

División de Ciencias Biológicas y de la Salud

Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica

Informe del servicio social:

“Caracterización química y biológica de partículas de aerosol al norte de la CDMX”

Presenta:

Ramírez de la Cruz David

2182028802

Febrero 2023

**Realizado del 09 de mayo al 09 de enero de 2023 en la Universidad Nacional
Autónoma de México**

Asesor interno



Dr. Alejandro Azaola Espinosa

Asesor externo



Dr. Luis Antonio Ladino Moreno

Caracterización química y biológica de partículas de aerosol al norte de la CDMX

Presenta: David Ramírez de la Cruz

Asesor externo: Dr. Luis A. Ladino (ICAyCC UNAM)

Asesor interno: Dr. Alejandro Alberto Azaola Espinoza (UAM-X)

Introducción

Hoy en día la industrialización ha incrementado la emisión de aerosoles a la atmósfera (Pozo et al, 2013). Las megaciudades (es decir, los centros urbanos con más de 10 millones de habitantes) están asociadas con grandes emisiones de contaminantes atmosféricos que alteran la composición química de la atmósfera a escalas locales y regionales y, en algunos casos, incluso a escalas sinópticas (Cabrera-Segoviano *et a.*, 2022). Aumentos en las concentraciones de partículas están asociadas a diversos problemas de salud, siendo estos de menor a mayor afección. Dichos problemas van desde el aumento en síntomas de irritación respiratoria y pequeñas disminuciones en el nivel de la función pulmonar, hasta los más adversos, la muerte (Vedal, 1997).

Las bacterias en el aire contribuyen sustancialmente a la contaminación del aire exterior afectando la salud humana e incluso las economías locales y/o regionales (Cabrera-Segoviano *et al.*, 2022).

Estas partículas de aerosol de origen biológico conocida como bioaerosol (hongos, bacterias, polen, etc.), son emitidas a la atmósfera por diferentes mecanismos como el estallido de burbujas, la erosión, los vientos y precipitaciones. Se ha estimado que la tasa de emisión de estos bioaerosoles a una escala mundial es de 1000 Tg año⁻¹; sin embargo, los bioaerosoles representan a una pequeña fracción de la población total de aerosoles de 0.001- 100 µm de diámetro. Una vez emitida a la atmosfera ocurre una dispersión de microorganismos debido al transporte por vientos horizontales y movimientos convectivos y turbulentos (Rodriguez-Gomez *et al.*, 2020).

Es por ello por lo que la contaminación del aire en áreas urbanas y ciudades es una causa conocida de diferentes enfermedades. La atmósfera no tiene microbiota nativa, pero es un medio para la rápida dispersión de muchos tipos de microorganismos como ya se ha mencionado, ya que el depósito húmedo o seco ha sido considerado como un mecanismo para la entrada de patógenos en sistemas terrestres (Hurtado *et al.*, 2014).

Generalmente, la presencia de microorganismos en el aire urbano ocurre como resultado de actividades antropogénicas, siendo las principales fuentes la

producción agrícola, el tratamiento biológico de aguas residuales y el compostaje, la reutilización de residuos sólidos y los vertederos (Hurtado *et al.*, 2014).

Se ha reportado una relación entre las condiciones ambientales y la dispersión bacteriana, y el cambio climático podría potencialmente alterar la composición microbiana de una región, aumentando la presencia de ciertos componentes patógenos o alergénicos. Las vías de exposición humana a los bioaerosoles que tienen mayor relevancia son la inhalación, la ingestión y el contacto con la piel, considerándose que la inhalación es la causante de los mayores problemas de salud (Brodie *et al.*, 2017).

Objetivos

Objetivo general

Caracterizar las partículas de aerosol emitidas localmente y las transportadas desde grandes distancias hacia la CDMX durante la época de secas cálidas, empleando diferentes técnicas analíticas (Fluorescencia de Rayos X, Cromatografía de Intercambio Iónico y caracterización de microorganismos).

Objetivos específicos

- Recolectar muestras de partículas de aerosol al norte de la Ciudad de México durante 7 días.
- Caracterizar la composición elemental, así como los iones inorgánicos solubles en agua de las partículas de aerosol recolectadas en el norte de la Ciudad de México.
- Identificar los diferentes tipos de microorganismos encontrados al norte de la Ciudad de México

Diseño experimental

Sitio de muestreo

El período de muestreo fue del 12 al 21 de mayo de 2022, a través de una campaña de medición de contaminantes atmosféricos en el Sistema de Monitoreo Atmosférico C5 (LAA) mismo que se encuentra ubicado en la zona norte de la Ciudad de México, en las coordenadas 19.483984° N -99.147011° W. Este sitio de muestreo está caracterizado principalmente por ser una zona industrial.

Periodo de muestreo

Las muestras PM_{2.5} de aerosol atmosférico fueron recolectadas en filtros de cuarzo y teflón haciendo uso de impactadores MiniVol (AirMetrics) con cabezales de 2.5 µm durante periodos muestreo de 24 horas, desde las 8:00 a.m. - 9:00 a.m. hasta las 8:00 a.m. - 9:00 a.m. del siguiente día, del 12 al 21 de mayo de 2022. Así mismo, se realizó la recolección de aerosol atmosférico haciendo uso de un biomuestreador que contenía 3 medios de cultivo diferentes para recolectar microorganismos.

Equipos de muestreo

- Impactador MiniVol

El MiniVol TAS (Tactical Air Sampler, Airmetrics) es un equipo portátil empleado para realizar muestreos de material particulado atmosférico. Este equipo funciona como una bomba de succión, controlada por un temporizador programable, que puede configurarse para realizar ciclos de muestreo de 24 horas o hasta de una semana.

