

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	1/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Manual de prácticas del laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
M. I. Ana Luisa Alarcón Jiménez Dr. Luis Miguel Urbino Leonor Dr. Gilberto Fuentes García Dr. Rodolfo Sosa Echeverría	M.I. Diana Rodríguez Bravo Esp. Ing. Juanita Elizabeth Sotelo Morales IQ. Claudia Julieta Espinosa Pérez M.I. Oscar David Arroyo García M.E. Natasha Carime Villaseñor Hernández	M.I. Marisol Alfonso Romero	07 de Febrero de 2025

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	2/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Índice de prácticas

No.	Nombre de la práctica	Página.
1	Evaluación de ozono ambiental	3
2	Muestreo y análisis del depósito atmosférico.	16
3	Muestreo de gases atmosféricos en aire ambiente con dispositivos pasivos.	28

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	3/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 1:

Evaluación de ozono ambiental

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	4/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

No.	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Parrilla Eléctrica	Quemaduras y corto eléctrico
2	Material y vidrio roto	Cortaduras y derrames
3	Estufa	Quemaduras y corto eléctrico
4	Ácido sulfúrico 1[M]	Quemadura química

Equipo de protección personal, que portará el alumnado



Bata



Guantes de nitrilo



Guantes para calor

2. Objetivo de aprendizaje

Evaluar la concentración horaria de ozono ambiental utilizando un método pasivo para su medición.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	5/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.Introducción

El ozono (O₃) es un contaminante secundario y uno de los agentes oxidantes más poderosos que se conocen, es inestable a altas concentraciones, descomponiéndose en oxígeno diatómico ordinario. Su vida media varía con las condiciones atmosféricas como la temperatura, la humedad y el transporte atmosférico, por lo cual su concentración es diferente en las zonas urbanas y las zonas rurales.

El ozono (O₃) en la estratósfera a una altura aproximada de 20 km absorbe radiación ultravioleta ayudando al desarrollo de la vida en la superficie de la Tierra; sin embargo, en la troposfera, el ozono es un contaminante que afecta a la salud, los ecosistemas y materiales.

En áreas urbanas los precursores de ozono son: los óxidos de nitrógeno (NO_x) y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), en presencia de luz solar. Estos contaminantes provienen de diferentes fuentes; de acuerdo con el Inventario de Emisiones 2020, la mayoría de los COV se generan en fuentes de área (64 %), fuentes móviles (26 %), emisiones naturales de la vegetación (7 %), por otro lado, los NO_x provienen de las fuentes móviles (84 %) y de área (10 %) (SEDEMA, 2023).

El ozono atmosférico puede reaccionar fácilmente con compuestos iónicos como el yoduro de potasio (KI). Cuando se lleva a cabo esta reacción se produce: hidróxido de potasio, yodo y oxígeno. La reacción entre el yoduro de potasio, el ozono y el agua se muestra a continuación:



El yodo formado en contacto con el almidón desarrolla una coloración púrpura, lo cual, permite identificar la presencia de ozono a través de una medición colorimétrica llamada "Método de Schönbein"

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	6/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Materiales, equipo y reactivos

<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Parrilla ✓ Balanza analítica ✓ Estufa a 80°C ✓ Sensor de humedad y temperatura
<p>Material</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Vidrios de reloj chico ✓ Espátulas (2) ✓ Papel filtro ✓ Vaso de precipitados de 50 mL ✓ Vasos de precipitados de 100 mL ✓ Vasos de precipitados de 250 mL ✓ Pinzas rectas ✓ Pissetas con agua destilada ✓ Charolas de teflón, silicón, aluminio limpias y secas ✓ Probetas de 10 mL ✓ Guantes para calor (silicón) ✓ Propipeta ✓ Pipeta volumétrica de 1 mL ✓ Varilla de vidrio
<p>Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua destilada ✓ Yoduro de potasio ✓ Almidón para yodometría ✓ Ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0.2 [M]
<p>Material personal que debe traer el alumnado</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Bolsas de plástico herméticas ✓ Tijeras ✓ Regla ✓ Marcador indeleble

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	7/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pincel nuevo ✓ Diurex ✓ 2 hojas de papel blancas |
|--|

5. Desarrollo

Sesión 1

Objetivo de sesión 1

Preparar cintas reactivas al ozono.

Actividad 1 “Elaboración del detector pasivo de ozono”

En equipo preparar:

1. Encender la estufa a la temperatura de trabajo 80°C.
2. En una parrilla eléctrica poner a calentar aproximadamente 40 mL de agua destilada hasta ebullición, en un vaso precipitados de 250 mL.
3. Mientras el agua se calienta cada alumno debe cortar 20 tiras de papel filtro, de 1 x 5 cm y foliarlas (numerar, poner iniciales de su nombre y número de grupo).
4. Pesar 1 g de almidón en un vaso de precipitados de 50 mL y 0.1 g de yoduro de potasio en un vidrio de reloj.
5. Medir 4 mL de agua destilada fría y adicionar al vaso de precipitados que contiene el 1 g de almidón previamente medido.
6. Colocar en una parrilla y llevar a ebullición durante 15 minutos, (usar guantes), agitar constantemente con una varilla de vidrio e ir adicionando el agua destilada previamente hervida, hasta completar 30 mL aproximados y observar un color transparente.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	8/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

