± 5.4 | 86% | 14% |
| 5 | <LOD | 15.9 ± 1.5 | 84% | 16% |
| 6 | 6.7 ± 3.5 | 11.7 ± 1.1 | 91% | 9% |

<LOD : abajo del límite de detección

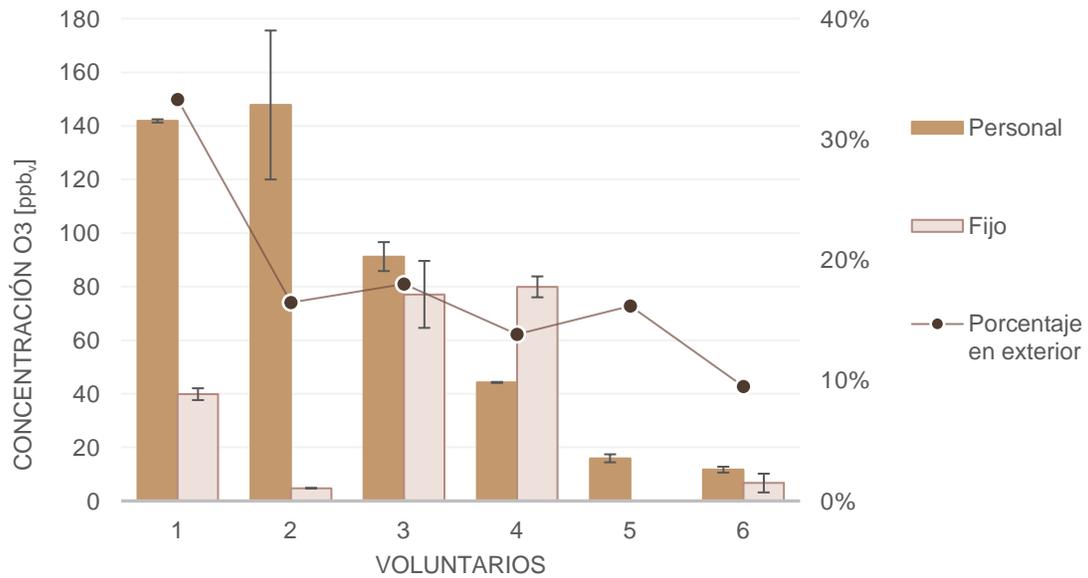


Figura 17. Promedio general de las muestras de la primera campaña

Tabla 7. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la segunda campaña

| Voluntario | Fijo | | Personal | |
|------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|
| | Concentración [ppbv] | Concentración [ppbv] | Porcentaje de tiempo de monitoreo | |
| | | | Interior | Exterior |
| 1 | 13.6 ± 14.9 | 34.6 ± 6.6 | 58% | 42% |
| 2 | <LOD | 7.0 ± 2.1 | 68% | 32% |
| 3 | 65.4 ± 7.8 | 42.4 ± 5.7 | 93% | 7% |
| 4 | 33.2 ± 14.1 | 69.8 ± 39.6 | 91% | 9% |
| 5 | 15.5 ± 0.0 | <LOD | 92% | 8% |
| 6 | 3.3 ± 1.1 | 30.4 ± 2.1 | 88% | 12% |

<LOD : abajo del límite de detección

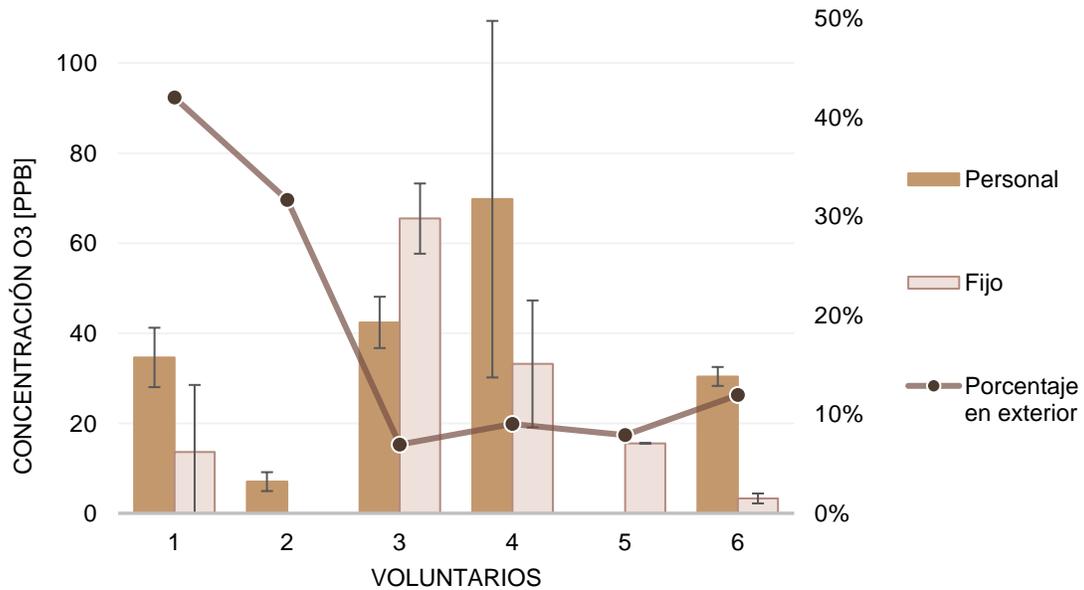


Figura 18. Promedio general de las muestras de la segunda campaña

Tabla 8. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la tercera campaña

| Voluntario | Fijo | | Personal | |
|------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|----------|
| | Concentración [ppbv] | Concentración [ppbv] | Porcentaje de tiempo de monitoreo | |
| | | | Interior | Exterior |
| 1 | 18.7 ± 0.2 | 110.5 ± 0.2 | 64% | 36% |
| 2 | 25.4 ± 0.4 | 54.6 ± 5.7 | 60% | 40% |
| 3 | 143.7 ± 0.4 | 84.0 ± 0.0 | 95% | 5% |
| 4 | 109.3 ± 2.7 | 43.9 ± 0.1 | 95% | 5% |
| 5 | 57.2 ± 0.6 | 11.3 ± 0.8 | 90% | 10% |
| 6 | 94.3 ± 0.1 | 20.1 ± 0.1 | 94% | 6% |