En este equipo, el aire muestreado pasa por un cabezal PM_{2.5}, en el cual las partículas mayores a 2.5 micras chocan con un plato de impactación ubicado en la parte inferior del fragmentador, mientras que las menores o iguales a 2.5 micras siguen las líneas de flujo y son depositadas sobre un sustrato, de teflón o de cuarzo, según sea el caso (Hidalgo-Reyes, 2016).

- Biomuestreador

La recolección de microorganismos se hizo con una bomba de muestreo Quick Take 30 portátil de una etapa Biostage Viable Cascade Impactor (SKC Inc. EE.UU) acoplada a una bomba de succión de aire para recolectar partículas de aerosol proporcionando flujos constantes a través del periodo completo de muestro, lo cual garantiza la integridad de la muestra en placas de Petri con 3 medios de cultivo diferentes: TSA, EMA y R2A. El tiempo de muestreo fue de 5 min en la azotea del LAA, cuidando de no ser contaminadas por el aire mismo o simplemente a la hora de la manipulación (Rodríguez-Gómez *et al.*, 2020).

Calibración del equipo

Se llevó a cabo la calibración de los impactadores MiniVol antes de realizar los muestreos, haciendo uso del calibrador de flujo de aire Gilian Gilibrator. La tasa de flujo volumétrico usada fue de 5.0 ± 0.1 L/min.

Contaminantes criterio

Los datos obtenidos de contaminantes criterio (O₃, SO₂, NO_x, CO y PM_{2.5}) se obtuvieron del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.

Metodología

Tratamiento de los filtros

A los filtros de teflón y cuarzo utilizados en los MiniVol durante la campaña de muestreo se le realizó un tratamiento previo a su uso, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de impurezas que pudieran contener y así, evitar errores en los análisis químicos a realizar posteriormente.

- **Filtros de teflón**

Para el tratamiento de los filtros de teflón se llevó a cabo un lavado, tanto de los filtros como de las cajas Petri en los que serían depositados los filtros, con agua desionizada.

Los filtros fueron colocados dentro de las cajas Petri y se llevaron a secar en la campana de flujo laminar durante 3 horas aproximadamente. Una vez secos los filtros, se cerraron las cajas Petri con sus respectivas tapas y fueron selladas con Parafilm. Posteriormente, fueron numerados cada uno de los filtros y se pesó cada uno de los filtros con ayuda de una balanza analítica. Se registró su peso inicial. Finalmente, se sellaron nuevamente las cajas Petri con Parafilm.

- **Filtros de cuarzo**

Para el tratamiento de los filtros de cuarzo, fueron colocados dentro de capsulas de porcelana un aproximado de 6 filtros por capsula. Posteriormente se llevaron a una mufla para realizar el quemado de los filtros a 500°C durante 6 horas aproximadamente.

Una vez finalizado el tiempo de quemado de los filtros, se dejó enfriar la mufla para poder extraer las capsulas que contenían los filtros y con ayuda de una pinza, colocar cada uno de los filtros dentro de una cada Petri que fue sellada con Parafilm y enumeradas para la identificación de los filtros.

Finalmente, cada uno de los filtros fue pesado con ayuda de una balanza analítica y se registró el peso inicial de cada uno de los filtros. Una vez registrados los pesos de todos los filtros, se sellaron nuevamente las cajas Petri con Parafilm.

Espectrometría de masas MALDI-TOF para la identificación de género y especie de bacterias y hongos

Esta técnica respecto a otro tipo de espectrometría de masas es el análisis de macromoléculas con una fragmentación mínima. Esta técnica es versátil en el laboratorio de Microbiología. La aplicación fue utilizada y validada de la espectrometría de masas MALDI-TOF para la identificación de microorganismos. En este caso, el rango de masas de interés está entre los 2.000 Da y los 20.000 Da.

La mayoría de los picos de masas que se obtienen en este rango representan proteínas ribosómicas. El conjunto de estos picos de masas constituye el espectro del microorganismo y éste se va a considerar una huella peptídica. Este concepto hace alusión a la singularidad del espectro generado para cada especie microbiana. Finalmente, el perfil proteico generado se compara finalmente con los perfiles proteicos almacenados para cada microorganismo en la base de datos del equipo utilizado, de una forma que se obtuvo un informe de identificación en unos pocos segundos (Oviaño., *et al*, 2020).

Resultados y discusión

Análisis gravimétrico de los filtros

Se llevó a cabo la determinación de la concentración de PM_{2.5} [C] a partir de las muestras obtenidas en los filtros de teflón durante el periodo de muestreo. Para esto se consideró el peso de los filtros (antes y después de cada muestreo), el flujo de alimentación de aire y el tiempo de funcionamiento del equipo (Ecuación 1). Los resultados obtenidos fueron registrados en la Tabla 1.

$$[C] = \frac{\text{Peso final del filtro} - \text{Peso inicial del filtro}}{\text{Flujo MiniVol} \times \text{Tiempo de funcionamiento}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Tabla 1. Concentración PM_{2.5}