7. Agregar el yoduro de potasio a la solución de almidón. Retirar de la parrilla de calentamiento y apagarla..
8. Dejar enfriar la solución de almidón-yoduro de potasio- para agregar con precaución 1 mL de ácido sulfúrico 0.2 [M].
9. Con un pincel, aplicar en una sola cara de la tira de papel filtro la disolución final y colocar las tiras de papel filtro humectadas, sobre una charola (teflón, silicona o aluminio) sin encimar.
10. Introducir la charola en la estufa por un tiempo de 4 a 10 minutos, revisando que las tiras no se quemen.
11. Retirar la charola de la estufa con ayuda de guantes de nitrilo y pinzas planas, dejar enfriar.
12. Tomar las cintas reactivas al ozono con las pinzas planas y colocarlas dentro de una hoja de papel blanca y guardar dentro de una bolsa de plástico hermética y reservar para el muestreo.

Actividad 2. “Muestreo” (Actividad extra-clase)

1. Seleccionar el sitio de muestreo, evitar la exposición directa al sol y el contacto con el agua.
2. Caracterizar el sitio de muestreo (exterior de casa habitación, jardín, patio, etc.), ubicarlo en un mapa con coordenadas de latitud, longitud y fuentes potenciales de emisión de contaminantes a 10 Km a la redonda. Colocar al menos tres fotografías del sitio de muestreo con diferentes ángulos.
3. Exponer las cintas reactivas al aire ambiente (una a una), en jornadas de 8 horas, durante 5 días. Registrar la temperatura y humedad relativa promedio de cada periodo de exposición.
4. Cambiar la cinta reactiva cada 8 horas, sellar con cinta transparente y

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	9/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

almacenar en una bolsa hermética para evitar la continuidad de la reacción, guardar las cintas reactivas en una bolsa o recipiente que impida la entrada de luz.

5. Al término del muestreo, sellar con cinta transparente una cinta reactiva que se mantuvo en la bolsa sin exponerse al ambiente, esta será utilizada como control (blanco o referencia).
6. Registrar los datos obtenidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Registro de datos durante la exposición de cintas reactivas.

No. de cinta reactiva	Hora inicial exposición	Temperatura promedio (°C)	Humedad promedio (%)
1			
2			
3			
...			
n			

Sesión 2.

Objetivos de la sesión

Integrar y discutir los resultados de un estudio de caso.

Actividad 3 Determinación de la concentración de ozono

El profesor expondrá un estudio de caso que muestre el tratamiento de los datos y el análisis de resultados correspondiente a la determinación de ozono.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	10/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Resultados

1. Complementar la Tabla 2 (anexos) con fotos de los resultados.
2. Elaborar la memoria de cálculo de la concentración de ozono a partir de una de las tiras utilizadas en el muestreo
3. Presentar una gráfica de concentración ambiental de ozono (ppb) con respecto a la hora de exposición
4. Identificar los horarios en los que se registraron las mayores concentraciones de ozono en el muestreo de 5 días.
5. Elaborar un mapa que muestre la distribución espacial de la concentración de ozono, considerando los sitios de todos los integrantes del grupo.

7. Análisis de resultados

1. Comparar las concentraciones de ozono obtenidas con las cintas reactivas y las concentraciones promedio de 8 horas registradas en la estación de monitoreo atmosférico más cercano al sitio de muestreo.
2. Investigar, ¿Cuáles son las principales fuentes precursoras del ozono, de acuerdo con el sitio de muestreo seleccionado?
3. Cómo es la concentración de ozono determinada en el sitio de muestreo seleccionado en comparación con los datos del grupo. Mencionar las posibles causas de las diferencias de estos.
4. Investigar los efectos a la salud humana por exposición al ozono, de acuerdo con la concentración determinada del sitio de muestreo.
5. Indicar cuales son los errores que se pueden cometer al realizar esta determinación y mencionar algunas propuestas para mitigarlos.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	11/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Conclusiones

Redactar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados

9. Bibliografía

- Anotar todas las referencias bibliográficas de libros, revistas, manuales, imágenes, tablas, videos, normas, entre otros documentos, de acuerdo con la APA versión 7, utilizadas en la elaboración del informe.

Fuentes de consulta

- Dirección de Monitoreo Atmosférico (cdmx.gob.mx)
<http://aire.cdmx.gob.mx/default.php> (consultado en 2025)
- Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México*. Editorial Limusa.
- NOM, Norma Oficial Mexicana-020-SSA1-2014. Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente y criterios para su evaluación prefacio.
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional, recuperado de:
<http://smn.cna.gob.mx/es/pronostico-del-tiempo-por-municipios>, 9 de marzo de 2017.
- Vallejo, M., Jáuregui-Renaud, K., Hermosillo, A.G., Márquez, M.F., Cárdenas, M. (2003) Efectos de la contaminación atmosférica en la salud y su importancia en la Ciudad de México. *Gaceta Médica Mexicana*, 139, 57-63
- Constantino, C. A. L., Vázquez, C. A. B., Bautista, M. G. M., Ramírez, V. I.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	12/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

M., & Hernández, R. I. B. (2018). Evaluación de ozono ambiental en el municipio de Mineral de la Reforma, Hidalgo. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 6(11).