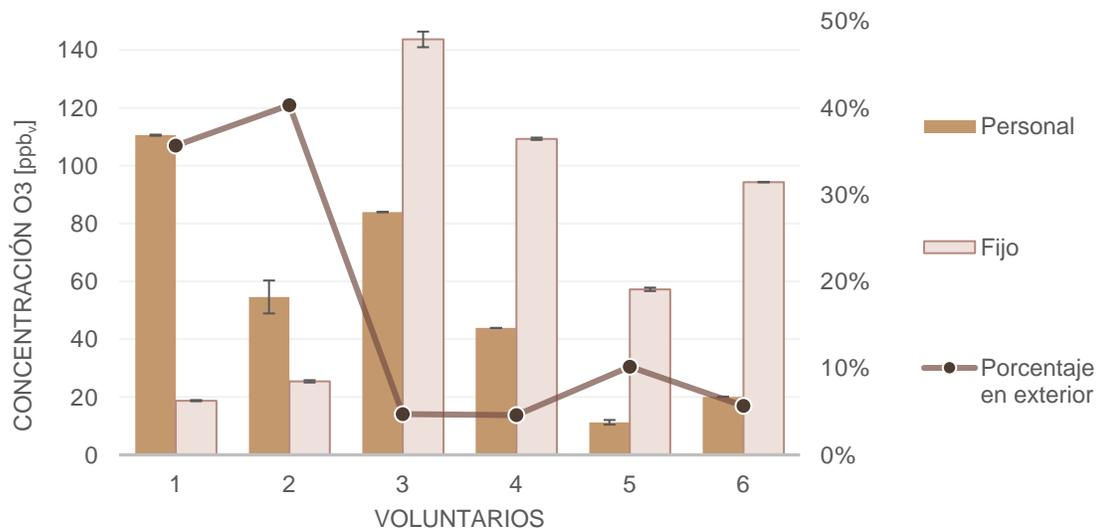


Figura 19. Promedio general de las muestras de la tercera campaña

Tabla 9. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la cuarta campaña

| Voluntario | Fijo | | Personal | |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|
| | Concentración [ppb _v] | Concentración [ppb _v] | Porcentaje de tiempo de monitoreo | |
| | | | Interior | Exterior |
| 1 | 40.0 ± 2.3 | 65.1 ± 0.1 | 67% | 33% |
| 2 | 11.7 ± 1.1 | 131.0 ± 0.6 | 67% | 33% |
| 3 | 57.7 ± 1.2 | 113.6 ± 0.8 | 90% | 10% |
| 4 | 37.3 ± 1.5 | 137.0 ± 1.3 | 92% | 8% |
| 5 | 31.2 ± 0.2 | 71.3 ± 1.1 | 96% | 4% |
| 6 | 58.4 ± 0.2 | 29.8 ± 0.8 | 94% | 6% |

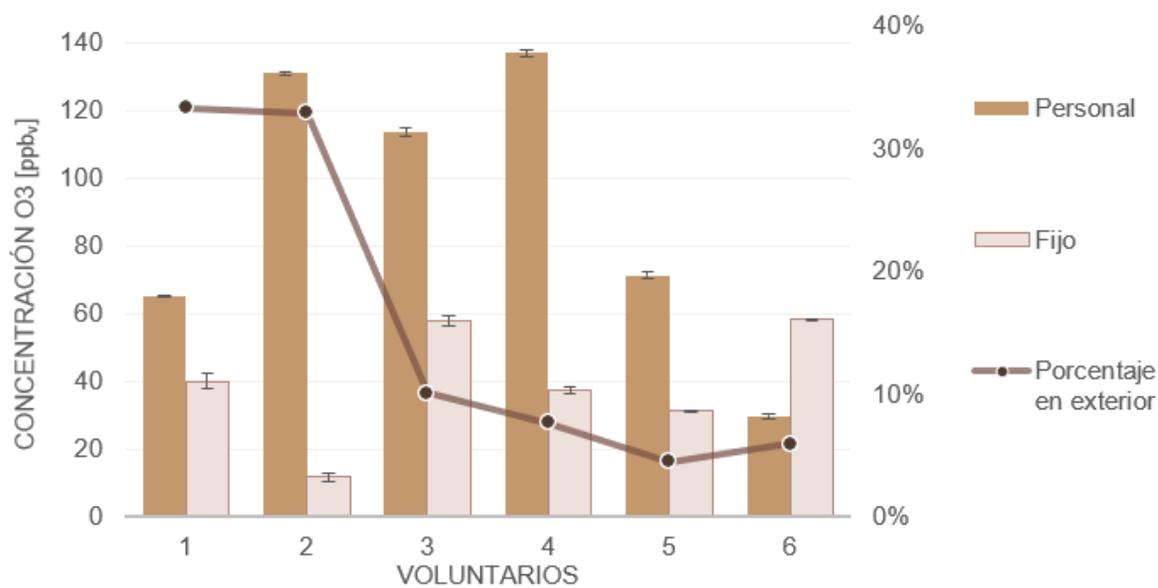


Figura 20. Promedio general de las muestras de la cuarta campaña

Tabla 10. Promedio de pasivo fijo y personal con porcentaje de ambiente de la quinta campaña

| Voluntario | Fijo | | Personal | |
|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|
| | Concentración [ppb _v] | Concentración [ppb _v] | Porcentaje de tiempo de monitoreo | |
| | | | Interior | Exterior |
| 1 | 24.5 ± 1.6 | 27.7 ± 0.4 | 76% | 24% |
| 2 | 6.4 ± 0.9 | <LOD | 68% | 32% |
| 3 | 73.9 ± 0.4 | 0.5 ± 0.6 | 91% | 9% |
| 4 | 45.8 ± 0.6 | 4.6 ± 2.0 | 84% | 16% |
| 5 | 4.2 ± 0.1 | 6.1 ± 0.3 | 89% | 11% |
| 6 | <LOD | <LOD | 92% | 8% |