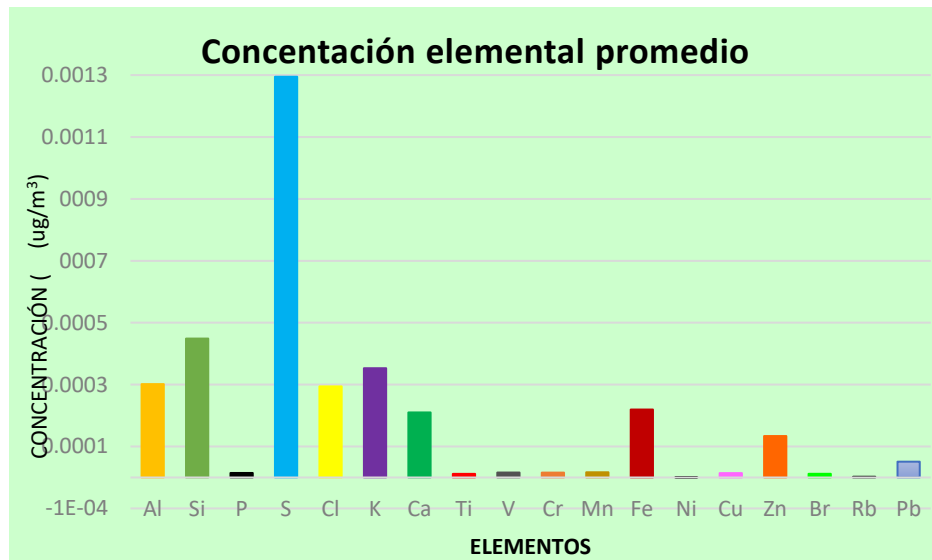
<i>Fecha</i>	Concentración (g/m³)
12/05/2022	13.94
13/05/2022	20.50
16/05/2022	22.14
17/05/2022	18.86
18/05/2022	19.68
19/05/2022	22.14
20/05/2022	45.91

Como se evidencia en la Tabla 1, el día 20 de mayo la concentración de partículas PM_{2.5} fue mucho mayor en comparación con los demás días de muestreo, especialmente con el primer día de la toma de muestras, es decir, el 12 de mayo.

Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF)

Los análisis XRF se realizaron con un espectrómetro de fluorescencia de rayos X desarrollado para aplicaciones ambientales en el Instituto de Física de la UNAM

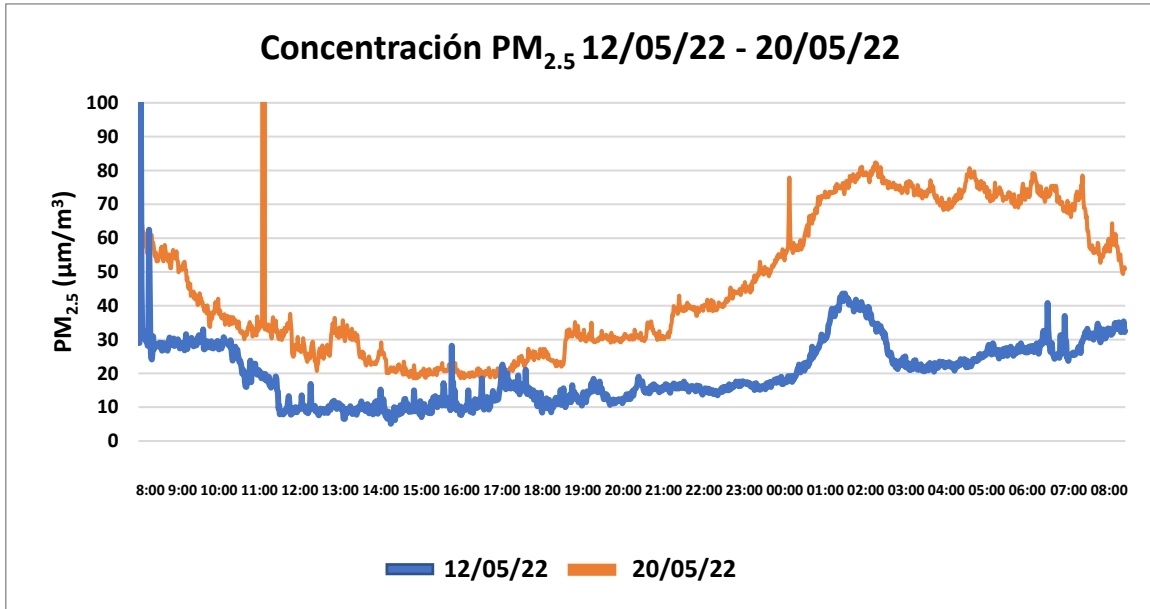
(IFUNAM) para determinar la concentración de elementos presentes en las muestras obtenidas (Hernandez-López *et al.*, 2016).



Gráfica 1. Concentración elemental promedio

En la Gráfica 1 muestra el análisis elemental de las partículas muestreadas por la técnica de XRF en LAA, mostrando que el elemento mayoritario es el azufre (S) en un 38% y la abundancia de este contaminante primario que se encuentra en la atmósfera puede deberse a la susceptibilidad que tiene en transformarse en anhídrido sulfúrico (SO_3), seguido por el silicio (Si) en 13% y potasio (K) en 10% que puede ser producido por incendios forestales. Así mismo, podemos destacar al aluminio (Al) en un 9%, el cloro (Cl) 9%, el Hierro (Fe) y calcio (Ca) 6%, el zinc (Zn) 4% y el plomo (Pb) al 1%.