10. Anexos

I. Actividades previas a la realización de la práctica sesión 1

- a) Realizar un diagrama de flujo basándose en la descripción del desarrollo de la práctica.
- b) Elabore los antecedentes considerando lo siguiente: El concepto de ozono troposférico y estratosférico, cómo se mide de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana (método de referencia y método equivalente), concentraciones y efectos en la salud.
- c) Seguir las indicaciones para tratamiento y disposición de residuos generados.

II. Actividades previas a la realización de la práctica sesión 2

Determinar el número Schönbein para las cintas reactivas

1. Después de la exposición de las cintas reactivas, comparar el color obtenido con la escala más adecuada mostrada en la Figura 1 y asignar el número de Schönbein. Registrar los resultados en la Tabla 2.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	13/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

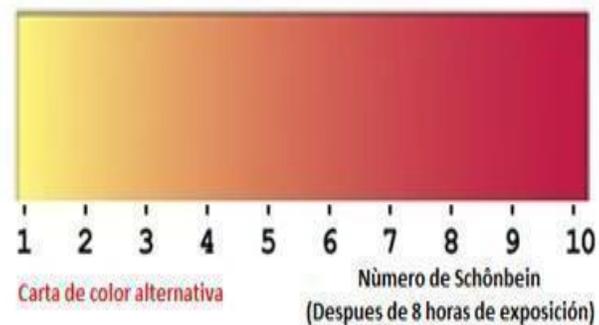
Tabla 2. Concentración de ozono ambiental

No. cinta reactiva	Hora inicial exposición	Temperatura promedio °C	Humedad promedio (%)	Número de Schönbein	Ozono ppb
1					
2					
3					
4					

2. A partir del número de Schönbein obtenido, trazar una línea recta hacia la isolínea que corresponde a la humedad relativa del sitio de muestreo y trazar una línea horizontal hacia el eje “y” para obtener la concentración de ozono en ppb. Ver el ejemplo en la Figura 2.

3. Comparar las concentraciones determinadas en cada muestreo con la cinta reactiva control (blanco o referencia). Restar la concentración de la cinta reactiva control a la concentración de cada cinta reactiva utilizada en el muestreo. Registrar las concentraciones de ozono obtenidas en la Tabla 2.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	14/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Tira "A"



Tira "B"

Figura 1. Escala de color para calcular el número de Schönbein después de ocho horas de exposición

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	15/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