<LOD : abajo del límite de detección

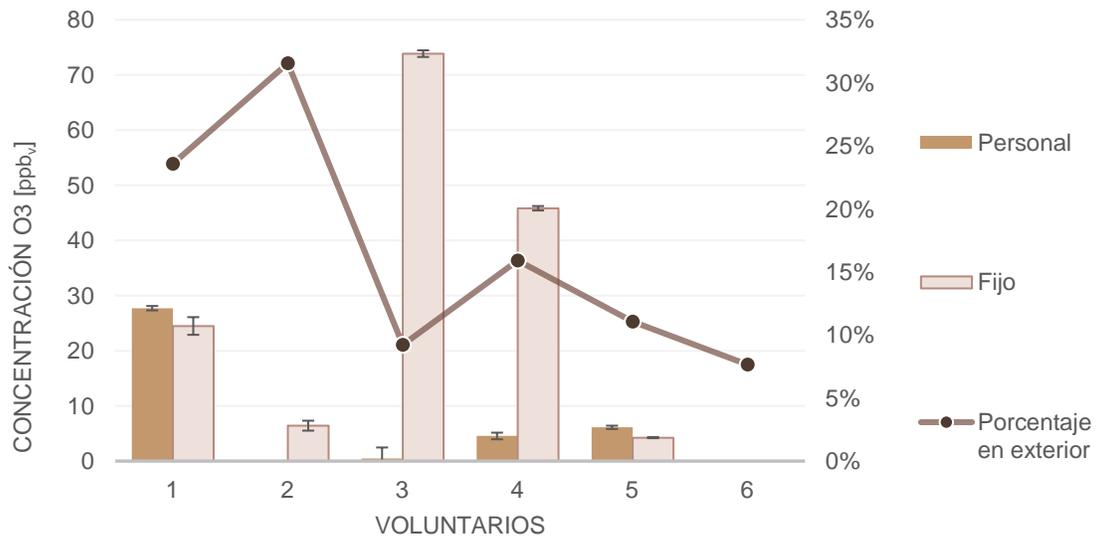


Figura 21. Promedio general de las muestras de la quinta campaña

En las Tablas 11 a 15 se presentan por voluntario las concentraciones de ozono en cada exposición de cada campaña.

Tabla 11. Concentración del voluntario 1

| Campaña | Fijo Concentración [ppb_v] | Personal Concentración [ppb_v] |
|----------------|---|---|
| 1 | 39.9 ± 2.2 | 141.9 ± 0.6 |
| 2 | 13.6 ± 14.9 | 34.6 ± 6.6 |
| 3 | 18.7 ± 0.2 | 110.5 ± 0.2 |
| 4 | 40.0 ± 2.3 | 65.1 ± 0.1 |
| 5 | 24.5 ± 1.6 | 27.7 ± 0.4 |

Tabla 12. Concentración del voluntario 2

| Campaña | Fijo Concentración [ppb_v] | Personal Concentración [ppb_v] |
|----------------|---|---|
| 1 | 4.8 ± 0.1 | 147.8 ± 27.8 |
| 2 | <LOD | 7.0 ± 2.1 |
| 3 | 25.4 ± 0.4 | 54.6 ± 5.7 |
| 4 | 11.7 ± 1.1 | 131.0 ± 0.6 |
| 5 | 6.4 ± 0.9 | <LOD |

Tabla 13. Concentración del voluntario 3

| Campaña | Fijo Concentración [ppb_v] | Personal Concentración [ppb_v] |
|----------------|---|---|
| 1 | 77.1 ± 12.5 | 91.2 ± 0.2 |
| 2 | 65.4 ± 7.8 | 42.4 ± 5.7 |
| 3 | 143.7 ± 0.4 | 84.0 ± 0.0 |
| 4 | 57.7 ± 1.2 | 113.6 ± 0.8 |
| 5 | 73.9 ± 0.4 | 0.5 ± 0.6 |

Tabla 14. Concentración del voluntario 4

| Campaña | Fijo Concentración [ppb_v] | Personal Concentración [ppb_v] |
|----------------|---|---|
| 1 | 79.9 ± 3.9 | 44.2 ± 5.4 |
| 2 | 33.2 ± 14.1 | 69.8 ± 39.6 |
| 3 | 109.3 ± 2.7 | 43.9 ± 0.1 |
| 4 | 37.3 ± 1.5 | 137.0 ± 1.3 |
| 5 | 45.8 ± 0.6 | 4.6 ± 2.0 |

Tabla 15. Concentración del voluntario 5

| Campaña | Fijo Concentración [ppb_v] | Personal Concentración [ppb_v] |
|----------------|---|---|
| 1 | <LOD | 15.9 ± 1.5 |
| 2 | 15.5 ± 0.0 | <LOD |
| 3 | 57.2 ± 0.6 | 11.3 ± 0.8 |
| 4 | 31.2 ± 0.2 | 71.3 ± 1.1 |
| 5 | 4.2 ± 0.1 | 6.1 ± 0.3 |

Tabla 16. Concentración del voluntario 6

| Campaña | Fijo Concentración [ppb_v] | Personal Concentración [ppb_v] |
|----------------|---|---|
| 1 | 6.7 ± 3.5 | 11.7 ± 1.1 |
| 2 | 3.3 ± 1.1 | 30.4 ± 2.1 |
| 3 | 94.3 ± 0.1 | 20.1 ± 0.1 |
| 4 | 58.4 ± 0.2 | 29.8 ± 0.8 |
| 5 | <LOD | <LOD |

<LOD : abajo del límite de detección

6 Análisis de resultados

OZONO AMBIENTAL

El ozono ambiental fue variado en todas las campañas, el lado sur siempre tuvo una máxima presencia de ozono con un máximo de 62.4 ppbv de promedio. De forma general en la ciudad se ve un aumento en la concentración de la campaña 1 a la 4, siendo la 5 más similar a la campaña inicial, este aumento se ve reflejado en la exposición personal, en el caso de la 4ta campaña se observa muy marcado el aumento de concentración en todos los voluntarios independientemente de sus actividades.

Aunque la campaña 4 es la que presentó mayor concentración de ozono, en ningún momento se rebasó el límite de 150 ppb para la activación de contingencia. La máxima concentración en 1 hora fue de 138 ppbv en Ajusco Medio (AJM) y con un promedio máximo de 1 día de 73.4 ppbv en la misma estación. Pero todos los participantes tuvieron una mayor concentración de ozono en el pasivo personal, en el pasivo fijo no se observó un aumento considerable, podemos decir que cuando hay mayor temperatura en el ambiente, en los hogares cierran las ventanas y puertas para que se mantenga el interior más fresco, impidiendo que el ozono a través del aire entrara y tuvieran contacto con él.

PASIVOS FIJOS

Se relacionaron 3 factores que podrían afectar la exposición en los pasivos fijos, los cuales son:

- 🏠 Zona residencial. Buscamos una diferencia clara del grupo de viviendas de cada zona (norte y sur).
- 🏠 Ozono ambiental. Se tenga relación con las variaciones de ozono en el aire de cada campaña, es decir, la diferencia que se tenga de ozono de campaña a campaña sea proporcional con la concentración resultante en el pasivo.