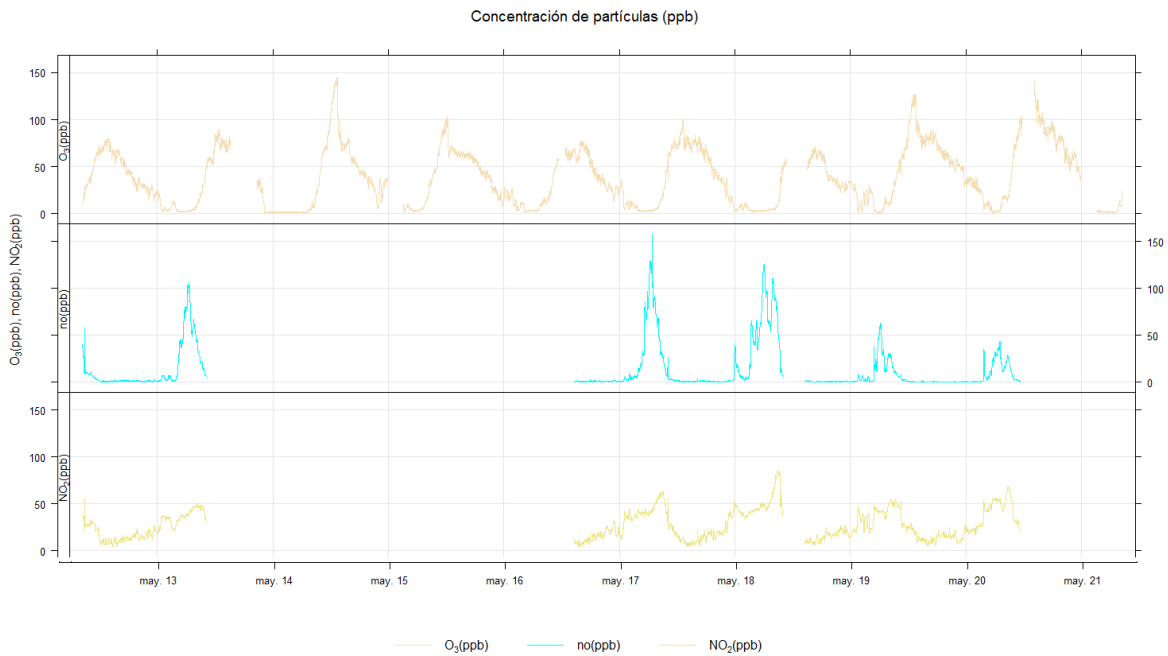
Con los datos obtenidos de $\text{PM}_{2.5}$ en tiempo real se decidió hacer una comparación entre el día menos contaminado (12 de mayo) y el más contaminado (20 de mayo). Como se muestra en la Gráfica 2, se observa que el efectivamente el día 20 de mayo muestra una concentración más elevada a lo largo del día.



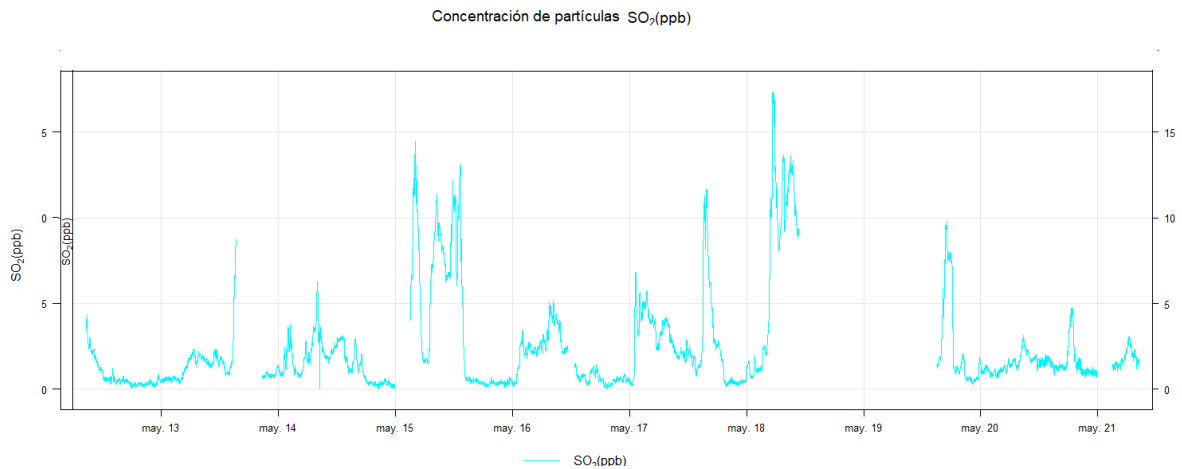
Gráfica 2. Concentración de PM_{2.5} del día menos a más contaminado.

Los datos de la Tabla 1 y la Gráfica 2 muestran que el 20 de mayo fue el día con más contaminación, donde las partículas estaban enriquecidas en S, Si y K (Gráfico 1).

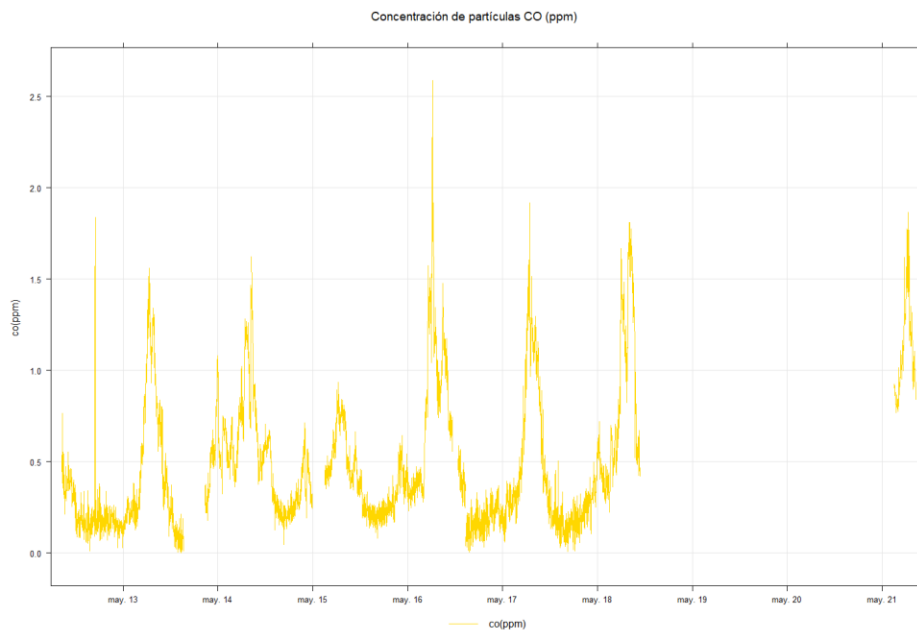
Contaminantes criterio



Gráfica 3. Concentración de gases criterio O₃, NO y NO₂ (ppb).