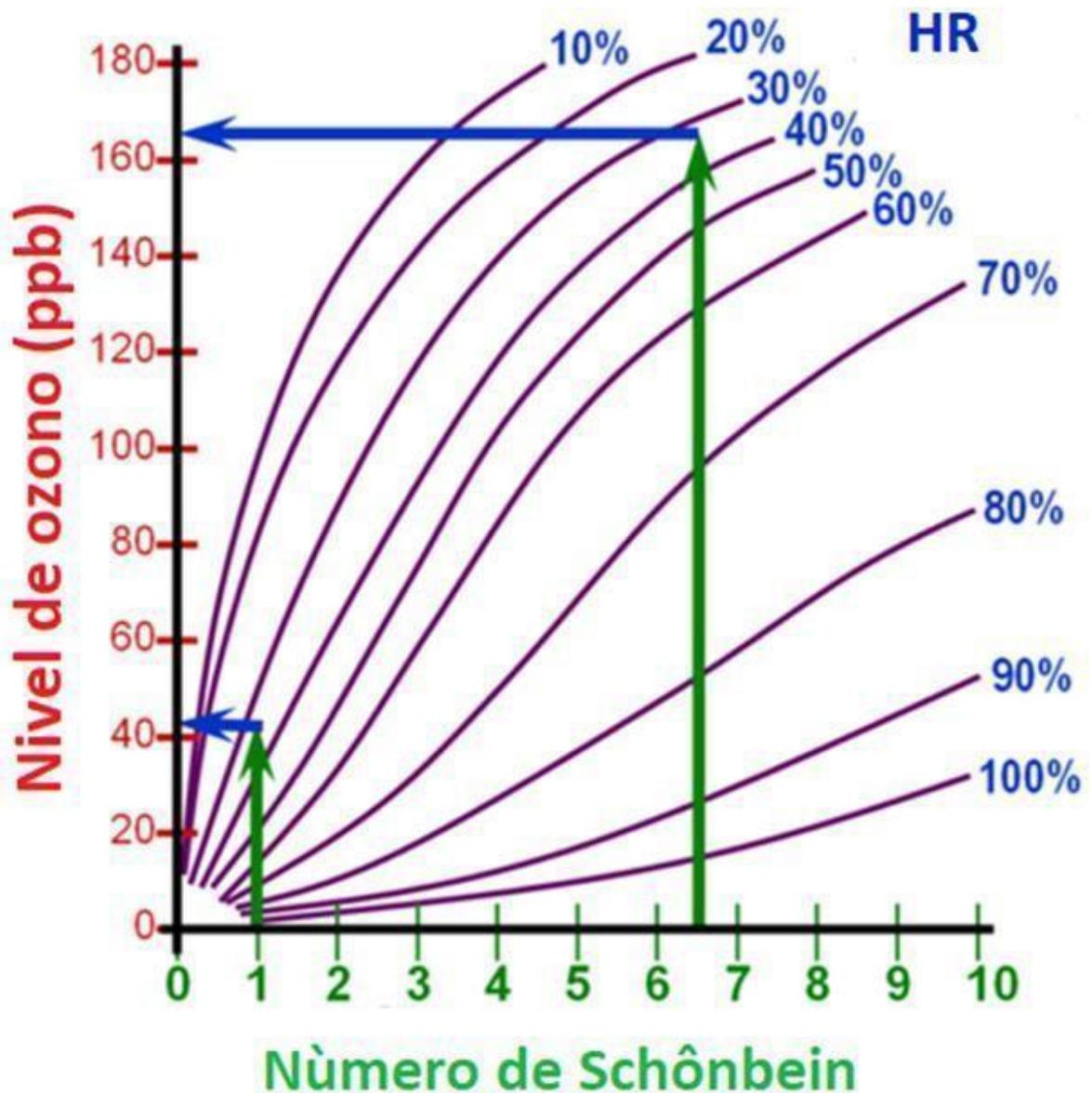


Figura 2. Nivel de ozono ambiental de acuerdo con Walter y Wood (2010)

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	16/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 2:

Muestreo y análisis del depósito atmosférico

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	17/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

No.	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Material roto	Cortaduras y derrames
2	Bomba de vacío	Cortocircuito
3	Sonicador	Quemadura, daño a equipo /daño eléctrico

Equipo de protección personal, que portará el alumnado



Bata



Guantes de nitrilo



Cubre bocas

2. Objetivo de aprendizaje

Evaluar la presencia de contaminantes primarios a través de indicadores (contaminantes secundarios) presentes en el depósito atmosférico.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	18/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Introducción

El depósito atmosférico se define como la cantidad de un compuesto o elemento que es depositado en alguna superficie (kg/ha) y se clasifica en depósito atmosférico húmedo y depósito atmosférico seco.

En presencia de cualquier evento meteorológico como lluvia, nieve, granizo, neblina se le considera como depósito húmedo; mientras que, en ausencia de los anteriores y por efecto de viento o de gravedad se considera depósito seco.

El depósito atmosférico es un indicador útil de los niveles de contaminación ambiental que aporta datos valiosos acerca de entradas de nutrientes y compuestos tóxicos a los sistemas terrestres y acuáticos (Parungo, 1990). Este mecanismo natural de limpieza de la atmósfera tiene propiedades de acarreo (arrastre) únicas; remueve los gases atmosféricos, aerosoles, partículas, y todos aquellos compuestos que han sido introducidos a la atmósfera por diferentes fuentes de emisión natural (erupciones volcánicas, incendios forestales y descargas eléctricas) y/o antropogénicas (plantas de generación de energía, industria y transporte).

La lluvia es la forma más común del depósito (atmosférico) húmedo y su acidez natural es de 5.6 unidades de pH aproximadamente, debido a la presencia de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, el cual, al mezclarse con la humedad del ambiente produce ácido carbónico, un ácido débil.

Las emisiones industriales y otros procesos naturales generan contaminantes primarios como el dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y ácido clorhídrico (HCl), los cuales producen contaminantes secundarios que

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	19/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

incrementan la acidez de la lluvia, dando origen a la “lluvia ácida”, llamada así porque presenta un pH por debajo del valor de 5.6.

La lluvia ácida produce daños en los ecosistemas, al disolver los nutrientes esenciales para las plantas y árboles, provocando daños en algunos de sus tejidos haciendo que sean más vulnerables a la invasión de plagas, disuelve los materiales carbonáceos de los cuales están contruidos monumentos y edificaciones de valor histórico y patrimonial, también incrementa la acidez en los suelos modificando su composición.

4. Materiales, equipo y reactivos

<p>Equipo</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Potenciómetro (Segunda sesión) ✓ Conductímetro ✓ Bomba de vacío con trampa ✓ Baño ultrasónico (segunda sesión) ✓ Balanza analítica ✓ Estufa (depósito seco)
<p>Material</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Botellas de polietileno con tapa (500 mL) (individual) ✓ Tubos cónicos de 50 mL (individual) ✓ Embudo de polietileno ✓ Papel pH ✓ Probetas de 100 mL ✓ Vaso de precipitado de 50 mL ✓ Matraz Kitasato de 500 mL

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	20/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Charolas de teflón, silicón o aluminio ✓ Dispositivo de filtración ✓ Mangueras ✓ Membranas de filtración PDMF 0.22 µm de poro ✓ Pinzas rectas ✓ Cápsula de porcelana a masa constante ✓ Pinza para crisol ✓ Desecador ✓
<p>Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detergente Extran neutro al 2% ✓ Agua desionizada ✓ Agua destilada
<p>Material que debe traer el grupo</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cinchos de plástico ✓ Marcadores indelebles ✓ Regla ✓ Bolsas herméticas grandes

5. Desarrollo

Sesión 1

Objetivo de la sección

Acondicionar el material tanto para el armado del dispositivo de muestreo como para el proceso de extracción.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	21/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 1 Acondicionamiento de material