- 🏠 Hábitos de casa. El uso de materiales o equipos que fomenten la producción de ozono, el tipo de ventilación, filtración y frecuencia de ventilación del hogar con ventanas y puertas.

El promedio de las concentraciones de los pasivos fijos son las máximas en los voluntarios 3 y 4, que se encuentran cada uno en lados opuestos de la ciudad, a pesar de la concentración el voluntario del lado norte no superó las concentraciones del voluntario del sur. El voluntario 3 vive cerca de 2 avenidas grandes a una distancia de aproximadamente 500 m y 1.4 km, donde empieza el flujo de autos a las 7:00 am, un tráfico de moderado a alto de 12:00 pm a 16:00 con un repunte a las 18:00. Para el voluntario 4, se encuentra cerca de 3 vialidades grandes de 350 a 800 m, tiene 3 ciclos de tráfico donde la carga de autos se acumula rápido y va disminuyendo lentamente, empezando de las 7:00 am, 14:00 y 20:00.

Tomando en cuenta cada campaña y cada vivienda individual en el transcurso del monitoreo en ninguna casa hay una tendencia de concentración de ozono, no se relacionan con la concentración de ozono ambiental, como se relaciona la concentración de ozono con los pasivos personales en la campaña 4, tampoco existe relación con la zona en la que se encuentran las viviendas destacando uno de los lados de la ciudad.

Uno de los comentarios proporcionado por la voluntaria 3, es la ventilación de la habitación del pasivo fijo durante las campañas 3 y 4, en la campaña 3 comenta que la ventana de la habitación fue abierta sin que estuviera presente en la habitación, teniendo como resultado en ese caso una mayor concentración que en el pasivo personal, mientras en la 4ta campaña la ventilación se modificó, siendo el flujo de aire manejada por su propia cuenta, así el tiempo que pasara en esa habitación sería estando en las mismas condiciones los dos pasivos.

Igualmente, el voluntario 5 comenta que la ventilación fue poca y se demuestra en la baja concentración en la que se encuentra su pasivo, en el caso de la primera campaña donde la concentración no pudo ser detectada por la mínima cantidad de ozono que representó para ese muestreo. Tienen el mismo caso la voluntaria 2 en la semana 2 y el voluntario 6 en la semana 5, se puede atribuir al ozono ambiental

que en esas semanas no fueron elevadas, y a que ninguno de ellos presentó ventilación en la habitación del pasivo fijo.

Tampoco existe alguna relación entre el voluntario 1 y 2, viven relativamente cerca, pero sus concentraciones al interior del hogar no fueron parecidas en las campañas, entonces el pasivo fijo depende más de las condiciones del hogar que en la localización de ésta.

Además de la fuente externa que pueda pasar por filtración y ventilación, el ozono se puede generar en interiores por fuentes de radiación UV, faxes, impresoras láser y fotocopiadoras; en talleres de soldadura, imprentas, donde se use ozono como desinfectante (Shirk, 2000). Solo la voluntaria 3 tenía en la misma habitación del pasivo fijo una fotocopiadora, la cual utilizaba pocas veces.

PASIVOS PERSONALES

Las concentraciones de ozono que se encuentran en los pasivos personales se relacionaron con el tiempo en exterior, las zonas en donde realizaban sus actividades, el tipo de transporte que utilizaban y el horario en el que realizaron su actividad en el exterior.

TIEMPO DE EXPOSICIÓN

Los voluntarios que presentaron más concentración de ozono fueron los participantes del sur, los voluntarios 1 y 2 tuvieron el mayor porcentaje en ambientes exteriores, aunque la voluntaria 3 no tuvieron un porcentaje considerable sigue teniendo alta exposición. Se destacan los primeros dos voluntarios ya que principalmente tienen un porcentaje mayor del 20%, que es el doble en el que en promedio una persona pasa su tiempo al aire libre (Zhang X. Z., 2023).

Los voluntarios 5 y 6 de la zona norte tuvieron la menor exposición exterior, no sobrepasó el 18% de su tiempo, ellos no realizaban actividades prolongadas en exterior y únicamente se mantienen en la zona norte de la ciudad, consistía más en pequeños traslados a pie o en automóvil.

TRANSPORTE

Lo que destaca del voluntario número 4 dentro del grupo del norte, que se encuentra en Tlalnepantla, es su tipo de transporte y la zona en donde realiza sus actividades, presenta el trayecto más largo entre los voluntarios, abarcando la zona norte y sur, donde usa completamente el transporte público, que incluye camiones y metro. A diferencia de los otros voluntarios de la misma zona que sus actividades las realizan únicamente en el lado norte de la ciudad.

PASIVOS OGAWA

Los pasivos son afectados por la temperatura y la humedad, la ecuación con la que se calcula el ozono (Sección 4.3.4) tiene en cuenta una humedad base del 70%, lo cual no refleja el espacio real. En los microambientes a los que se expusieron los 2 pasivos de cada voluntario fue diferente.

Para los pasivos fijos en intramuros, representa un ambiente más controlado y homogéneo, conforme se eleva el sol la temperatura va aumentando y disminuye al anochecer, con la humedad ocurre de manera contraria, en la noche y madrugada se encuentra elevada y conforme sale el sol la humedad disminuye; estas dos características forman un ciclo que es el mismo en todo el monitoreo, entonces el pasivo fijo se expone al ciclo de éstas dos condiciones cada día del muestreo.

Los voluntarios realizaron actividades diversas en diferentes ambientes y con diferentes medios de transporte, por tanto, los efectos que puede representar al pasivo personal fueron diferentes al fijo, tanto la humedad como la temperatura cambian en los microambientes en los que permanecieron, como al cambiar de habitación en su casa, de estar en la calle a subir al transporte, espacios con diferente número de personas, es por eso que este pasivo no llega a representar correctamente la exposición.

Se recomienda el uso de monitores de humedad y temperatura al usar pasivos para complementar el monitoreo.

7 Conclusión

Con la técnica de cromatografía iónica se pudo evaluar las muestras de exposición de ozono, dando valores de exposición a las actividades cotidianas de los 6 voluntarios.

Se evaluaron concentraciones de ozono personal e intramuros de la Ciudad de México, se encontró una exposición mayor en la zona sur, los resultados de los pasivos personales muestran concentraciones altas en la zona sur con concentraciones de 131 a 147.8 ppbv, mientras los pasivos del norte tienen un valor máximo de 137.0 ppbv.

Los valores de los pasivos que se encuentran en el hogar nos dicen que, la exposición en intramuros no estará influenciada por la zona de concentración de ozono en la que se encuentre, más bien dependerá de la ventilación de la habitación, si tiene algún emisor de ozono cerca, ya sea, de la propia casa o de algún lugar que por medio de la dirección del viento llegue hasta su hogar.

Los resultados sugieren que la exposición personal a ozono es influenciada por el tiempo de permanencia en ambientes intra y extramuros. Además, el tipo de trayecto y la zona donde se realizan actividades al aire libre también tienen influencia sobre dicha exposición.

Referencias

- 2.B Tech. (s.f.). Recuperado el 2023, de POM TM, Personal Ozone Monitor TM: <https://www.twobtech.com/pom-personal-ozone-monitor.html>
- Ainsworth, E., Yendrek, C., Sitch, S., Collins, W., & Emberson, L. (2012). The Effects of Tropospheric Ozone on Net Primary Productivity and Implications for Climate Change*. *Annual review of plant biology*, 637 - 661.
- AIRE, C. D. (Octubre de 2023). SEDEMA. Obtenido de PCCA, Calidad de aire: <http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/breatheLife/calidadAire.html>
- Anglés, M., Rovalo, M., & Tejado, M. (2021). *Manual de derecho ambiental mexicano*.
- Bekki, S., & Lefèvre, F. (2009). Stratospheric ozone: History and concepts and interactions with climate. *In EPJ Web of Conferences*, 113 - 136.
- Bell, M. (2006). The use of ambient air quality modeling to estimate individual and population exposure for human health research: A case study of ozone in the Northern Georgia Region of the United States. *Environment International*, 586 - 593.
- Bergmann, E., Bender, J., & Weigel, H. (2017). Impact of tropospheric ozone on terrestrial biodiversity: A literature analysis to identify ozone sensitive taxa. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 83 - 105.
- Botello Taboada, V. (2023). *Exposición a ozono y disfunción endotelial : biomarcadores relacionados con la síntesis del óxido nítrico*. [Tesina de licenciatura, UNAM].
- Bräuner, E., Karottki, D., Frederiksen, M., Kolarik, B., Spilak, M., Andersen, Z., . . . Loft, S. (2016). Residential ozone and lung function in the elderly. *Indoor and Built Environment*, 93 - 105.
- Calidad de aire SEDEMA. (04 de Mayo de 2023). *Historico de contingencias* . Obtenido de Historico de contingencias : <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/ultima-hora/calidad-aire/pcaa/pcaa-historico-contingencias.pdf>
- CAME . (23 de Febrero de 2023). *Acciones para la Temporada de ozono 2023*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/805513/Conferencia_Acciones_para_la_Temporada_de_Ozono__23feb23.pdf
- Cao, T., & Thompson, J. (2016). Personal monitoring of ozone exposure: A fully portable device for under \$150 USD cost. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 936 - 943.

- Chávez Hernández, B. (2022). *Simulación de daño por ozono y dióxido de azufre en Fraxinus uhdei (Wenz.) Lingelsh y Pinus greggii Englem.* [Tesis de licenciatura, UNAM].
- Comisión Ambiental de la Megalópolis . (30 de Marzo de 2016). *CAMe*. Obtenido de Prensa: <https://www.gob.mx/comisionambiental/prensa/comunicado-de-prensa>
- Comunidad de Madrid. (Junio de 2018). *Evaluación de las mediciones difusas mediante la utilización de captadores pasivos*. Obtenido de https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/atm-e-ed-07_it_evaluacion_emisiones_difusas_mediante_captadores_pasivos_2018-06_rev1.pdf
- Corradi, M., Alinovi, R., Goldoni, M., Vettori, M., Folesani, G., Mozzoni, P., . . . Mutti, A. (2002). Biomarkers of oxidative stress after controlled human exposure to ozone. *Toxicology Letters*, 219-225.
- de la Mata, J., & Felipe Antón, M. (2010). Ozono en la salud. *Colegio Oficial de Farmacéuticos de Madrid*, 44 - 51.
- Delgado Peralta, M. T. (30 de Junio de 2009). *Gaceta Oficial del Distrito Federal*. Obtenido de MANUAL PARA LA APLICACIÓN DEL PROGRAMA PARA CONTINGENCIAS AMBIENTALES ATMOSFÉRICAS EN EL DISTRITO FEDERAL.: <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/2274.htm>
- Dongbin Zheng, Jianjun Huang, Yuyu Fang, Yun Deng, Cheng Peng, & Win Dehaen. (2023). Fluorescent probes for ozone-specific recognition: An historical overview and future perspectives. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*.
- El Economista. (20 de 12 de 2016). ¿Cuál fue el día más contaminado del año? *El Economista*.
- Erickson, D., Sulzberger, B., Zepp, R., & Austin, A. (2015). Effects of stratospheric ozone depletion, solar UV radiation, and climate change on biogeochemical cycling: interactions and feedbacks. *Royal society of chemistry*, 127 - 148.
- Espinoza Saucedo, G., & Soto Sánchez, N. (19 de Junio de 2020). *Dialogos Ambientales*. Obtenido de La SEMARNAT y la normatividad ambiental.
- Evangelopoulos, D., Chatzidiakou, L., Walton, H., Katsouyanni, K., Kelly, F., Quint, J., . . . Barratt, B. (2021). Personal exposure to air pollution and respiratory health of COPD patients in London. *European Respiratory Journal*.
- Ghosh, A., Singh, A., Agrawal, W., & Agrawal, S. (2018). Ozone Toxicity and Remediation in Crop Plants. *Sustainable Agriculture Reviews*, 129 - 169.

- Gismera Garcia, M., Quintana Mani, M., & Silca de Campos, M. (2009). *Introducción a la cromatografía en alta resolución*. Madrid, España: Iniversidad Autónoma de Madrid.
- Gonzalez Guevara, E. (2015). *Participacion de la inflamacion en las alteraciones del sistema nervioso central producidas por la inhalacion de ozono*. [Tesis doctoral, UNAM].
- Honri Airclean Techcology Co., L. (s.f.). *Honri Airclean Techcology Co., Ltd*. Obtenido de Electrochemical Method Suction Pump Handheld Ozone Tester.
- Hůnová, I. (2017). Measurements of ground-level ozone in Czech mountain forests: what we have learnt from using diffusive samplers. *European Journal of Environmental Sciences*, 125 - 129.
- INE-SEMARNAT. (2007). *Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad de aire en nuevas ciudades mexicanas*. Obtenido de <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/3erAlmanaque.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología. (Marzo de 2010). *Manuales de monitoreo*. Obtenido de Principios de medición de la Calidad del Aire: <https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-%20Principios%20de%20Medicaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf>
- Jaimes, M., & Retama, A. (2015). Diseño motorizado de perxusores oxidantes fotoquímicos de México y su área metropolitana. *ResearchGate*.
- Kalimeri, K., Bartzis, J., & Saraga, D. (2017). Commuters' Personal Exposure to Ambient and Indoor Ozone in Athens, Greece. *Environments*, 53.
- Keiro Higuchi, D. R. (03 de Mayo de 2023). *Ogawa.USA*. Obtenido de Advanced Monitoring Method for Air Environment by: <http://ogawausa.com/wp-content/uploads/2014/04/PosterGeneralOgawaSampler.pdf>
- Khaniabadi, Y. O., Hopke, P. K., Goudarzi, G., Daryanoosh, S., Jourvand, M., & Basiri, H. (2017). Cardiopulmonary mortality and COPD attributed to ambient ozone. *Environmental Research*, 336-341.
- Kim, C., & Rohr, A. (2021). Review and analysis of personal-ambient ozone measurements. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 1333-1346.
- Li, Y., Muthuramalingam, M., & Mahalingam, R. (2015). Genetic Manipulation in Plants for Mitigation of Climate Change. *Springer India*, 1 - 14.
- Lin, C., Masey, N., Wu, H., Jackson, M., Carruthers, D., Reis, S., . . . Heal, M. (2017). Practical Field Calibration of Portable Monitors for Mobile Measurements of Multiple Air Pollutants. *Atmosphere*, 231.

- Liu, M. B. (2020). Using low-cost sensors to monitor indoor, outdoor, and personal ozone concentrations in Beijing, China. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 131 - 143.
- Liu, M., Barkjohn, K., Norris, C., Schauer, J., Zhang, J., Zhang, Y., . . . Bergin, M. (2020). Using low-cost sensors to monitor indoor, outdoor, and personal ozone concentrations in Beijing, China. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 131 - 143.
- McKercher, G., Salmond, J., & Vanos, J. (2017). Characteristics and applications of small, portable gaseous air pollution monitors. *Environmental Pollution*, 102 - 110.
- Michael Jerrett, P. R. (17 de Marzo de 2009). Exposición al ozono a largo plazo y mortalidad. *The new england journal of medicine*.
- Nikolaos, A., Dionosios, S., Kalliopi, D., Konstantina, D., Evangelia, S., Georgios, K., . . . Despina, P. (2017). Effect of Ambient Ozone Exposure Assessed by Individual Monitors on Nasal Function and Exhaled NO Among School Children in the Area of Thessaloniki, Greece. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 509 - 515.
- NORMA OFICIAL MEXICANA. QUE ESTABLECE LOS METODOS DE MEDICIÓN PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE OZONO EN EL AIRE AMBIENTE Y LOS PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE OS EQUIPOS DE MEDICIÓN. (1993). NOM-CAM-003-ECOL/1993.
- Ojeda, M. (2006). El ozono estratosférico. *Tethys*, 3, 47 - 58.
- OMS. (21 de Junio de 2022). *Centro de prensa*. Obtenido de Radiación ultravioleta: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ultraviolet-radiation>
- OMS. (19 de Diciembre de 2022). *Centro de prensa*. Obtenido de Contaminación del aire ambiente (exterior): [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Ospina Montoya, A., & Garrido Tamayo, M. (2013). Técnicas de medición de ozono: Métodos tradicionales frente al método de cámara de absorción con led ultravioleta como fuente de luz. *Gestión y Ambiente*, 95 - 104.
- OZONO, E. (2012). ESTRATOSFÉRICO. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamerica*, 41 - 49.
- Qingyu Meng, R. W. (2012). Determinants of the associations between ambient concentrations and personal exposures to ambient PM2.5, NO2, and O3 during DEARS. *Atmospheric Environment*, 109 - 116.
- Rangel, E., & Santoyo, M. (2018). Formación del ozono y reactividad de la atmosfera en la Ciudad de México. *Educación Química*, 179 - 185.

- Rodríguez Moreno, D. (2023). *Exposición prenatal a material particulado y ozono, su asociación con el contenido de ADN mitocondrial placentario*. [Tesis de Maestría, UNAM].
- Romieu, I., Cortés Lugo, M., Ruíz Velasco, S., Sánchez, S., Meneses, F., & Hernández, M. (1992). Air pollution and school absenteeism among children in Mexico city. *American Journal* , 1524 - 1531.
- Rosalba Rojas-Martinez, R. P.-P.-F.-A.-M. (2007). Crecimiento de la función pulmonar en niños con exposición prolongada a contaminantes atmosféricos en la Ciudad de México. *Revista estadounidense de medicina respiratoria y de cuidados intensivos*.
- Sánchez, F. (2006). Consideraciones sobre la capa de ozono y su relación con el cancer de piel. *Revista medica de Chile*, 1185 - 1190.
- Secretaría de Gobernación. (s.f.). *Breve historia*. Obtenido de Periódico oficial en México: <https://dof.gob.mx/historia.php#gsc.tab=0>
- Secretaría de Salud (SSA). (2019). *NOM-172-SEMARNAT-2019: Lineamientos para la obtención y comunicación del Índice*. Ciudad de México: SSA.
- Secretaria de Salud. (2021). *NOM-020-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O3). Valores normados para la concentración de ozono (O3) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población*. Ciudad de México SSA.
- Secretaria del Medio Ambiente. (28 de Julio de 2018). *SEDEMA*. Obtenido de Consulta pública, PROY-NADF-009-AIRE-2017: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/Consulta-Publica-PROY-NADF-009-AIRE-2017.pdf>
- SEDEMA. (2016). *4to Informe de gobierno*. Ciudad de México.
- SEDEMA. (2017). *5to informe de gobierno*. Obtenido de <https://sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5a1/db0/045/5a1db00453394630961121.pdf>
- SEDEMA. (2018). Obtenido de Principales generadores de emisiones en la ZMVM.
- SEDEMA. (26 de Julio de 2018). *Secretaria del Medio Ambiente*. Obtenido de Consulta pública, PROY-NADF-009-AIRE-2017: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/Consulta-Publica-PROY-NADF-009-AIRE-2017.pdf>
- SEDEMA. (2021). *Aire CDMX*. Obtenido de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/simat-entornos.pdf>
- SEDEMA. (Marzo de 2023). Obtenido de Información complementaria sobre contingencias y temporada de ozono:

<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/informacion-complementaria-sobre-contingencias-y-temporada-de-ozono>

- Shirk, O. (2000). Las mediciones de ozono. *MAPRE*, 17 - 21.
- Siegel, E., Ghassabian, A., Hipwell, A., Factor-Litvak, P., Zhu, Y., Steinthal, H., . . . Klein-Fedyshin, M. (2023). Indoor and outdoor air pollution and couple fecundability: a systematic review. *Human Reproduction Update*, 45 - 70.
- Soares, A., & Silva, C. (2022). Review of ground-level ozone impact in respiratory health deterioration for the past two decades. *Atmosphere*, 434.
- Ugalde Resano, R., Riojas Rodríguez, H., Texcalac Sangrador, J., Cruz, J., & Hurtado Díaz, M. (2022). Short term exposure to ambient air pollutants and cardiovascular emergency department visits in Mexico city. *Environmental Research*.
- Universidad de Alicante . (2023). *Cromatografía iónica*. Obtenido de <https://ssti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-analisis/cromatografia-ionica.html#>
- Valencia Ortega, L. E. (2023). *Exposición a material particulado 2.5 (PM2.5) y ozono (O3) y su asociación con índice de masa corporal en adultos de la Ciudad de México*. [Tesis de licenciatura, UNAM].
- Xia, Y., Niu, Y., Cai, J., Liu, C., Meng , X., Chen, R., & Kan, H. (2022). Personal ozone exposure and stress hormones in the hypothalamus-pituitary-adrenal and sympathetic-adrenal-medullary axes. *Environment International*, 159, 107050.
- Yongjie Xia, Y. N. (2021). Acute Effects of Personal Ozone Exposure on Biomarkers of Inflammation, Oxidative Stress, and Mitochondrial Oxidative Damage — Shanghai Municipality, China, May–October 2016. *CHINA CDC WEEKLY*, 954 - 958.
- Zaldivar Sánchez, A. (2017). *Estimación del impacto en la morbilidad por exposición a ozono, PM10 y PM2.5 en la zona metropolitana del Valle de México, 2003-2016*. [Tesis de especialidad, UNAM].
- Zhang, J., Wei, Y., & Fang, Z. (2019). Ozone pollution: a major health hazard worldwide. *Frontier in immunology*, 10, 2518.
- Zhang, X. Z. (2023). Characteristics and determinants of personal exposure to typical air pollutants: A pilot study in Beijing and Baoding, China. *Environmental Research*, 114976.
- ZOTAL. (30 de Abril de 2023). *Farmacológicos*. Obtenido de Peróxido de hidrógeno: <https://www.zotal.com/peroxido-de-hidrogeno-que-es-y-usos-comunes/>

ANEXO I

GUÍA DE USO DE PASIVOS

Indicaciones para monitores pasivos Ozono

Se le darán dos monitores los cuales medirán su exposición al Ozono.

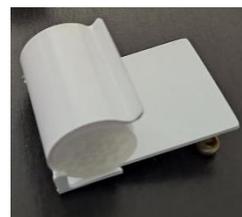
Cada uno consta de dos partes: Monitor pasivo y clip.



Clip de colocación



Monitor pasivo



Monitor pasivo en el clip

Inicio del monitoreo.

Al inicio del monitoreo los pasivos estarán en bolsas herméticas.

- 1.-A la hora y día que se les indique el comienzo del monitoreo, deberán sacar los dos pasivos de la bolsa al mismo tiempo.
- 2.- Se colocarán en sus lugares correspondientes, explicado a continuación.



Indicaciones para monitoreo personal

1.- La colocación del monitor personal será a la altura entre los hombros y el pecho. El clip tiene pinza y un seguro para ser colocado en la ropa.

2.- Deberá estar en su ropa todo el día, cuando se prepare para dormir, se debe colocar a un lado de su cama, ya sea el buró o alguna cómoda cercana.

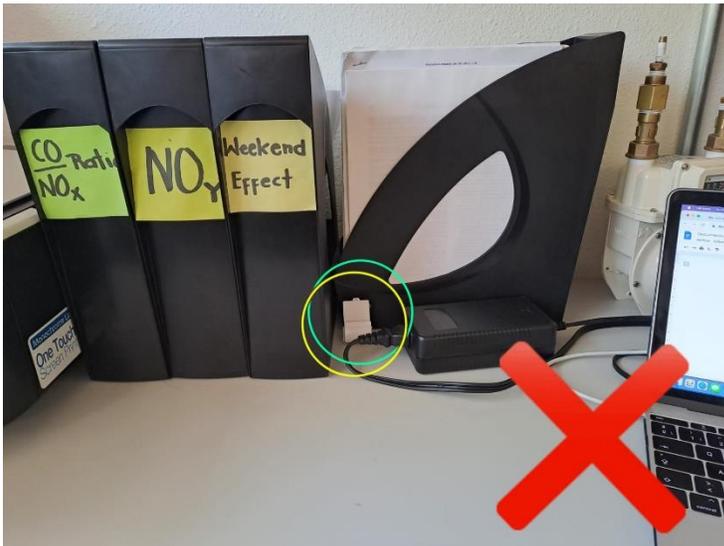
En los días de monitoreo no deberá fumar ni estar cerca de personas que estén fumando.

Por ningún motivo debe caerle agua al monitor.

Indicaciones para monitor de vivienda

1.- Se debe encontrar en la habitación de la casa donde pase el mayor tiempo (exceptuando la cocina), y se colocará en donde circule el aire.

2.- No debe estar escondido, ni que los objetos alrededor obstruyan el aire.





3.- Este monitor debe quedarse en el lugar inicial durante todo el tiempo del monitoreo.

Indicaciones generales

Ninguno de los dos monitores debe estar en contacto con agua o humedad. Cuando se bañe déjelo en su recamara donde lo deja por las noches, cuando maneje agua póngalo en un lugar cercano a usted.

No estar manipulando o jugando los monitores.

No dejarlo caer, ya que si se desprenden las tapas del monitor podría afectar y contaminar el filtro del interior del monitor.

Mantener el monitor personal siempre con usted para no olvidarlo.

Fin del monitoreo

A la hora y día que se les indique guardar los dos monitores (clip y pasivo) en sus respectivas bolsas y cerrar perfectamente.