Gráfica 4. Concentración de SO₂ (ppb)



Gráfica 5. Concentración de CO (ppm)

Las Gráficas 3, 4 y 5 representan la concentración de gases (SO₂, O₃, NO₂, NO y CO) al norte de la Ciudad de México comprendiendo los días de tomas de muestras entre los días 12 al 20 de mayo de 2022.

En la Gráfica 3 se nota un leve aumento del llegando a su máxima concentración hacia el día 20 de mayo.

Si bien las Gráficas 4 y 5 tienen datos faltantes de datos, no se evidencia una clara tendencia de ambos gases.

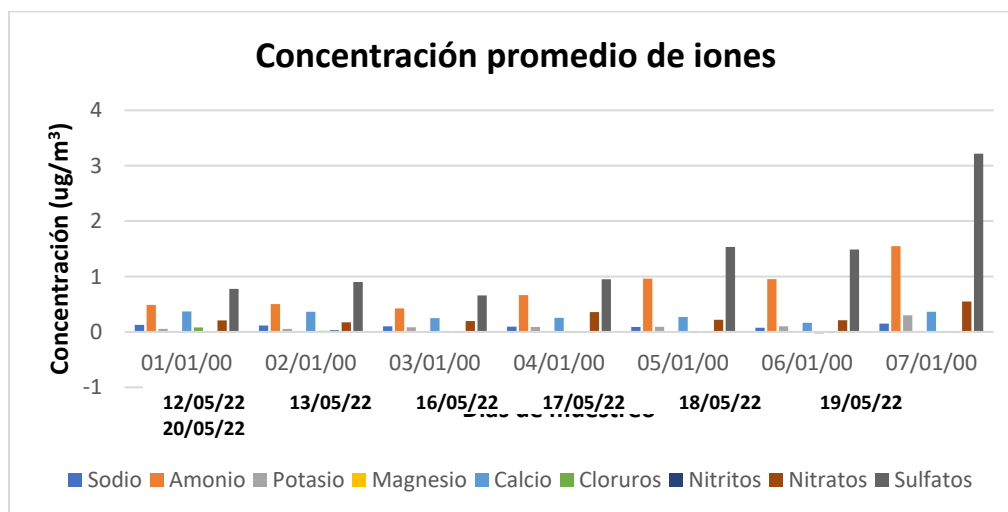
Cabe recalcar que al final del día de la campaña de toma de muestreo el día 21 de mayo del 2022 inicio una contingencia ambiental iniciando a las 10:00 am y

terminando a las 18:00 pm, cosa que puede verse reflejado durante estos días de muestreo.

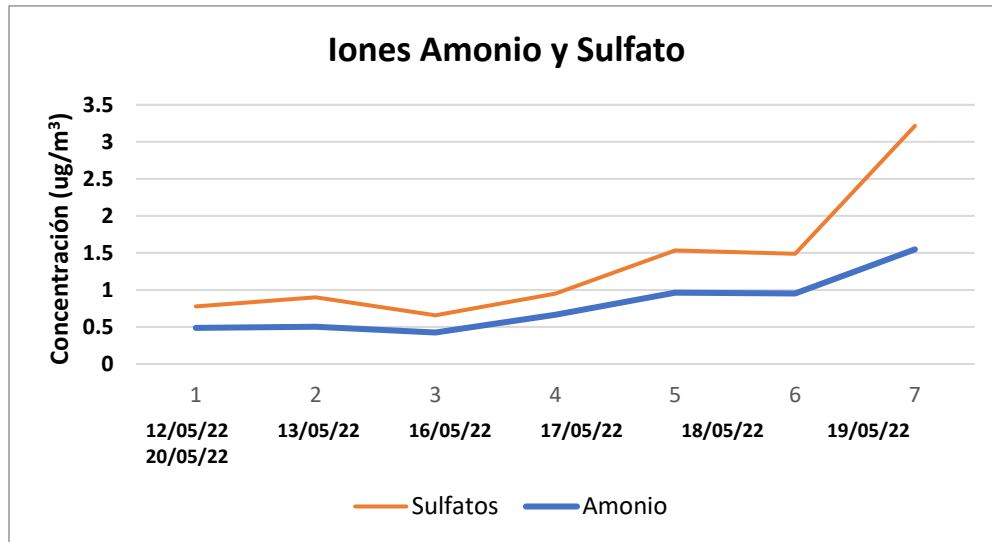
Cromatografía de intercambio iónico

La cromatografía de intercambio iónico es un método que permite la separación de moléculas basada en sus propiedades de carga eléctrica, esta se compone de dos fases: estacionaria y móvil. La fase estacionaria insolubles lleva en su superficie cargas electrostáticas fijas, que retendrán contraiones móviles que pueden intercambiarse por iones de la fase móvil, la cual suele ser una disolución acuosa con cantidades moderadas de metanol u otro disolvente orgánico miscible con el agua que contendrá especies iónicas, generalmente en forma de solución amortiguadora (Álvarez *et al.*, 2023).

Como se muestra en la Gráfica 6 el sulfato y el amonio fueron los principales iones que tuvieron un aumento a lo largo de la campaña de muestreo. Como se muestra en la Gráfica 7 el incremento de sulfatos puede ser atribuida a la emisión de contaminantes de zonas industriales (SO_2), con ello se puede reafirmar los resultados mostrados en la Gráfica 4. Dada la alta concentración SO_2 y amonio a lo largo de la campaña de muestreo, se sugiere la presencia y formación de sulfato de amonio.