1. Medir y registrar el diámetro interno del embudo

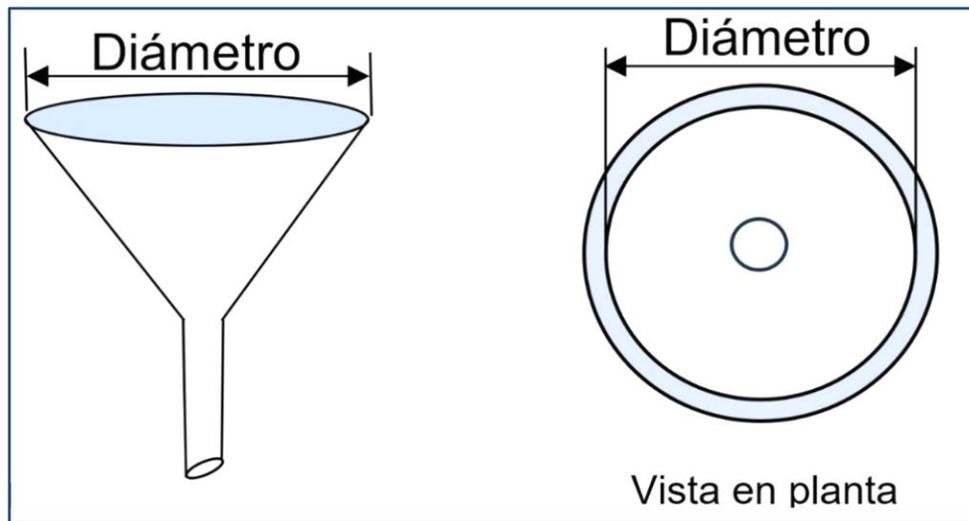


Figura 1. Indicación de las medidas a registrar del embudo.

2. Remojar el material (embudo, botella, vasos, probetas, etc.) mínimo 6 horas con una solución de Extran al 2%.—Esto lo realiza el personal del laboratorio.
3. Lavar y enjuagar todos los materiales del paso anterior (primer lavado con agua destilada) y los siguientes con agua desionizada, agitando vigorosamente durante 20 segundos y medir su conductividad eléctrica (siguiendo las indicaciones del profesorado).

Nota: en el caso del dispositivo de filtración, armarlo y hacer 3 enjuagues de agua desionizada con un volumen aproximado de 200 mL.

4. El material estará listo para usarse si, la medición de la conductividad eléctrica del agua de lavado es menor a $1.5 \mu\text{S/cm}$.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	22/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Tapar el material acondicionado con Parafilm y reservarlo hasta su uso en el laboratorio, en el caso de la botella de polietileno y el embudo. Etiquetar la botella con el nombre del estudiante y la conductividad medida, dichos materiales se llevarán al sitio de muestreo dentro de una bolsa hermética.

Actividad 2 Muestreo de depósito atmosférico húmedo-seco (actividad extraclase)

1. Identificar el sitio de captación para el depósito atmosférico. Cuidar que el área elegida sea abierta y alejada de bajadas pluviales de techos, de árboles o vegetación.
2. Armar el dispositivo de recolección, el cual consiste en colocar el embudo de polietileno sobre la boca del frasco de polietileno.
3. Colocar el dispositivo a una altura mínima de 1 m sobre el nivel del suelo, sujetar y asegurar el dispositivo de muestreo utilizando cinchos y/o un soporte.
4. Después de 5 días de muestreo, retirar del dispositivo de muestreo el embudo que contiene las partículas sedimentables, tapar con Parafilm y almacenarlo a una temperatura de 4°C para su posterior análisis.
5. Tapar el frasco de muestreo y almacenarlo a una temperatura de 4°C para su posterior análisis.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	23/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Sesión 2.

Objetivo de la sesión

Analizar el depósito atmosférico colectado.

Actividad 3. Análisis de pH y conductividad eléctrica (CE) de las muestras

1. Medir con la probeta de 100 mL acondicionada en la sesión 1, el volumen total de la muestra recolectada para seleccionar el procedimiento más adecuado de análisis. Si el volumen es de 0 a 90 mL, utilizar la técnica de depósito seco. Si el volumen es mayor o igual a 90 mL utilizar la técnica del depósito húmedo.

Deposito húmedo

- a) Encender los equipos para el análisis de muestras (pH y CE).
- b) Utilizando el tubo cónico acondicionado en la sesión 1. Trasvasar 40 mL para medir CE y pH, anotar sus valores.

Depósito seco.

- a) Medir 50 mL de agua desionizada con el tubo cónico y agregar con movimientos circulares al embudo para bajar los sólidos depositados colectando el agua en la botella, tapar. y sonicar durante 15 minutos.
- b) Filtrar la muestra y reservar el filtro (leer nota 1).
- c) Trasvasar 40 mL a un tubo cónico para medir CE y pH, anotar sus valores.
- d) Acondicionar nuevamente el tubo cónico a conductividad menor de 1.5 μS .

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	24/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 4. Filtración de las muestras

- a) Colocar la membrana en el soporte del dispositivo de filtración. Utilizar pinzas para sacar una membrana de PDMF, de 0.4 µm de poro, de su empaque.
- b) Conectar el dispositivo de filtración a la bomba de vacío con trampa.
- c) Agregar al embudo de filtración 20 mL de la muestra que se midió previamente (leer nota 1).
- d) Encender la bomba de vacío hasta que toda el agua pase al matraz. Verter la disolución filtrada a un tubo de fondo cónico acondicionado y etiquetar (leer nota 2).

Nota 1: En el caso del depósito seco, filtre toda la muestra y la membrana debe ponerse a secar a 60°C en la estufa al menos 1 hora.