ANEXO II

BITÁCORA DE ACTIVIDADES

Registrar sus actividades diarias con las siguientes indicaciones:

Fecha en la que realiza sus actividades

Horario: la hora de inicio y de término en hacer su actividad

Delegación: El lugar donde realiza la actividad.

Si se mantiene en la misma delegación es necesario escribirlo.

Si se traslada a otra delegación escriba la delegación de llegada, su ubicación de partida se considerará de la actividad anterior.

Actividad que realiza.

Descripción: Especifique cómo realiza la actividad

Si esta la realiza en interior o exterior.

Si se traslada en qué tipo de transporte lo realiza.

Llene la siguiente tabla de acuerdo con las especificaciones antes dichas

Bitácora

Nombre:

| Fecha | Horario | Delegación | Actividad que realiza | Descripción |
|-------|---------|------------|-----------------------|-------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Se muestra un ejemplo del registro de actividades

| Fecha | Horario | Delegación | Actividad que realiza | Descripción |
|---------------|------------------|------------|-----------------------|---|
| 04- Agosto | 9:23- 10:11 | Tlalpan | Caminata | Se realizó en la misma delegación, había un poco de neblina |
| | 10:11 – 14:02 | Tlalpan | Trabajo | Establecimiento al exterior |
| | 14:02 – 14:50 | Tlalpan | Descanso/Comida | Se realizó en interior |
| | 14:50 – 15:35 | Coyoacán | Traslado | 2 camiones |
| | 15:35 – 21:00 | Coyoacán | Trabajo | Se realizó en el interior de un edificio en la 3ra planta |
| | 21:00- 22:34 | Tlalpan | Traslado | 20 minutos en metro, 1 hora en micro bus y 10 caminando |
| 05- Agosto | | | | |

ANEXO III

Materiales para armado de pasivos

| |
|----------------------------|
| Mallas de acero inoxidable |
| Cuerpos cilíndricos Ogawa |
| Tapas de difusión |
| Clip de soporte |

| |
|-------------------------|
| Filtro de nitrito Ogawa |
| Pinzas |
| Bolsas herméticas |

Material para extracción y análisis de filtros Ogawa

| |
|---|
| Agua desionizada |
| Pinzas |
| Vaso de precipitados de 100 ml |
| Vaso de precipitados de 500 ml |
| Piseta |
| Probeta de 10 mL |
| Frascos Nalgene® boca ancha de 30 ml. Thermo scientific |
| Espátulas |
| Matraz aforado de 2L |
| Recipientes de plástico |
| Embudo de filtración de vidrio |
| Matraz Kitasato de 5 L |
| Filtro de membrana de nylon |
| Embudo |
| Vasos de precipitados de 50 ml |
| Matraces aforados de 10 ml |
| Acrodiscos Titan3, 17mm FILTER GREEN, 0.45um, NYLON MEMBRANE |
| Jeringas Thermo Scientific. SUN-SRI 5ML ALL PLASTIC SYRINGE LUER SLIP |

Sustancias

| |
|--|
| Tiocianato de sodio, 98.0% |
| Carbonato de sodio, 99.5% |
| Bicarbonato de sodio, 99.7% |
| Ácido sulfúrico, 99.2% |
| Hps highpurity standard. Estándar de Nitrato de sodio con concentración de 1000 +/- 5µg/mL de 100 mL, Cat #: IC-NO-M-100 H2O. Lot #: 2126407-100 |
| Hps highpurity standard. Estándar de Nitrito de sodio con concentración de 1000+/- 10µg/mL de 100 mL. Cat #: IC-N-M-100 H2O. Lot #: 2133539-100 |

ANEXO IV

En los siguientes incisos se recopilaron las descripciones de la localización de los pasivos fijos en cada vivienda de los voluntarios.

Voluntario 1

Está colocado en un estuche para guitarra en una de las paredes del dormitorio ubicado en el primer piso, se usa computadora y monitor, cuando la ventana está abierta el aire pasa directamente por el monitor.

Durante el día, regularmente la ventana y la puerta están abiertas al mismo tiempo, por las tardes/noches es común tener la ventana abierta con la puerta cerrada, y para dormir tanto ventana como puerta estarán cerradas.

Voluntario 2

Se encuentra en el buró al lado de mi cama en el dormitorio, se encuentra en el primer piso, rara vez se llega a abrir la ventana del cuarto.

El dormitorio se encuentra cerca de comedor, sala y cocina, al abrir la puerta para el segundo piso suele pasar una corriente de aire del exterior, sin embargo, no llega

suficiente al dormitorio, la ventana del dormitorio no suele abrirse seguido y la ventana de la cocina no llega a dar una corriente al dormitorio.

Voluntario 3

Están sobre el escritorio en mi dormitorio en el 1er piso donde duermen dos personas, se usa copiadora pocas veces, cuando se están abierta la puerta y la ventana al mismo tiempo el aire pasa directo por el lugar del monitor.

En planta baja regularmente están abiertas las puertas del patio trasero como delantero, si se abre la ventana y puerta de la habitación la circulación del aire pasará, de igual forma con las ventanas de las habitaciones que están opuestas a la mía.

Voluntario 4

Se encuentra en mi cuarto en el 3er piso, arriba de mi escritorio.

El cartucho se coloca sobre una mesita pequeña que está al otro extremo de mi cama y que apunta directo a la puerta, que siempre se encuentra abierta cuando estoy dentro del cuarto, y se cierra en las demás ocasiones y cuando me voy a dormir. Cada día se abren las ventanas y mi puerta donde hay buen flujo de viento. El cuarto se encuentra dentro del 3er piso de mi casa por lo que cuando se abren las ventanas llega a entrar mucho aire, el sol no apunta directamente en ningún horario, pero por las noches éste mismo se vuelve muy caliente debido al calor que pega en el techo de la casa (justo arriba de mi cuarto). No hay fuentes de humedad cercanas al cartucho.

Voluntario 5

Fijo se colocó con el clip en la ventana de la sala sujeto a la cortina, la ventana da al patio que es un pasillo pequeño, poca circulación de aire, ya que, está pegada al cubo de las escaleras, la ventana se abre a diario durante el día de 9 de la mañana a 6 o 7 de la tarde, la ventana de la cocina y recamaras también se abren, así hay más circulación de aire.

Voluntario 6

Está en un librero del cuarto de estudio.

Tanto en el primer piso como en la planta baja se encuentran abiertas las ventanas y las puertas de los cuartos. Todo se cierra durante la noche.