Gráfica 6. Concentración promedio de iones



Gráfica 7. Concentración de iones mayoritarios amonio y sulfato

Muestras biológicas

Durante la campaña de muestreo se realizó una recolección biológica para identificar los distintos tipos de microorganismos cultivados en diferentes medios de cultivo:

TSA (Agar Triptona – Soja) gracias a su excelente valor nutritivo, puede ser utilizado para el crecimiento y aislamiento de bacterias aeróbicas y anaeróbicas y para favorecer el desarrollo de la mayoría de los microorganismos exigentes aportando nutrientes ricos en péptidos, aminoácidos libres, bases púricas y pirimídicas, minerales y vitaminas (MERCK, 2022).

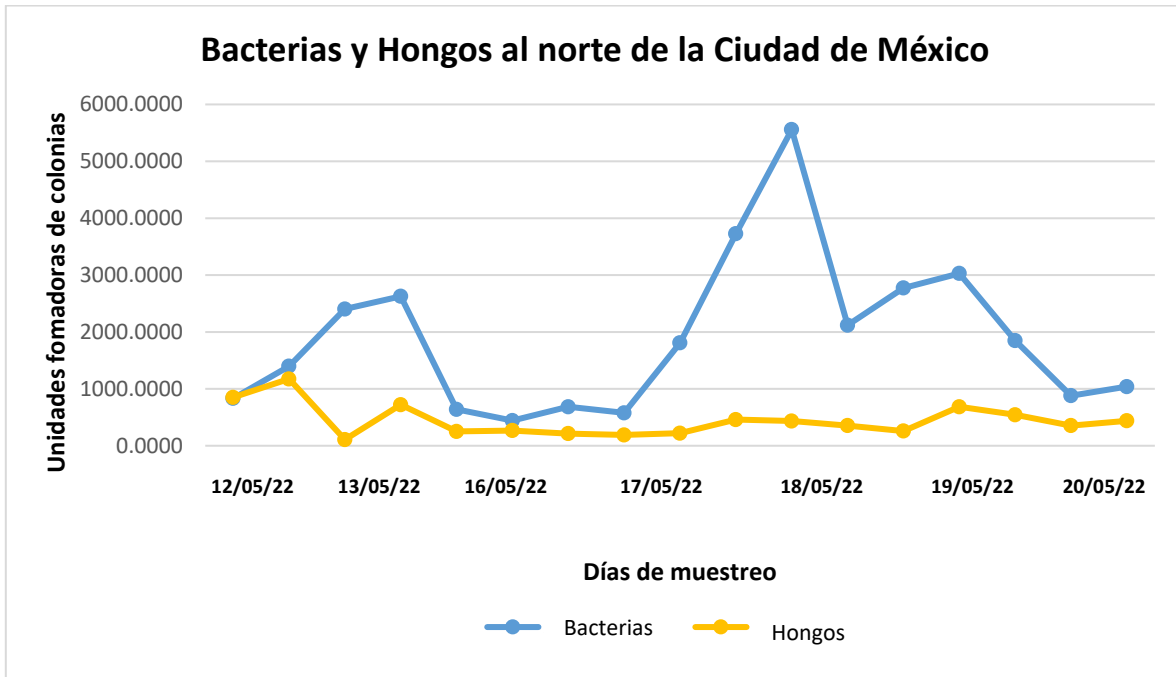
R2A (Reasoner's 2A), un medio de cultivo desarrollado para el recuento bacteriano, ya que por su bajo contenido nutricional y mediante una incubación prolongada, estimula el desarrollo de bacterias estresadas, de crecimiento lento y tolerantes al cloro, halladas (MERCK, 2022).

EMA (Extracto de Malta Agar), un medio de cultivo desarrollado para el recuento de hongos presentes en las tomas de muestras.

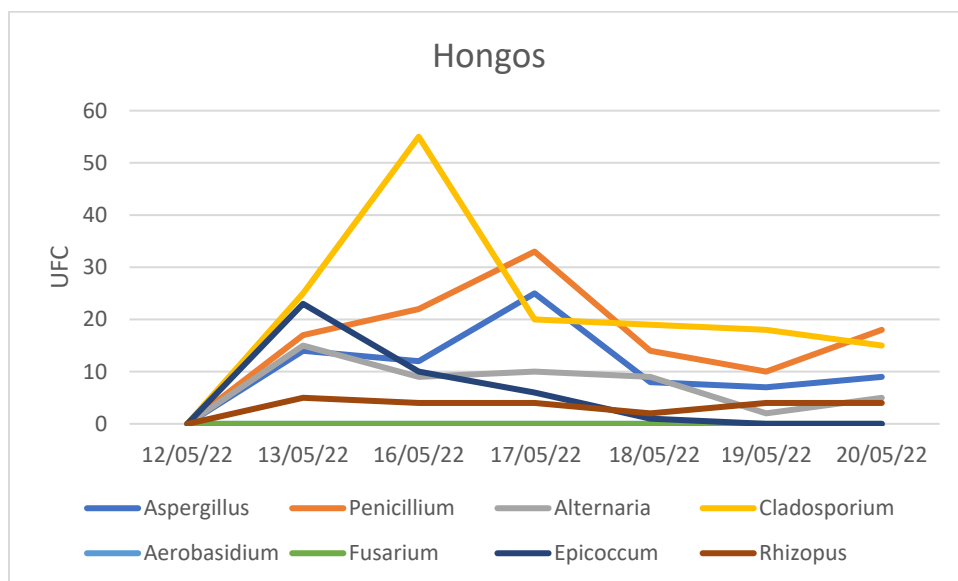
En la Gráfica 8 se observa las unidades formadoras de colonia (UFC) encontradas en cada medio de cultivo al norte de la Ciudad de México, donde se puede ver que la cantidad de hongos es menor al de bacterias, observación extraída de los datos tomados los días 17 y 18 de mayo ya que en dicho periodo se hizo una medición de 24 horas, con toma de muestras cada 2 horas.

Las Gráficas 9 y 10 muestran los hongos y bacterias encontrados, clasificados de acuerdo con su morfología y vistos gracias a una tinción de gram mediante una observación microscópica (100x) y gracias a la espectrometría de masas MALDI-TOF que se realizó en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador

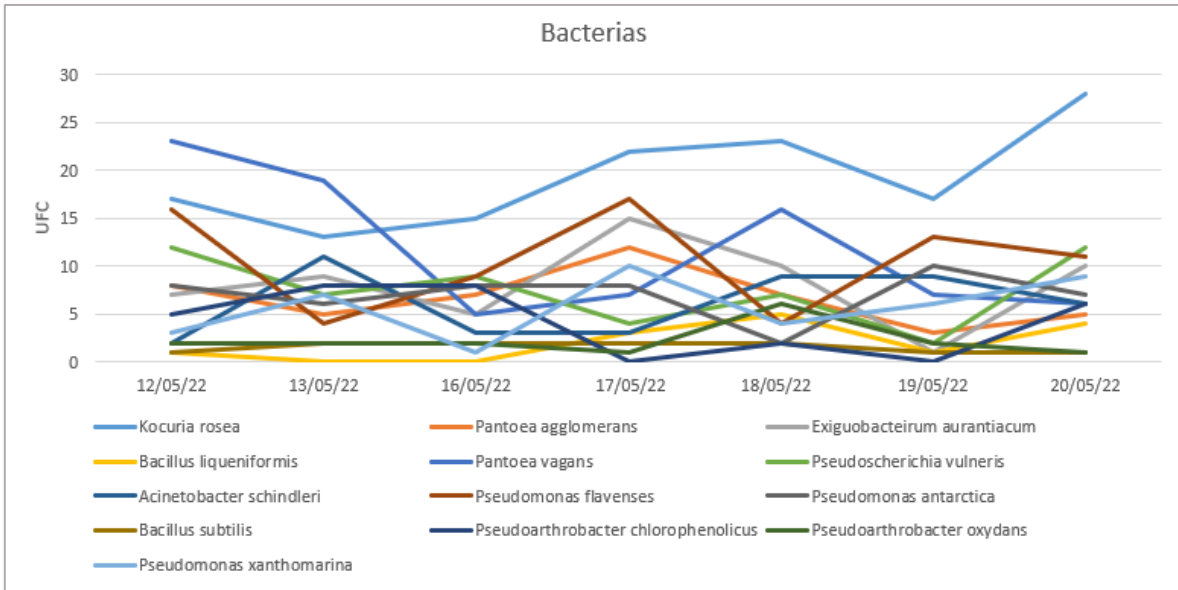
Zubirán por la Dra. Miriam Bobadilla se pudo clasificar de acuerdo con su especie y género. Como se observa en las Tablas 2 y 3 que conforme a la toma de muestra se observa que el día 16 de mayo en el caso de los hongos hay un incremento de *Cladosporium*, seguido de *Penicillium* y *Epicoccum*, mientras que en bacterias se puede observar *Kokuria rosae* es el más frecuente y que aumenta a lo largo de la campaña de muestreo.



Gráfica 8. Bacterias y hongos identificados al norte de la Ciudad de México.



Gráfica 9. Hongos identificados al norte de la Ciudad de México.



Gráfica 10. Bacterias identificadas al norte de la Ciudad de México

Composición específica de bacterias	
Especie	C5
<i>Bacillus cereus</i>	
<i>Kocuria rosea</i>	■
<i>Microbacterium paraoxidans</i>	
<i>Bacillus simplex</i>	
<i>Pantoea agglomerans</i>	■
<i>Arthrobacter gandavensis</i>	
<i>Exiguobacterium aurantiacum</i>	■
<i>Paenarthrobacter ilicis</i>	
<i>Microbacterium aerolatum</i>	
<i>Bacillus liqueniformis</i>	■
<i>Staphylococcus xylosus</i>	
<i>Bacillus megaterium</i>	
<i>Pantoea vagans</i>	■
<i>Pseudoscherichia vulneris</i>	■
<i>Acinetobacter schindleri</i>	■
<i>Pseudomonas flavenses</i>	■
<i>Pseudomonas antarctica</i>	■
<i>Bacillus subtilis</i>	■
<i>Pseudoarthrobacter chlorophenolicus</i>	■
<i>Pseudoarthrobacter oxydans</i>	■
<i>Pseudomonas xanthomarina</i>	■

Tabla 2. Composición específica de bacterias al norte de la Ciudad de México.

Composición específica de Micromicetes	
GÉNERO	C5
<i>Aspergillus</i>	■
<i>Penicillium</i>	■
<i>Alternaria</i>	■
<i>Cladosporium</i>	■
<i>Aerobasidium</i>	
<i>Fusarium</i>	
<i>Epicoccum</i>	■
<i>Rhizopus</i>	■

Tabla 3. Composición específica de Micromicetes al norte de la Ciudad de México.

Conclusiones

De acuerdo con la NOM-025-SSA1-2021 se indica que para el cumplimiento gradual de valores límite para la concentración de $PM_{2.5}$ es de $41 \mu\text{m}/\text{m}^3$, por lo que la obtención de $23.31 \mu\text{g m}^{-3}$ durante la campaña indica que la exposición del material de $PM_{2.5}$ está en los límites establecidos para la protección de la salud (Diario Oficial de la Federación [NOM] 2021).

Por ello se puede observar y comprender que la contaminación al norte de la ciudad de México durante la mañana incrementa y tiende a descender en el periodo nocturno, ya que la emisión de contaminantes empieza su incremento en un horario de 6 am hasta las 12 am que comprende 18 horas de emisión por lo que el promedio se puede mantener.