Nota_2: La muestra filtrada está lista para el análisis de composición iónica, mediante el uso del cromatógrafo de intercambio iónico. Dicho análisis no se realiza en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sin embargo, la medición de los iones es requerida para el análisis de resultados.

6. Resultados

1. Elaborar una tabla utilizando los datos obtenidos de todos sus compañeros, agregar el sitio de muestreo (coordenadas, descripción de los

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	25/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

alrededores), condiciones meteorológicas (temperatura, viento) y parámetros fisicoquímicos medidos (volumen colectado, pH, conductividad). Recordar subir sus resultados a la plataforma.

2. De acuerdo con los días de muestreo, calcular el porcentaje de eventos de lluvia y registrar en la tabla diseñada previamente
3. Elaborar una gráfica que muestre la composición iónica de las muestras de depósito (húmedo o seco).
4. Elaborar un mapa que muestre la distribución espacial de las concentraciones de sulfato y nitrato determinadas en las muestras de depósito húmedo o seco.
5. Calcular el depósito de N, S y P determinado en (Kg/m²).

7. Análisis de resultados

1. ¿Cómo es la composición de la lluvia de acuerdo con su pH y CE?
2. Realizar el análisis de cada uno de los resultados, mencionar las posibles causas de las desviaciones de estos, así como su implicación directa o indirecta con los objetivos.
3. Indicar cuales son los errores que se pueden cometer al realizar esta determinación y mencionar algunas propuestas para mitigarlas.
4. Identificar si los valores de depósito determinados para N, P y S, son significativos como carga crítica.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	26/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

8. Conclusiones

- Redactar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados

9. Bibliografía

- Anote todas las referencias bibliográficas de libros, revistas, manuales, imágenes, tablas, videos, normas, entre otros documentos, de acuerdo con la APA versión 7, empleadas en la elaboración del informe.

10. Anexos

I. Actividades previas a la realización de la práctica.

- a) Realizar un diagrama de flujo basándose en el desarrollo.
- b) Elabore los antecedentes con los siguientes puntos: Definición de depósito atmosférico, ¿Qué es depósito húmedo y seco?, ¿Cómo se mide?, ¿Qué es lluvia ácida y cuáles son sus efectos en ecosistemas y materiales?, ¿Qué es la carga crítica?

Fuentes de consulta

- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. 2020. Calidad del aire en la Ciudad de México, Informe 2023. Dirección General de Calidad del Aire, Dirección de Monitoreo de Calidad del Aire. <http://www.aire.cdmx.gob.mx>
- Alarcón, A. L. (2012). Lluvia ácida en la Zona Metropolitana de la Ciudad de

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	27/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

México. Evaluación y trascendencia. Tesis de maestría. UNAM. México. Disponible en Lluvia ácida en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Evaluación y trascendencia]. <https://nadp.slh.wisc.edu>

- Talaquer, V., Irazoque, G., & López, A. (2022). Lluvia ácida.
- Echeverría, R. S., Jiménez, A. L. A., Barrera, M. D. C. T., Álvarez, P. S., Hernández, E. G., Vega, E., ... & Gay, D. A. (2023). Nitrogen and sulfur compounds in ambient air and in wet atmospheric deposition at Mexico City metropolitan area. *Atmospheric Environment*, 292, 119411.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	28/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 3

Muestreo de contaminantes atmosféricos mediante el uso de dispositivos pasivos

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	29/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Seguridad en la ejecución

No.	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Material Roto	Cortaduras y Derrames
2	Sonicador	Quemadura, daño a equipo /eléctrico
3	Bomba de vacío	Daño a equipo /eléctrico

Equipo de protección personal, que portará el alumnado



Bata



Guantes de nitrilo



Cubrebocas

2. Objetivo de aprendizaje

Determinar la concentración de un contaminante en aire ambiente en diversos puntos de la CDMX, mediante el uso de un dispositivo pasivo.

3. Introducción

El método de muestreo pasivo se encarga de recolectar un contaminante específico en

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	30/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

un sustrato químico. Los equipos utilizados se conocen como muestreadores pasivos que se presentan en diversas formas y tamaños, principalmente en forma de tubos o discos.

El uso de dispositivos pasivos se basa en el principio de la difusión y la absorción donde la fuerza principal es el gradiente de concentración para llevar a cabo el muestreo en aire ambiente. Es un método económico para determinar concentraciones de contaminantes del aire ya que no requieren energía, siendo una herramienta excelente para realizar muestreos en regiones de difícil acceso o con poca accesibilidad. Una ventaja adicional al diseño simple pero eficaz del dispositivo de muestreo es el uso simultáneo para cubrir varios puntos, lo que implica una disminución de costos. Sin embargo, el tiempo de resolución de esta técnica es limitado, por lo que sólo puede proveer información de concentraciones promedio de contaminantes y no es útil para la detección de valores pico o cuando se requieran valores en tiempo real.

Existen varias técnicas de muestreos pasivos disponibles o en desarrollo para los principales contaminantes atmosféricos (NO_2 , SO_2 , NH_3 , COVs y O_3). Los que específicamente se utilizan en puntos fijos de muestreo para estudios de amplia cobertura espacial; y los pasivos personales, que las personas puede llevar puestos y se utilizan principalmente en estudios epidemiológicos, donde se puede determinar por ejemplo la exposición personal durante una jornada de 8 horas de trabajo a un determinado contaminante.