Por consiguiente, los gases mayores encontrados SO_2 y CO , son producidos por procesos de combustión de combustibles fósiles que se da a lo largo del día y que hacen hincapié a la zona industrial en la que se obtuvieron las muestras.

Es importante entender que el uso masivo de carros y transportes públicos es lo que genera esta contaminación, debido que la zona esta urbanizada y contribuye a esta emisión de gases. Por lo tanto, también al ser zona industrial la emisión de SO_2 esta activamente y es difícil no ver un descenso hasta una zona horaria nocturna.

Como resultado de esta emisión, el análisis de iones muestra que el amonio y los sulfatos son los más elevados siendo alarmante ya que el amonio es uno de los componentes relacionados con mayor riesgo de muerte, esto puede deberse a prácticas agrícolas y ganaderas, aunque también es atribuible su neutralización hacia los sulfatos.

Por último, la presencia de bacterias y hongos era mayor en horarios nocturnos, específicamente entre las 22:00 y 02:00. Lo cual puede deberse a factores ambientales como temperatura, humedad, viento o también a que el movimiento humano es mínimo. Por lo tanto, al haber cierto nivel de contaminación la introducción de microorganismos puede afectar o beneficiar su crecimiento ya que su capacidad de adaptación o no a diferentes medios es el uso de utilizar diferentes fuentes.

En conclusión, la obtención de estos elementos, gases, etc. fueron encontrados en un mayores concentraciones a las reportadas en otras épocas del año (Moya., *et al.*, 2003). Esto se debe en gran parte al uso constante de combustibles fósiles y derivados del petróleo, así como a las emisiones de la quema de biomasa.

Agradecimientos

Al LAA y al ICAYCC por dar acceso a las instalaciones y datos. De igual manera se extiende el agradecimiento a la Fundación Marcos Moshinsky por la beca otorgada para el desarrollo del proyecto a través de la Cátedra otorgada al Dr. Ladino.

Bibliografía

Álvarez, *et al.* (2023) CROMATOLOGRAFIA DE INTERCAMBIO IONICO.

<http://ufq.unq.edu.ar/Docencia-Virtual/BQblog/Cromatografia%20de%20intercambio%20ionico.pdf>

Brodie, E. L., DeSantis, T. Z., Parker, J. P. M., Zubieta, I. X., Piceno, Y. M., & Andersen, G. L. (2007). Urban aerosols harbor diverse and dynamic bacterial populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(1), 299–304. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608255104>

Cabrera-Segoviano, D., Pereira, D. L., Rodriguez, C., Raga, G. B., Miranda, J., Alvarez-Ospina, H., & Ladino, L. A. (2022). Inter-annual variability of ice nucleating particles in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 273, 118964. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.118964>

Diario Oficial de la Federación. (2021). Norma Oficial Mexicana (NOM-025-SSA1-2021). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0

Guzmán, F. (2020, December 7). Densificación, otra causa de fuertes episodios de ozono. *Gaceta UNAM*. <https://www.gaceta.unam.mx/densificacion-otra-causa-de-fuertes-episodios-de-ozono/#:~:text=La%20h%C3%ADper%2Ddensificaci%C3%B3n%20de,%E2%80%9Cfuerte%20episodio%20de%20ozono%E2%80%9D>.

Hernandez-López, A. *et al.* (2016). X-Ray Fluorescence Analysis of Fine Atmospheric Aerosols from a Site in Mexico City. *Journal of Nuclear Physics, Material Sciences, Radiation and Applications*, 4(1), 25–30. <https://doi.org/10.15415/jnp.2016.41003>

Hidalgo-Reyes, C. (2016). Caracterización de partículas atmosféricas en Ciudad Universitaria, utilizando técnicas analíticas diferentes (cromatografía de intercambio iónico y espectrometría de masas). Universidad Nacional Autónoma de México.

Hurtado, L., Rodríguez, G., López, J., Castillo, J. E., Molina, L., Zavala, M., & Quintana, P. J. E. (2014). Characterization of atmospheric bioaerosols at 9 sites in Tijuana, Mexico. *Atmospheric Environment*, 96, 430–436. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.018>

MERCK Agar R2A | 100416. (2016). Retrieved January 25, 2023, from Merckmillipore.com website:
https://www.merckmillipore.com/MX/es/product/R2A-Agar,MDA_CHEM-100416

MERCK Agar Triptona de Soya | 105458. (2014). Retrieved January 25, 2023, from Merckmillipore.com website:
https://www.merckmillipore.com/MX/es/product/Tryptic-Soy-agar,MDA_CHEM-105458

Moya, M., *et al.* (2003). Characterization of size-differentiated inorganic composition of aerosols in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 37(25), 3581–3591. [https://doi.org/10.1016/s1352-2310\(03\)00345-5](https://doi.org/10.1016/s1352-2310(03)00345-5)

Pozo, D., C, M. J., B, R. G., & Baumgardner, D. (2013). Aerosol particles in the Mexican East Pacific. Part II: Numerical simulations of the impact of enhanced CCN on precipitation development. *Atmósfera*, 26(2), 221–241.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362013000200007

Oviaño, M., *et al.* (2020) Aplicaciones de la espectrometría de masas MALDI-TOF en Microbiología Clínica 2019
<https://seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia65.pdf>

Rodriguez-Gomez, C. *et al* (2020). Characterization of culturable airborne microorganisms in the Yucatan Peninsula. *Atmospheric Environment*, 223, 117183. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117183>

Vedal, S. (1997). Partículas ambientales y salud: líneas que dividen. *Revista de la Asociación de Gestión de Aire y Residuos*, 47 (5), 551-581.
<https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/10473289.1997.10463922?src=gefftr>