En estudios de calidad del aire, los muestreadores pasivos también pueden ser usados en combinación con muestreadores activos o monitores automáticos. En este tipo de estudios híbridos, el muestreador pasivo provee los datos de calidad de aire de resolución geográfica, mientras que los otros instrumentos ofrecen información relacionada con el tiempo, como variaciones diurnas de la concentración y sus niveles de concentración ambiental.

4. Materiales, equipo y reactivos

Equipo

- ✓ Sonicador (baño de onda sónica)
- ✓ Bomba de vacío con trampa

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	31/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Material

- ✓ Membrana de pellón de 4.7 cm de diámetro
- ✓ Cajas Petri 6 cm
- ✓ Vaso de precipitado de 100mL
- ✓ Vaso de precipitados de 250 mL
- ✓ Pipetas volumétricas de 1 mL
- ✓ Propipetas
- ✓ Pinzas planas
- ✓ Dispositivo pasivo
- ✓ Membranas de PVFD 0.22 micrómetros
- ✓ Parafilm
- ✓ Piseta con agua desionizada
- ✓ Soportes de membrana (2 por dispositivo)
- ✓ Tubos de fondo cónico de 50 mL
- ✓ Tijeras

Reactivos

- ✓ Carbonato de sodio (Na_2CO_3)

Material requerido por el alumno:

- ✓ Bolsas herméticas tamaño mediano
- ✓ Rollo de papel aluminio
- ✓ Cinchos

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	32/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Desarrollo

Sesión 1

Objetivo de sesión:

Preparar el dispositivo de muestreo pasivo.

Actividad 1. Limpieza del dispositivo pasivo y preparación de las membranas de muestreo.

1. Enjuagar con agua destilada (2 a 3 enjuagues) y después con agua desionizada el dispositivo y los soportes de membrana que han sido remojados en solución de jabón Extran neutro al 2%.
2. Colocar el dispositivo pasivo y los soportes para membrana dentro de un vaso de precipitados de 250 mL y añadir agua desionizada hasta cubrir, introducir en el sonicador y accionar durante 5 min.
3. Usar guantes limpios, para retirar el dispositivo y los soportes de membrana con ayuda de pinzas (lavadas con agua desionizada). Secar por sacudimiento. No usar paños, ni papel, use una piseta vacía para aerear si es necesario.
4. Colocar la cantidad de membranas de pellón (acondicionadas) indicada por el profesor en una caja Petri y agregar 1 mL de la disolución de carbonato de sodio al 10% (Tabla 1) y distribuir homogéneamente una vez que la caja Petri esté tapada.

Tabla 1. Disolución de fijación para dispositivos pasivos útiles en el muestreo de contaminantes atmosféricos.

Gas de muestreo	Disolución de fijación	Determinación como
SO ₂	Carbonato de sodio (Na ₂ CO ₃) 10%	SO ₄ ²⁻

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	33/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 2. Armado del dispositivo para muestreo

1. Con el uso de guantes y pinzas, colocar los componentes del dispositivo como lo indica la Figura 1, eliminar el exceso de agua de los componentes. Una vez armado envolver en papel aluminio para protegerlo de la luz antes de su uso.

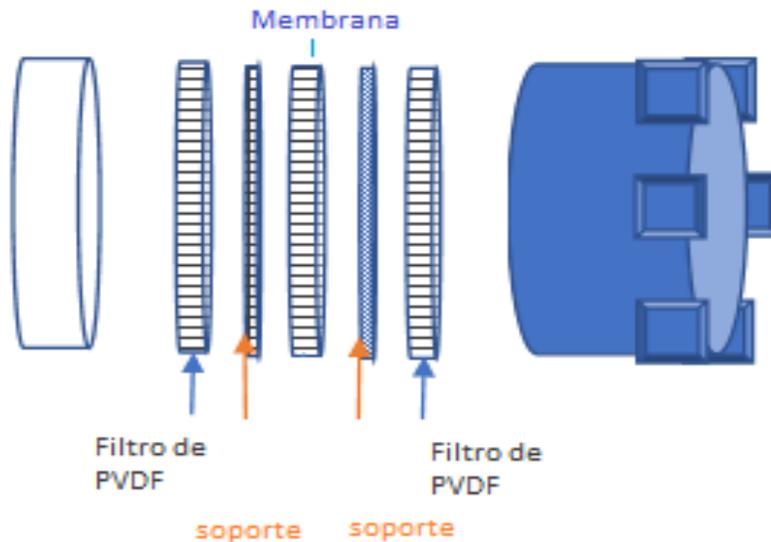


Figura 1 Dispositivo de muestreo pasivo

Actividad 3 Muestreo (actividad extraclase)

1. Seleccionar el sitio de muestreo. El sitio seleccionado debe contar con resguardo del sol y precipitación, debido a que la exposición al sol directo y a la presencia de agua interfiere en la reacción.
2. Colocar el dispositivo en el sitio de muestreo a una distancia mínima de 1.5 m sobre el nivel del suelo en posición axial, utilizar cinchos para asegurar y evitar su caída.
3. Registrar la temperatura y humedad promedio, durante el periodo de muestreo.
4. Anotar fecha y hora, tanto de inicio como de término del muestreo.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	34/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

5. Retirar el dispositivo de muestreo después del tiempo establecido por el profesor.
6. Envolver el dispositivo en papel aluminio para protegerlo antes de su análisis en el laboratorio.

Sesión 2

Objetivo de la sesión:

Extraer el contaminante muestreado.

Actividad 4 Extracción

1. Con el uso de guantes y pinzas, colocar la membrana del dispositivo en un tubo con fondo cónico de polietileno de alta densidad (HDPE) previamente lavado y enjuagado con agua desionizada.
2. Agregar 15 mL de agua desionizada y sonicar durante 15 min, vigilar que la temperatura no exceda los 50°C.
3. Después de concluir el tiempo de sonicación en el mismo tubo adicionar agua desionizada hasta llegar a 25 mL.

Nota: La muestra filtrada está lista para el análisis de composición iónica, mediante el uso del cromatógrafo de intercambio iónico. Dicho análisis no se realiza en el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Sin embargo, la medición de los iones es requerida para el análisis de resultados.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	35/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Actividad 5 Cálculo de la concentración de SO₂ en µg/m³ asociada a la concentración de SO₄²⁻ determinada en el extracto de la membrana.

El profesor expondrá un estudio de caso que muestre el tratamiento de los datos y el análisis de resultados correspondiente a la determinación de SO₂.

Se basará en los siguiente secuencia:

1. Calcular el área (cm²) de la membrana utilizada en el dispositivo pasivo.
2. Considerando que el coeficiente de difusión del dióxido de azufre (SO₂) en el aire a temperatura ambiente (25°C) es aproximadamente 0.0411 cm²/s y la distancia de la membrana a la entrada del dispositivo es de 1.34 cm. Determinar la capacidad de captación (S) [cm³/s] de la membrana utilizada en el dispositivo. $S = D/A \cdot L$.
3. Calcular la masa de SO₄²⁻ en µg asociada a la concentración de sulfato determinada en el extracto de la membrana. Tomar en cuenta las diluciones y los aforos realizados.
4. Calcular la masa de SO₂ µg asociada a la masa de SO₄²⁻ µg determinada en el extracto de la membrana. Tomar en cuenta las diluciones y los aforos realizados.
5. Convertir el tiempo de muestreo en segundo y multiplicarlo por la capacidad de captación, para obtener el volumen de SO₂ captado en el ambiente (cm³).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	36/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Calcular la concentración de SO₂ en µg/m³ y en ppm asociada a la concentración de sulfato determinada en el extracto de la membrana. Tomar en cuenta las diluciones y los aforos realizados.

7. Resultados

- Elaborar una tabla utilizando los datos obtenidos de todos sus compañeros y agregar el sitio de muestreo, coordenadas, descripción de los alrededores, condiciones meteorológicas, tiempo de muestreo y concentración de contaminante seleccionado.
- Elaborar un mapa que muestre la distribución espacial de las concentraciones del contaminante
- Determinar las concentraciones promedio y mediana semanal del contaminante de la estación de monitoreo más cercana al sitio de muestreo.

8. Análisis de resultados

- Al comparar las determinaciones de contaminante en ppb ¿Qué sitios de muestreo presentaron las mayores concentraciones de este contaminante?
- ¿Existe relación entre las concentraciones del contaminante determinadas y la meteorología? Justifique su respuesta
- ¿Existe relación entre las fuentes potenciales de emisión del contaminante y las concentraciones determinadas en los sitios de muestreo? Justifique su respuesta

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	37/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

9. Conclusiones

Redactar la conclusión correspondiente basándose en la relación entre los objetivos y los resultados.

10. Bibliografía

Anote todas las referencias bibliográficas de libros, revistas, manuales, imágenes, tablas, videos, normas, entre otros documentos, de acuerdo con la APA versión 7, empleadas en la elaboración del informe.

11. Anexos

I. Actividades previas a la realización de la práctica.

- a) Realizar un diagrama de flujo basado en el desarrollo.
- b) Completar la tabla 1 para dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y Amoniaco (NH₄⁺)
- c) Realizar una investigación con base al siguiente cuestionario:
 - ¿Cómo se mide la contaminación del aire?
 - ¿Qué es el monitoreo?
 - ¿Qué es el muestreo?
 - ¿Qué es un dispositivo pasivo?
 - ¿Qué es un dispositivo activo?
 - ¿Qué es el monitoreo de percepción remota?

	Manual de prácticas del Laboratorio de Evaluación de la Calidad del Aire	Código:	MADO-97
		Versión:	02
		Página	38/38
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	07 de febrero de 2025
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y Ambiental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Fuentes de consulta

- Dirección de Monitoreo Atmosférico (cdmx.gob.mx).
<http://aire.cdmx.gob.mx/default.php>
- Krupa, S. V., & Legge, A. H. (2000). Passive sampling of ambient, gaseous air pollutants: An assessment from an ecological perspective. *Environmental Pollution*, 107(1), 31-45.
- Norma Oficial Mexicana NOM-022-SSA1-2019. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al bióxido de azufre (SO₂). Valor normado para la concentración de bióxido de azufre (SO₂) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población".
- Norma Oficial Mexicana NOM-CCAM-005-ECOL/1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de bióxido de azufre en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.
- Organización Mundial de la Salud OMS (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial.