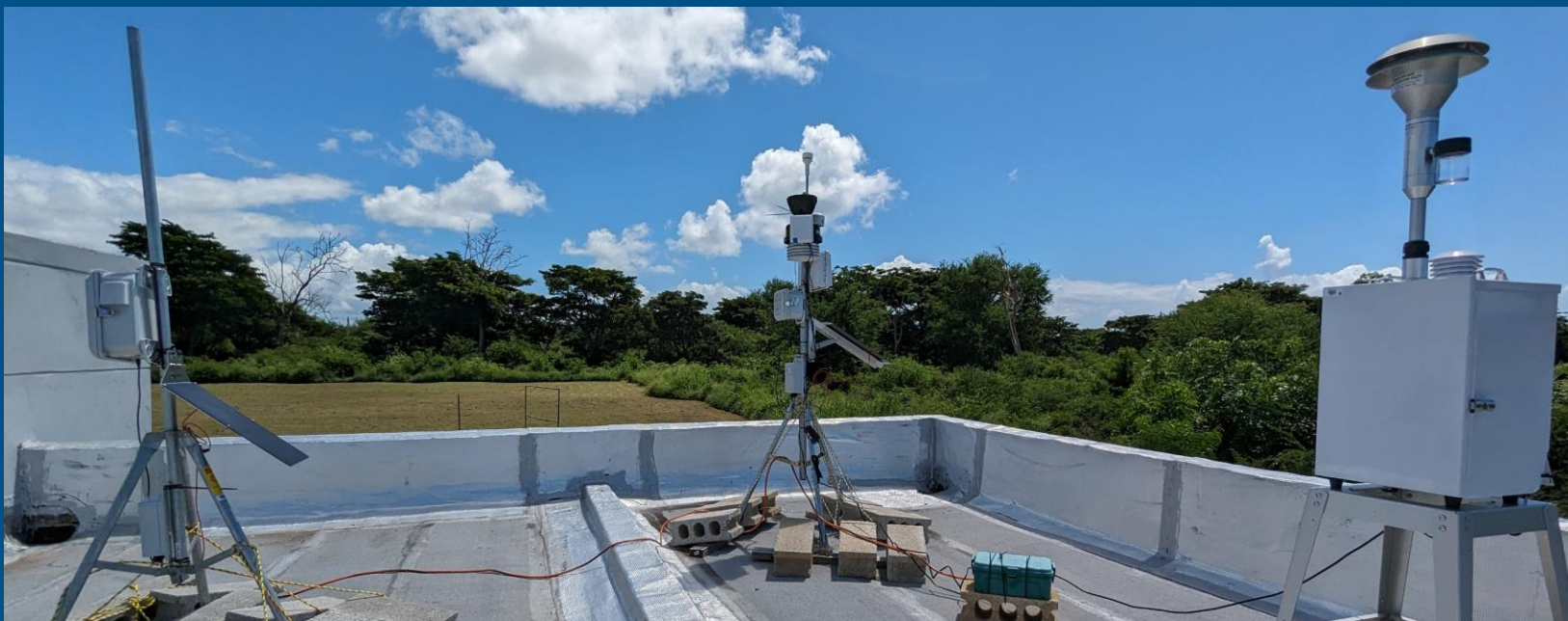


Estudio de Monitoreo Comunitario de Material Particulado de Puente Jobos

Amara Holder¹, Gavin Lau², Sarah Pender², Matt Landis¹, Maribel Colón¹,
Farnaz Nojavan¹, Kasey Kovalcik¹, Gary Norris¹, Gayle Hagler¹

¹Oficina de Investigación y Desarrollo de la EPA

²Región 2 de la EPA



Trasfondo del proyecto

Preocupaciones expresadas por la comunidad a la EPA en 2022

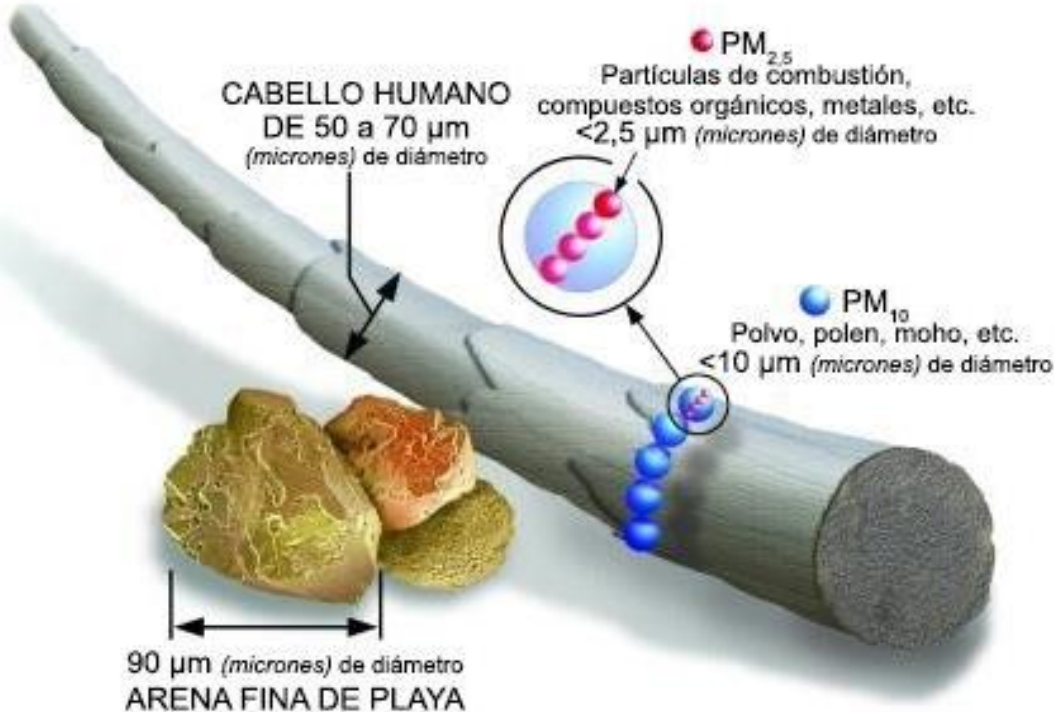
- Polvo fugitivo de los residuos de la combustión del carbón en una instalación ★ cercana afecta la calidad del aire en la comunidad, se expresó especial preocupación por una escuela cercana
- Se cuestionó si el sitio de monitoreo del aire del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de Puerto Rico (DRNA) ▲ es representativo de la calidad del aire en la comunidad
- Preocupación por sustancias químicas/compuestos que hay en material particulado



Polvo fugitivo = partículas que entran en el aire desde fuentes abiertas

Residuos de la combustión del carbón = subproducto de la combustión del carbón

Trasfondo del proyecto



- La presentación se centrará en dos medidas de material particulado (PM por sus siglas en inglés) que son reguladas por las Normas Nacionales de Calidad del Aire Ambiental (NAAQS)

- PM_{2.5}
- PM₁₀

Se espera que los residuos de la combustión del carbón se sitúen más en el rango de tamaño de PM₁₀ debido a su tamaño mayor. Las emisiones por la combustión del carbón y de otras fuentes (vehículos de motor, quema de leña) suelen estar en el rango de tamaño de PM_{2.5}.

Trasfondo del proyecto: Monitoreo oficial de la calidad del aire en Puente Jobos efectuado por el DRNA



Inició operación en 2020

- $PM_{2.5}$ (1 muestra cada 3 días)
última muestra en 2022
- PM_{10} (1 muestra cada 6 días)
- Aprobado y auditado por EPA

- 1999-2017, el monitoreo de PM fue realizado por el DRNA en una escuela cerca de la intersección de las carreteras PR-3 y la PR-707
 - El sitio cerró después del Huracán María
- En 2020 el DRNA estableció un nuevo sitio en una escuela a unos 1000 pies al Este de la ubicación anterior de la carretera PR-3
- El terremoto de 2020 y la Pandemia del COVID-19 afectó la colección de datos
- Se reanudaron las operaciones en el otoño de 2021
- No ha habido problemas históricos de logro de NAAQS en los sitios de Guayama relacionados con $PM_{2.5}$ ni PM_{10}

Enlace a los datos:

<https://www.epa.gov/outdoor-air-quality-data>

Aportes de la comunidad al diseño del proyecto

Aportes de la comunidad

Preocupaciones sobre los residuos de la combustión del carbón en la calidad del aire



Acción de la EPA

Desarrollo de un proyecto para medir las concentraciones de material particulado (PM) en Puente Jobos

¿El sitio de monitoreo del aire representa la calidad del aire en la comunidad?



Despliegue de sensores en la Escuela Adela Brenes Texidor y áreas cercanas

Preocupaciones sobre más que PM_{2.5}



Se añadieron sensores de PM₁₀

¿Qué hay en las partículas que estamos respirando?



Se añadió un monitor regulatorio para medir masa de PM₁₀ y compuestos en PM₁₀

¿Cuál es la calidad del aire en los barrios circundantes?



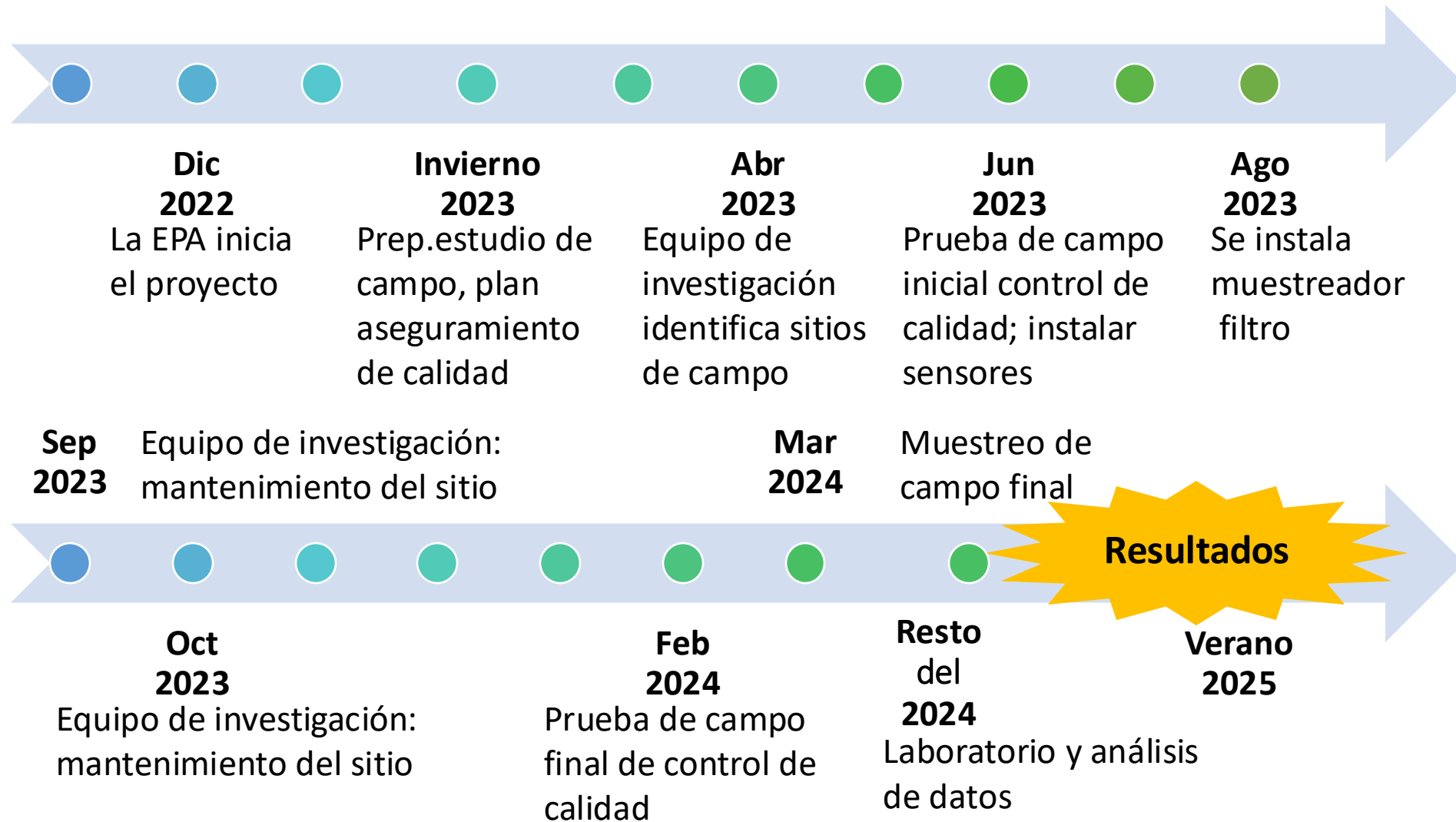
Se añadieron cuatro sitios viento abajo en comunidades vecinas

¿Cómo sabremos lo que está pasando con el proyecto?

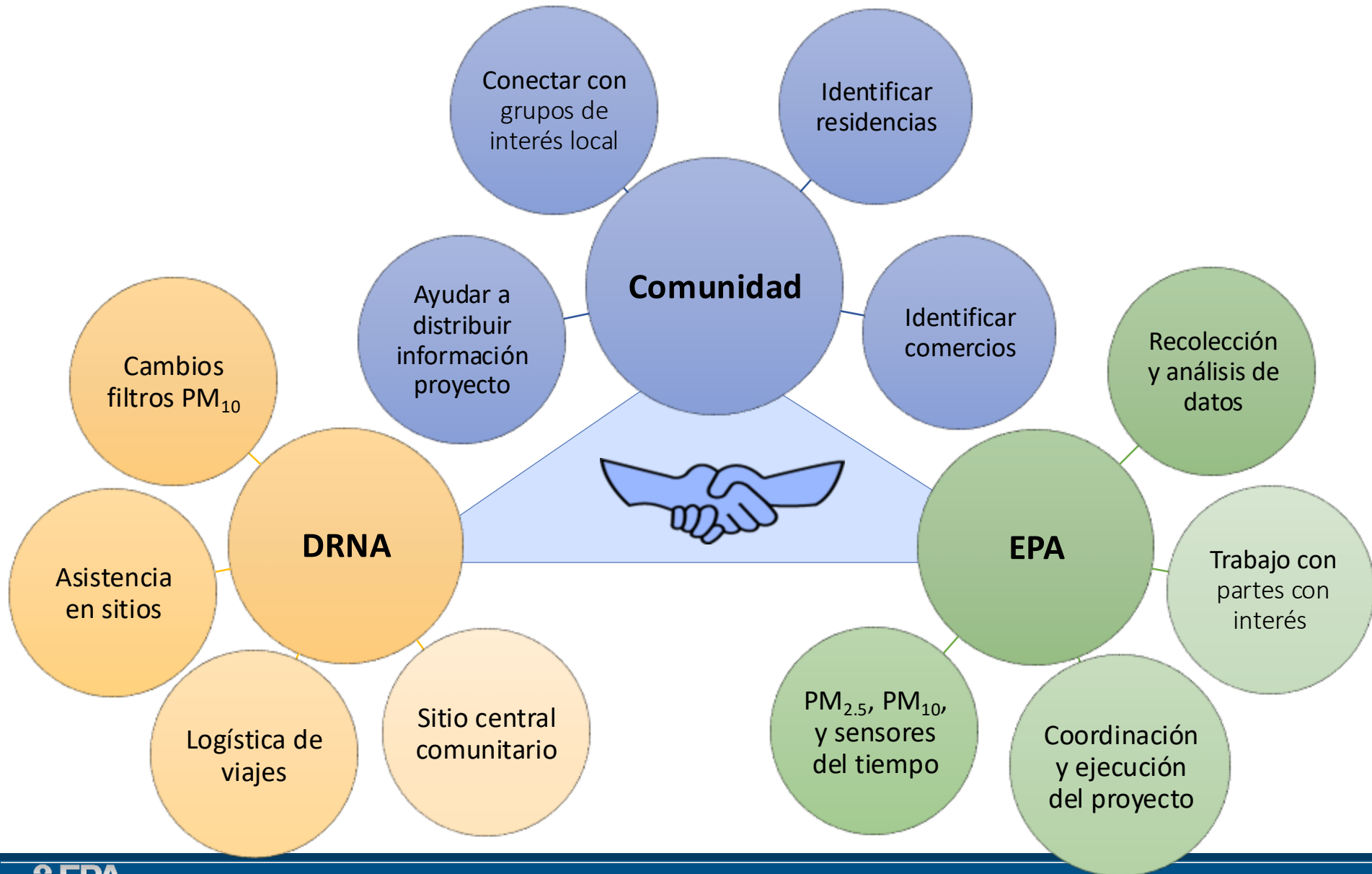


Actualizaciones mensuales proporcionadas a través de boletines informativos y presentaciones periódicas

Cronograma del proyecto



La colaboración ha sido un componente clave



La comunicación fue una prioridad al recopilar datos

- El equipo del estudio proporcionó actualizaciones rutinarias sobre el progreso de la investigación durante la fase de recopilación de datos (julio 2023 a marzo 2024)
- Las actualizaciones incluyeron resúmenes de los datos preliminares recopilados durante el mes y cualquier actividad de investigación notable
- Actualizaciones mensuales del proyecto disponibles en inglés y español

Actualizaciones del estudio de campo:

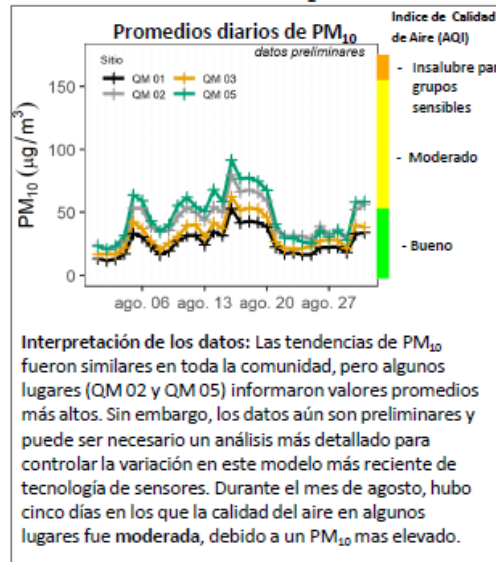
- En agosto, el equipo de investigación de la EPA instaló el dispositivo de muestreo para recolectar filtros de aire para el análisis químico de PM_{10} . En adición, el equipo de la EPA entrenó a los colegas del DRNA sobre cómo mantener el dispositivo de muestreo para este proyecto. El equipo también visitó varios lugares para verificar los equipos de sensores, descargar datos y conectar dos sensores a la red de internet.
- Un sensor de PM_{10} (QM 04) se averió, por lo que los datos del sensor no se muestran en este resumen. La evaluación del sensor (QM 04) está en proceso. Por último, varios sensores PA no tenían datos en línea para incluir.



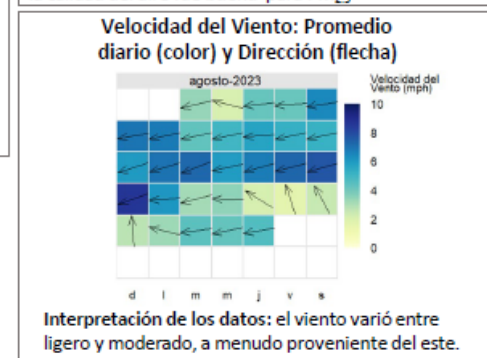
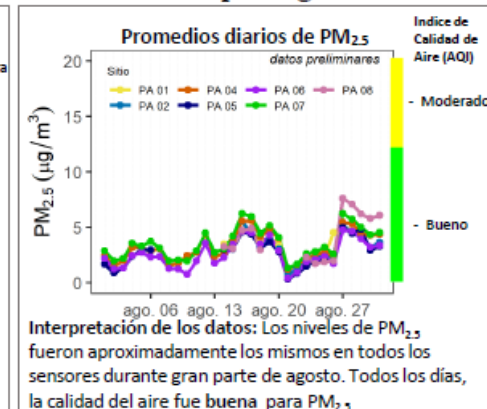
Crédito de la foto: Maribel Colon

Crédito de la foto: Matt Landis

Resumen de datos procedentes de sensores en línea para agosto 2023

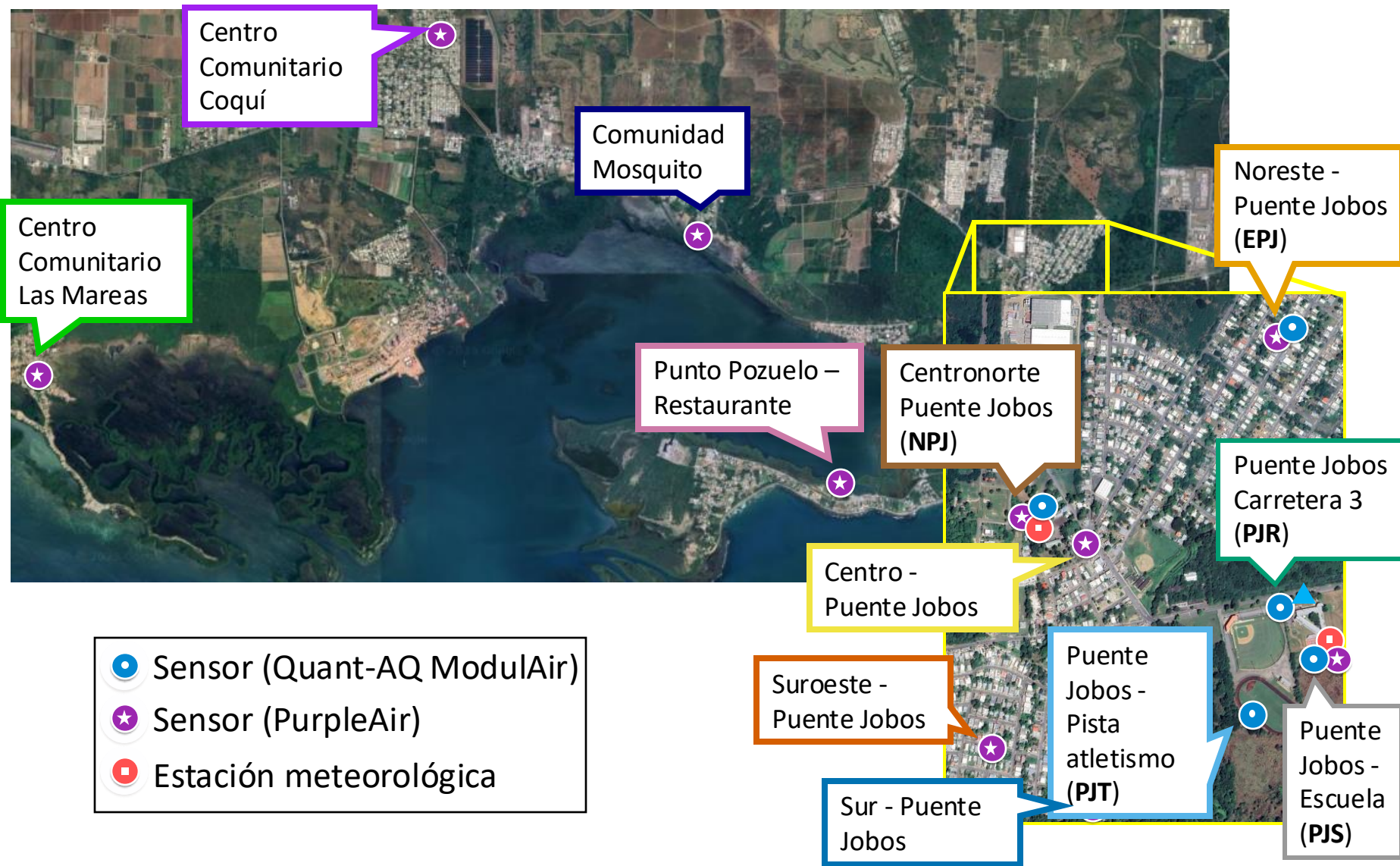


Para obtener más información sobre el índice de calidad del aire: Los gráficos de promedios diarios de $PM_{2.5}$ y PM_{10} muestran a la derecha el índice de calidad del aire (AQI), que es un indicador de lo limpio o contaminado que está el aire. Más información sobre el AQI en <https://www.aimow.gov/aqi/aqi-basics/>.



El hecho de que se mencionen nombres de marcas, productos o servicios, no implica que sean recomendados por el Gobierno de los Estados Unidos, ni por la Agencia de Protección Ambiental. La EPA no recomienda ningún producto, servicio ni empresa comercial en especial.

Sitios de monitoreo comunitario



Medición de sensores

Se usaron tres equipos de sensores de menor costo

1. Sensor QuantAQ ModulAir™

PM Este equipo mide PM_{10} y $PM_{2.5}$ y es sensible a las partículas más grandes en el polvo, informes de datos en línea aunque no al público en general



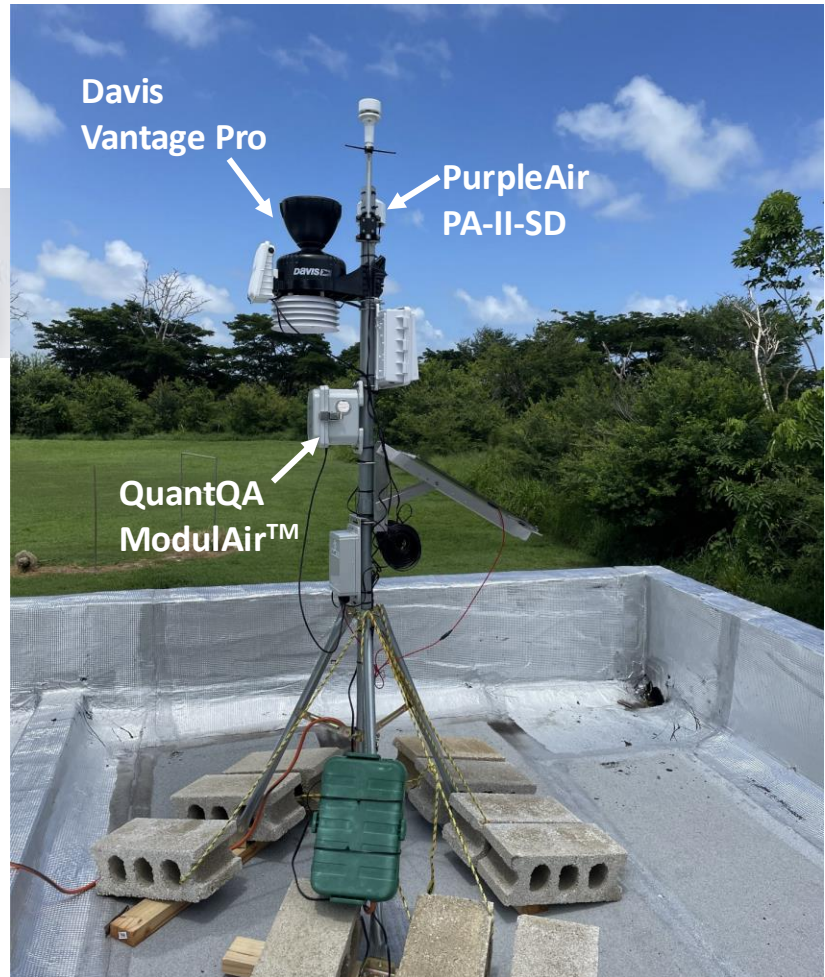
2. Sensor PurpleAir PA-II-SD

Este equipo mide $PM_{2.5}$, no responde al polvo, informes de datos en línea y accesibles al público en general



3. Davis Vantage Pro

Este equipo mide temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, informes de datos en línea aunque no al público en general



Métodos de medición del filtro de PM



Se utilizó un muestreador de filtro del método de referencia federal (FRM) MetOne Sequential Sampler (E-SEQ-FRM) para recopilar filtros PM_{10} diarios

La concentración de PM_{10} se determina primero por masa del filtro, luego se midieron los filtros en cuanto a composición de oligoelementos (por ejemplo, magnesio, calcio, fósforo, etc.). Se utilizaron dos enfoques para medir el tipo y cantidad de elementos:

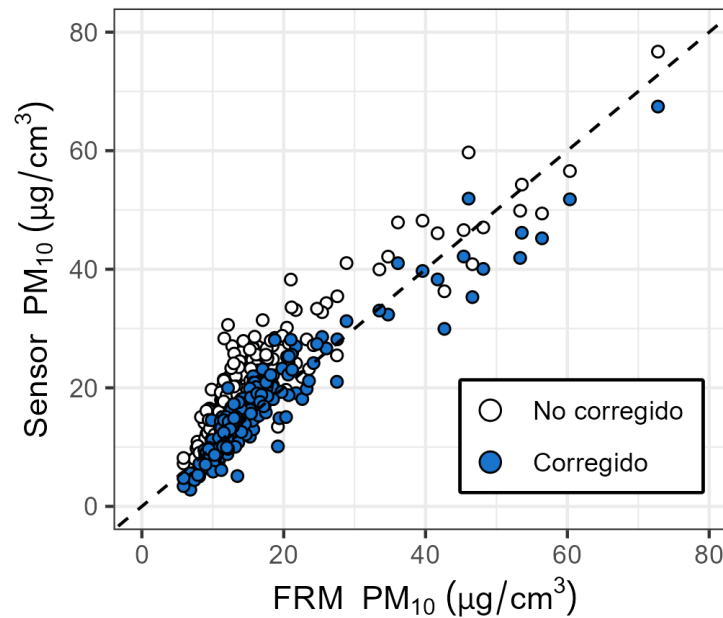
- Se utilizó una técnica de fluorescencia de rayos X (XRF) para medir los elementos y es el método estándar utilizado para la red de especiación química en todo EE. UU.

→ El equipo descubrió que las mediciones de elementos de muchas muestras estaban por debajo del límite de detección de este método.

- A continuación, utilizamos el método de espectrometría de masas acoplada inductivamente (ICP-MS), ya que es más sensible y puede medir muchos más compuestos a concentraciones más bajas.



Control de calidad QuantAQ ModulAir

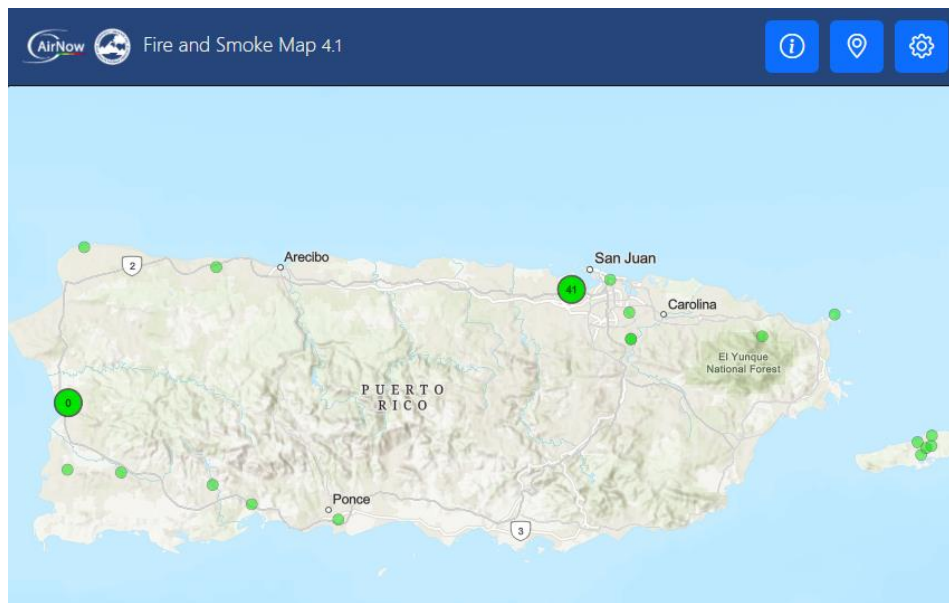


La precisión de los datos obtenidos por el sensor se mejora al usar una ecuación de corrección lineal que tiene en cuenta características específicas del sitio, como el tamaño de PM, la humedad relativa y temperatura

- Sensores colocados unos junto a otros para comparar entre sí y aumentar la precisión
 - Antes del estudio en Ponce del 26 de abril al 11 de junio de 2023
 - Después del estudio en Puente Jobos del 21 de febrero al 13 de marzo de 2024
- Se usó una colocación a largo plazo en la escuela (PJS) para aumentar la precisión de la concentración de PM₁₀ en comparación con la medición de filtro (FRM) del método de referencia federal (FRM)
 - Puente Jobos desde el 16 de junio de 2023 al 13 de marzo de 2024

Control de calidad de PurpleAir

- Los sensores PurpleAir solo son sensibles a las partículas más pequeñas en $PM_{2.5}$, pero no reportan datos precisos de PM_{10}
- Se utilizó el procedimiento de corrección establecido para mejorar la precisión de datos de $PM_{2.5}$ de PurpleAir siguiendo la metodología utilizada en el Mapa de Incendios y Humo AirNow de la EPA



Mapa de incendios y humo de AirNow, que muestra las mediciones de los sensores (círculos pequeños) en Puerto Rico

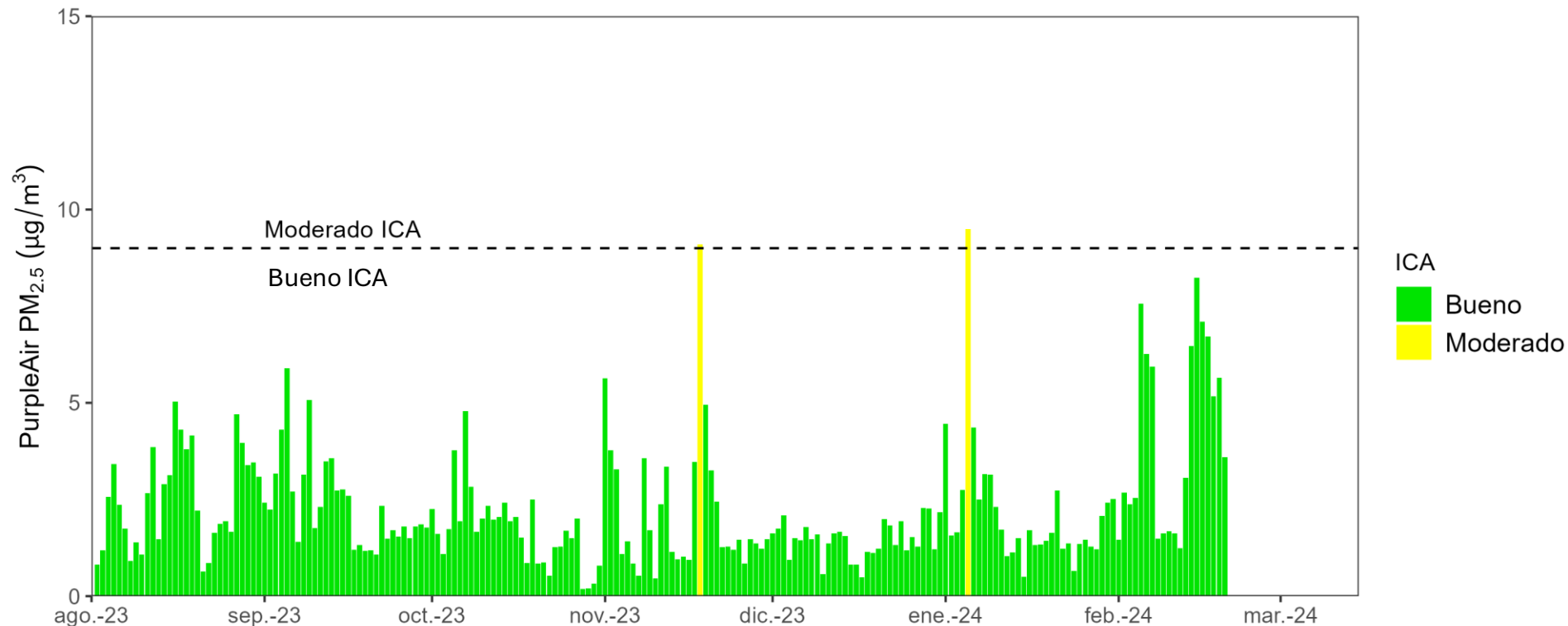
- Corrección a partir de un estudio en todo EE. UU. del sensor PurpleAir en comparación con mediciones de filtro FRM de $PM_{2.5}$
- Se corrigieron los datos de QuantAQ $PM_{2.5}$ a PurpleAir colocados en este estudio para dar concentraciones comparables entre los sensores del estudio

Repaso del Índice de Calidad del Aire (ICA)

Color ICA	Niveles de preocupación	Límites PM _{2.5} µg/m ³	Límites PM ₁₀ µg/m ³	Descripción de calidad del aire
Verde	Bueno	0 – 9.0	0 – 54	La calidad del aire es satisfactoria y la contaminación atmosférica representa poco o ningún riesgo.
Amarillo	Moderado	9.1 – 35.4	55 – 154	La calidad del aire es aceptable, pero puede haber riesgo en personas, particularmente algunas inusualmente sensibles a la contaminación del aire.
Naranja	Insalubre para grupos sensibles	35.5 – 55.4	155 – 254	Los grupos sensibles pueden experimentar efectos en la salud. El público en general tiene menos probabilidades de verse afectado.
Rojo	Insalubre	55.5 – 125.4	255 – 354	Algunos miembros del público en general pueden sufrir efectos en la salud; los grupos sensibles pueden sufrir efectos más graves en la salud.
Morado	Muy Insalubre	125.5 – 225.4	355 – 424	Alerta sanitaria: El riesgo de efectos en la salud aumenta para todas las personas.
Café	Peligroso	225.5 +	425 +	Aviso sanitario de emergencia: todas las personas tienen más probabilidades de verse afectadas.

Solo se vieron las categorías de AQI Bueno (Verde) y Moderado (Amarillo) en el estudio

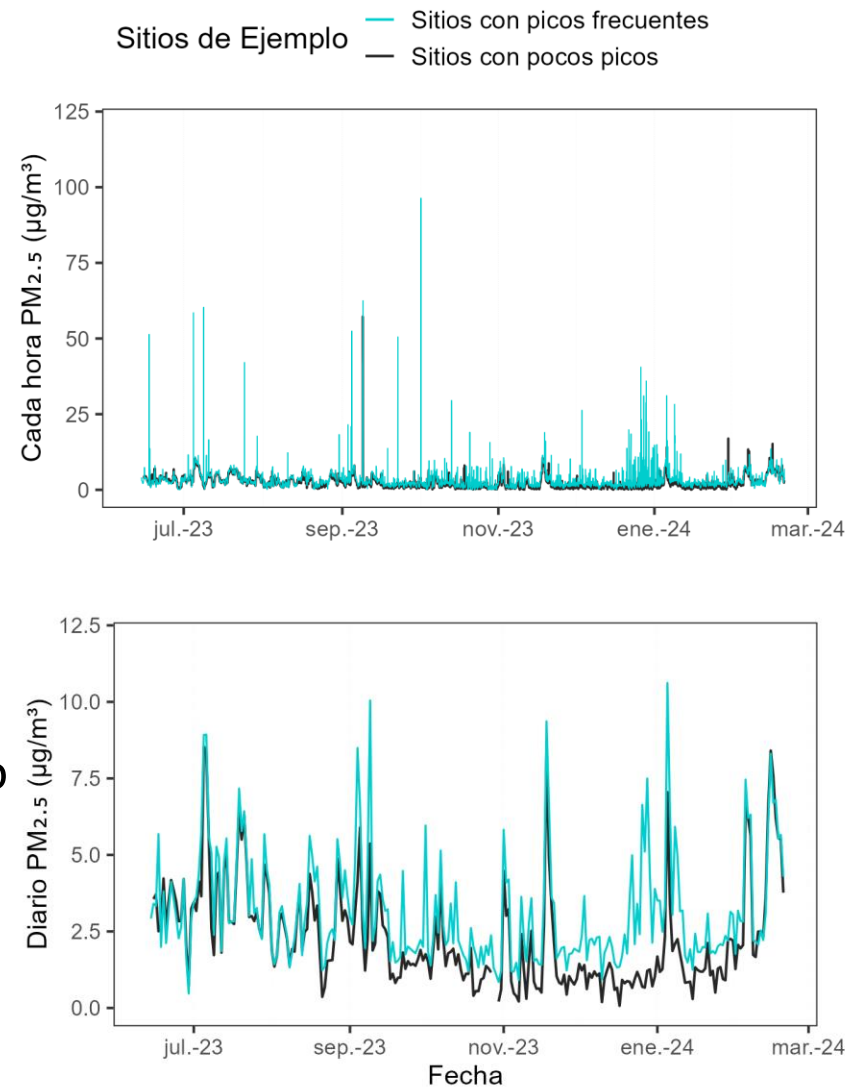
Concentraciones de PM_{2.5} durante el estudio



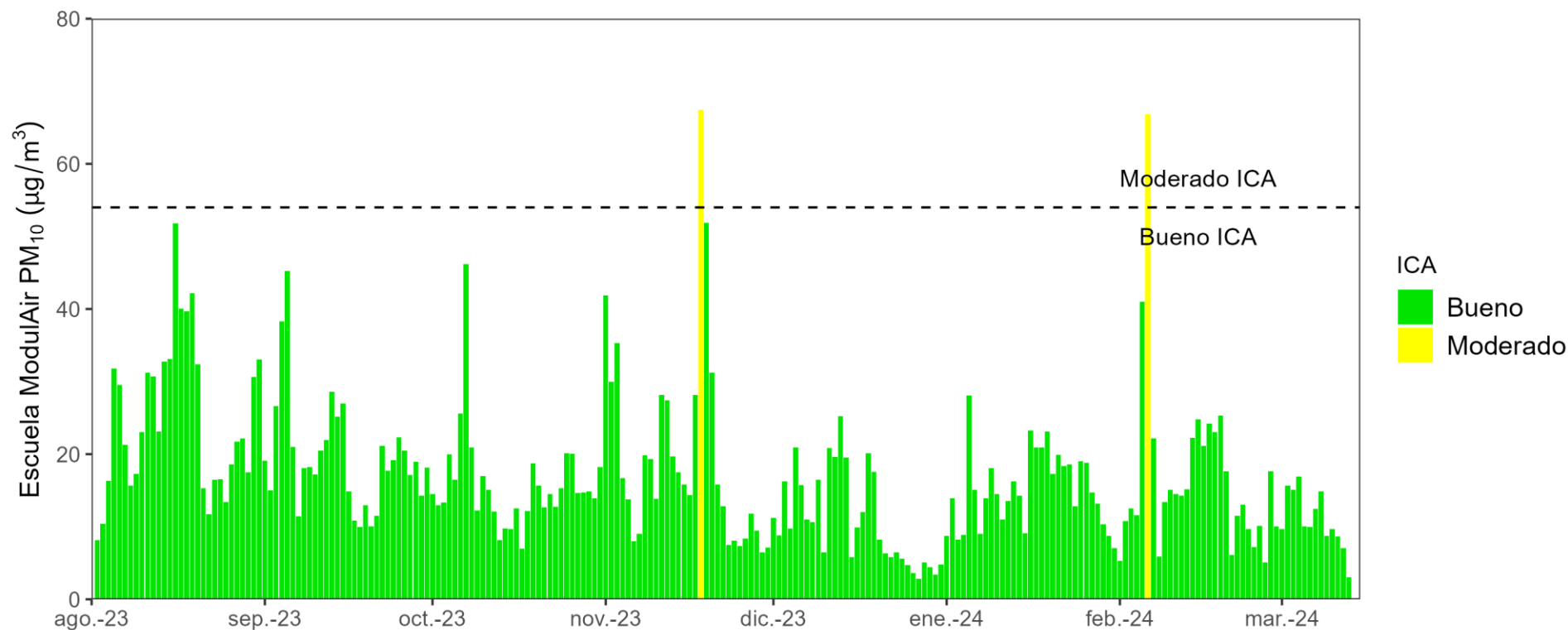
Durante el estudio, las concentraciones de PM_{2.5} generalmente se encontraban en la categoría Buena del Índice de Calidad del Aire, lo que significa que la calidad del aire es satisfactoria y la contaminación del aire presenta poco o nada de riesgo

PM_{2.5} por hora durante el estudio

- Algunos sitios tenían concentraciones frecuentes y altas por hora, llamadas “picos”
- Aunque estos picos tienen alta concentración, son de corta duración
- Podemos comparar dos sitios para ver el impacto de los picos frecuentes en los promedios diarios:
 - Picos frecuentes: Suroeste de Puente Jobos
 - Pocos picos: Punto Pozuelo
- Un solo pico en el Suroeste de Puente Jobos fue 96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras Punto Pozuelo fue solo 2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dado que los picos son cortos, tienen mínimo impacto en PM_{2.5} que fue 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el Suroeste de Puente Jobos y 2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Punto Pozuelo

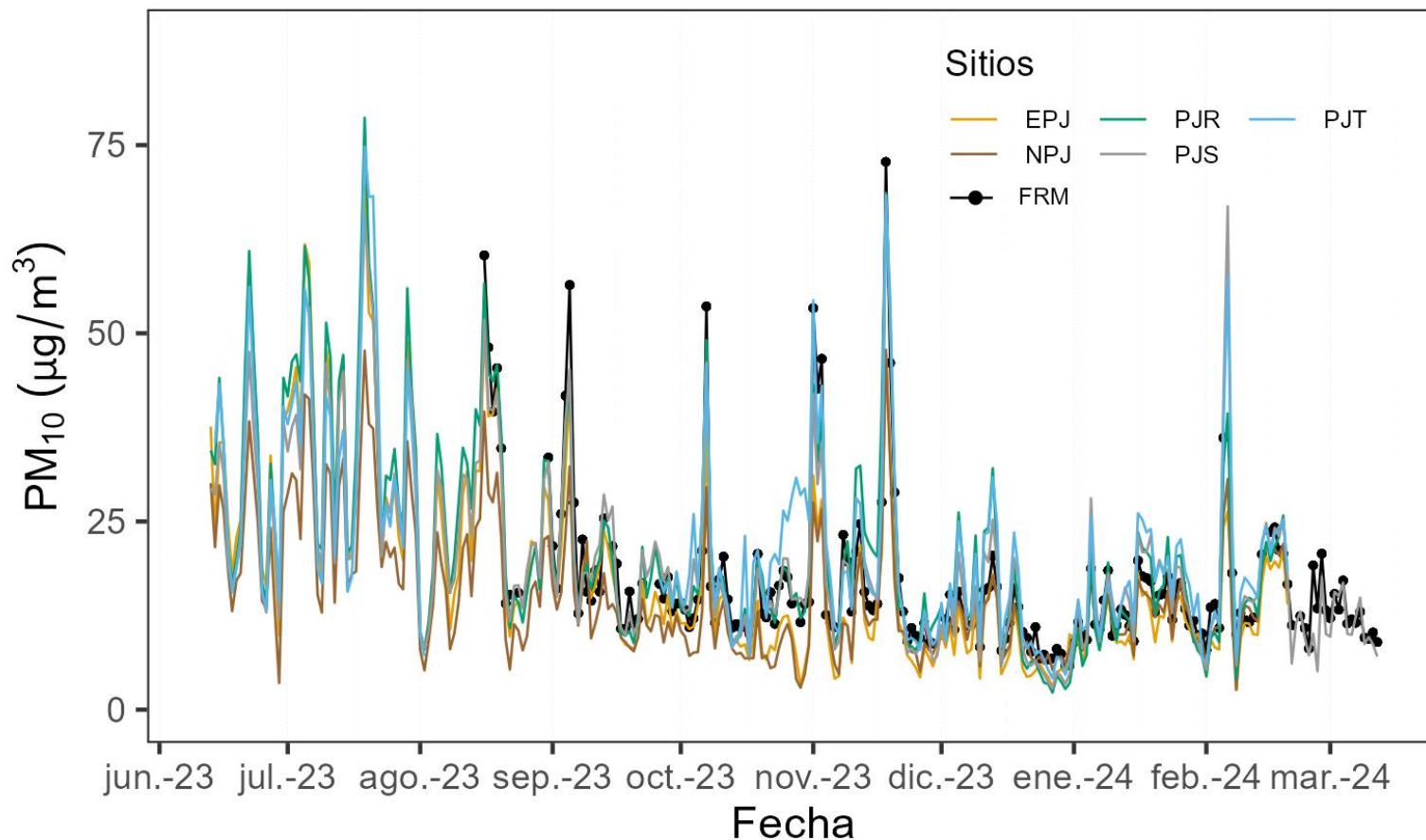


Concentraciones de PM_{10} durante el estudio



Las concentraciones de PM_{10} estuvieron generalmente en la categoría Buena del Índice de Calidad del Aire durante el estudio, lo que significa que la calidad del aire es satisfactoria y la contaminación del aire presenta poco o ningún riesgo

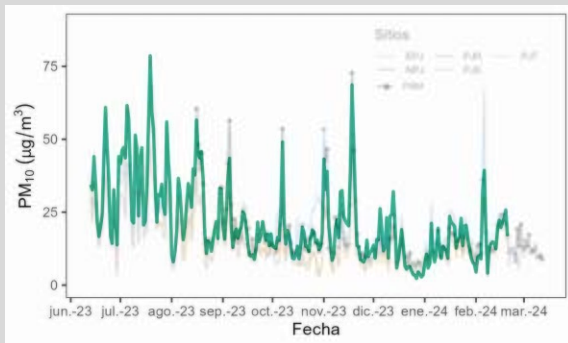
Variación de PM_{10} en toda la comunidad



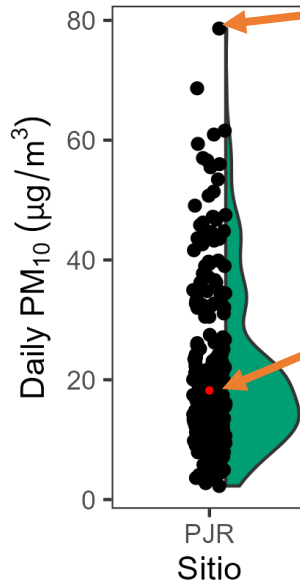
Las tendencias de concentraciones de PM_{10} siguen un patrón similar en toda la comunidad de Puente Jobos

Enfoque estadístico para la comparación entre sitios

Difícil identificar qué sitio es más alto de las series temporales promediadas diariamente



Usar análisis estadístico para comparar entre sitios

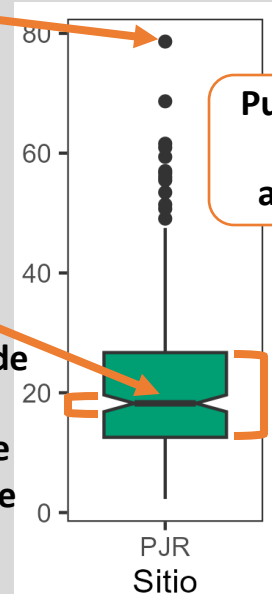


Desarrollar una distribución de cada punto de datos de PM_{10} durante el estudio para identificar qué concentraciones se observaron más a menudo

Valor diario más alto observado

Valor medio diario

Intervalo de confianza del 95% de la media se encuentra en la indentación (>)



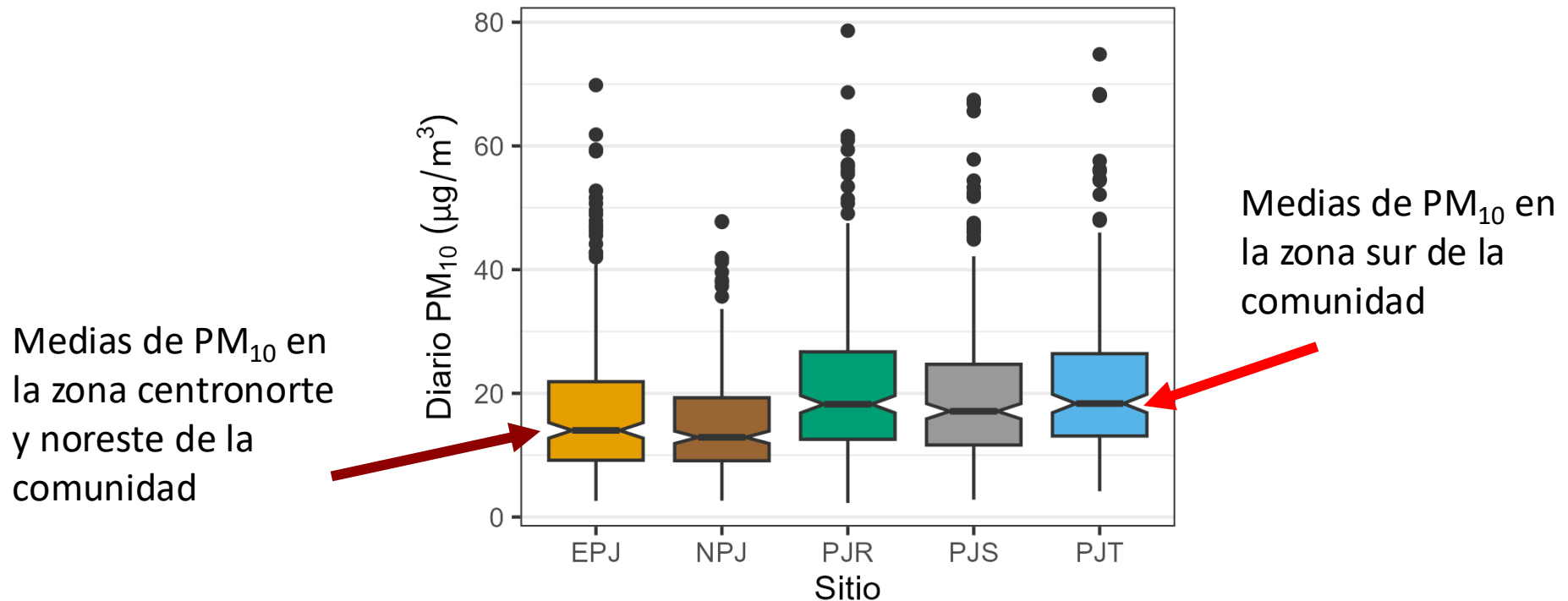
Puntos de datos atípicos

50% de los valores diarios están en este cuadro

Usar estos cuadros para comparar entre sitios; cuando las indentaciones no se superponen en 2 cuadros, las medias son muy diferentes

Los sitios del sur tuvieron un nivel de PM_{10} mayor durante el estudio

Diagramas de caja de PM_{10} promedio diario durante el estudio



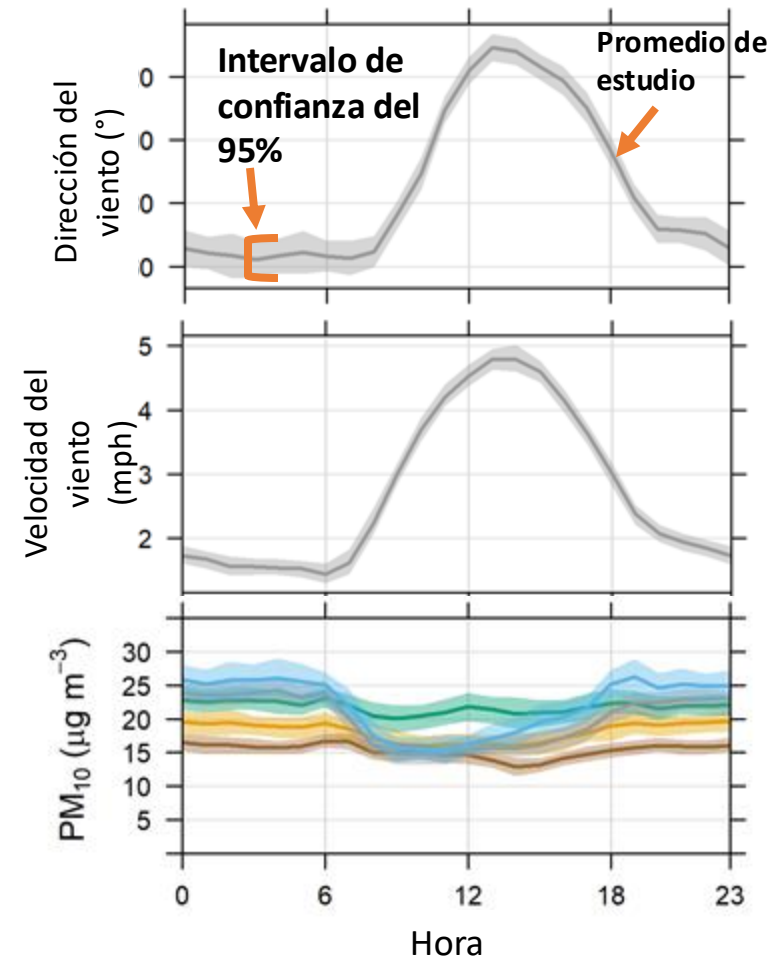
Sitios en el sur (cerca de la PR-3, escuela, pista) tienen valores medios más altos y valores diarios máximos más altos que los sitios en las zonas centro y norte de Puente Jobos

~13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en zona Centro-Norte

~18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en zona suroeste

Concentración de PM_{10} y tendencias del viento, por hora del día durante el estudio

- La velocidad del viento en la noche es baja, durante el día los vientos aumentan y su dirección cambia del Noreste al Sureste
- PM_{10} disminuye durante el día, mientras los vientos aumentan, lo que sugiere fuentes de polvo regionales, en lugar de locales



El gráfico muestra la velocidad del viento y la dirección del viento en la escuela (PJS) promediado por hora del día y las concentraciones de PM_{10} en toda la comunidad

Elementos traza de PM₁₀ medidos en el estudio

Elemento	Promedio (µg/m³)	Desviación estándar (µg/m³)	75% de observaciones sobre el límite de detección	
			XRF	ICP-MS
Mg	0.262	0.163	Sí ✓	Sí ✓
V	0.00068	0.0005	No ✗	Sí ✓
Pb	0.00094	0.0058	No ✗	Sí ✓
As	0.00009	0.00009	No ✗	Sí ✓
Tl	0.0000056	0.0000023	No ✗	No ✗

Mg = magnesio V = vanadio; Pb = plomo; As = arsénico; Tl = talio

Aunque la concentración promedio de PM₁₀ fue de 16.7 µg/m³, con una desviación estándar de 10.5 µg/m³, hubo elementos traza presentes en concentraciones mucho más bajas, a veces por debajo del límite de detección del método estándar.

Incluso a bajas concentraciones, los elementos traza se pueden utilizar en combinación para estimar diferentes fuentes de PM₁₀, según la investigación científica que estudia las emisiones de diferentes tipos de fuentes ("perfiles de fuentes").

Factorización de matrices positivas (PMF) para identificar fuentes de PM₁₀

El PMF es un modelo de investigación estadística ampliamente utilizado que tiene en cuenta:

1. La firma química de diferentes fuentes de PM₁₀ (“perfiles de fuentes”) se puede utilizar para identificar sus contribuciones.
2. La química de lo que se mide en un conjunto de muestras lo suficientemente grande puede revelar diferentes fuentes.



Corteza – PM₁₀ relacionado con la arena o el suelo, distinguidos por aluminio, silicio y otros



Emisiones de carbón y cenizas – PM₁₀ contienen una amplia variedad de elementos; incluyen emisiones de chimenea y polvo fugitivo



Demoliciones – PM₁₀ que contiene cobre y plomo



Combustión diésel y petróleo – PM₁₀ que contiene vanadio y níquel



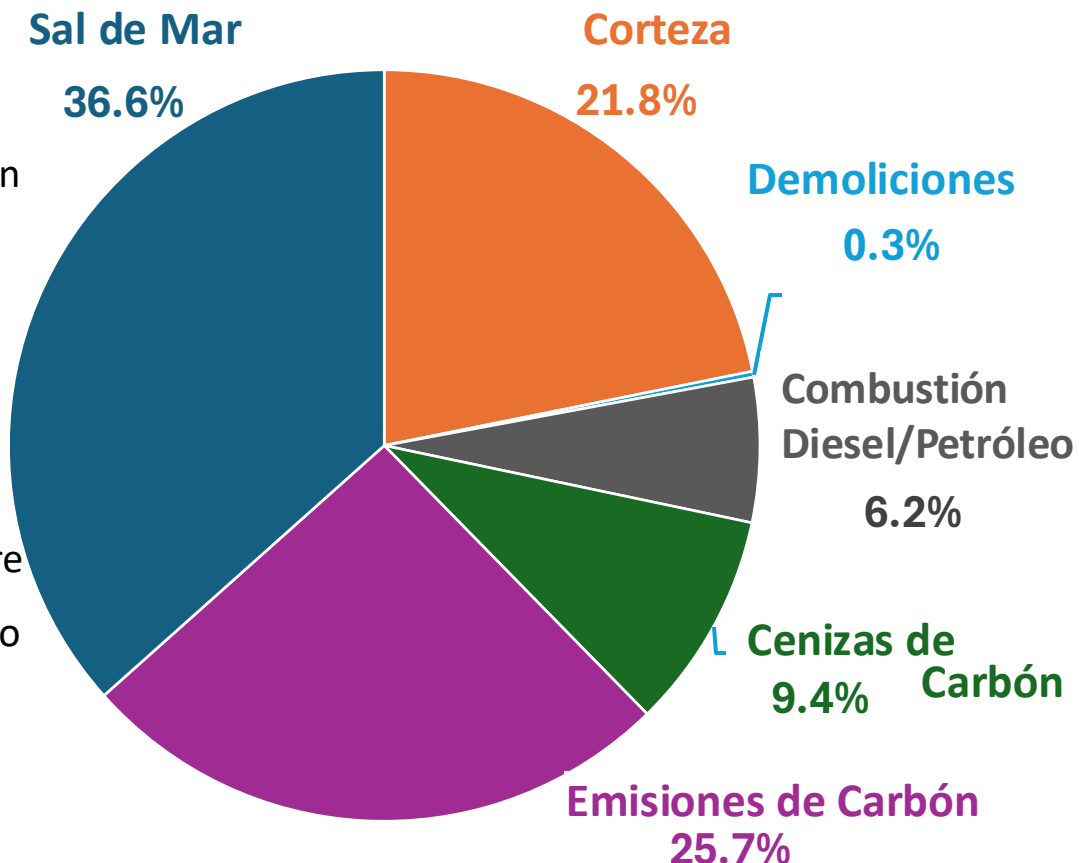
Sal de mar – PM₁₀ aerosoles derivados del mar que contienen sodio y magnesio

Fuentes promedio de PM₁₀ durante el estudio

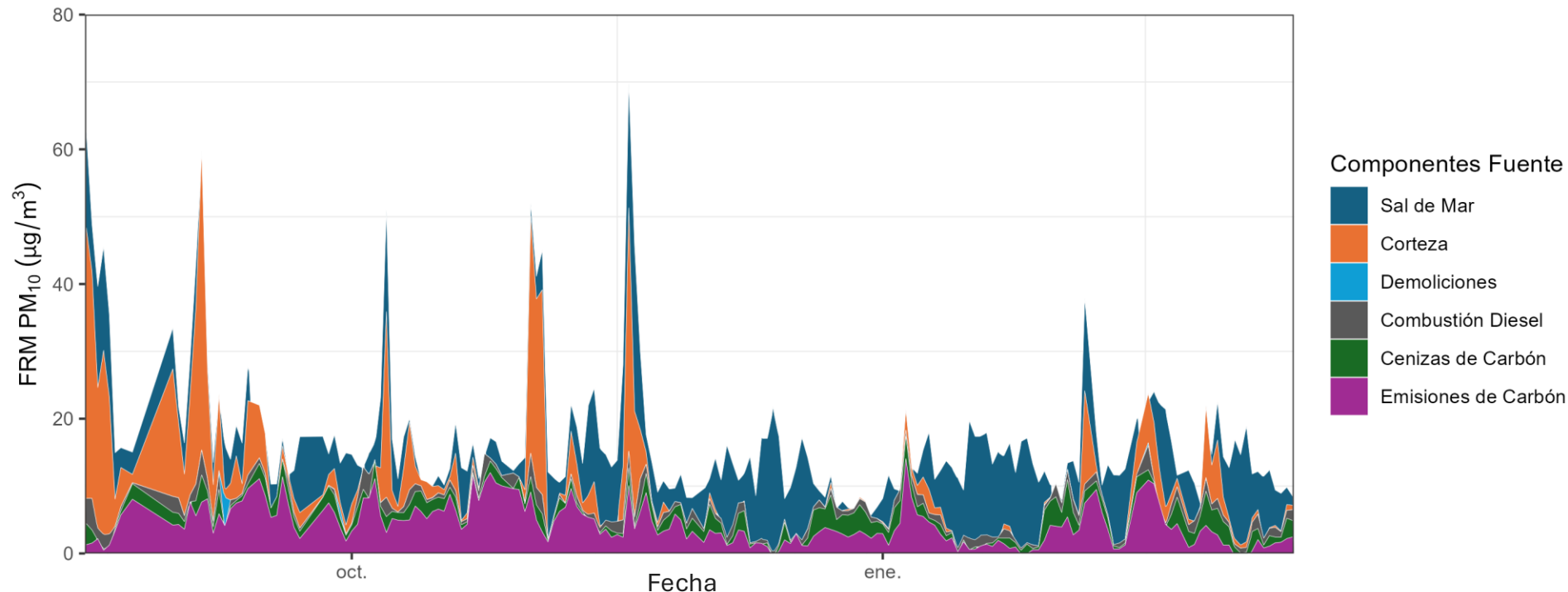
Esta gráfica muestra principales fuentes contribuyentes a PM₁₀ a lo largo de todo el estudio derivado de los resultados del modelo PMF

Observaciones del equipo de investigación, a partir de una observación más detallada de los resultados de PMF en una serie temporal:

- PM₁₀ asociado con la sal marina aumentó en los días en que había más viento
- Las emisiones de PM₁₀ asociadas con el carbón (stack) disminuyeron en los días en que había más viento
- Los días con mayor PM₁₀ también tuvieron el componente más alto de corteza terrestre
- Con este método se pudo identificar cuando se demolió el refugio en la cancha de baloncesto cerca de la escuela



Fuentes de PM₁₀ con el tiempo



- Los días con la mayor concentración de PM₁₀ ocurren durante los días con la mayor contribución de materiales de la corteza terrestre
- Las fuentes potenciales podrían incluir las fuentes locales de materiales de la corteza terrestre y el transporte a larga distancia (por ejemplo, polvo del Sahara)
- Las emisiones de carbón, las cenizas de carbón y la combustión de diésel tienen una contribución más constante en cada mes del estudio

Conclusiones

- La calidad del aire en la comunidad de Puente Jobos fue generalmente buena durante el periodo de estudio (Junio 2023 – Marzo 2024)
- El sitio de monitoreo actual del DRNA ubicado en la entrada de la escuela (AQS ID: 72-057-0012) midió algunas de las más altas concentraciones de PM₁₀ en toda la comunidad y era similar en concentraciones al sitio al otro lado de la escuela
- Varias fuentes contribuyen al PM₁₀ en la escuela, incluidos los asociados con las cenizas de carbón y las emisiones, la sal marina y el material de la corteza terrestre
- PM10 detectado en la escuela relacionado a actividades humanas esta asociado principalmente a derivados de la combustión de combustibles fósiles (diésel/petróleo, carbón y cenizas)
- Las más altas concentraciones de PM₁₀ en la escuela se asociaron con compuestos de la corteza

Recursos de sensores

- **Sitio web de la caja de herramientas de sensores de aire**
 - Inglés: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox>
 - Español: <https://espanol.epa.gov/espanol/caja-de-herramientas-de-sensores-de-aire>
- **Guía de sensores de aire mejorados**
 - Inglés: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/how-use-air-sensors-air-sensor-guidebook>
 - Español: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=CEMM&dirEntryId=356426
- **Guía de colocación de sensores de aire**
 - Inglés: <https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/air-sensor-collocation-instruction-guide>
 - Español: <https://espanol.epa.gov/espanol/guia-de-instrucciones-de-colocalizacion-de-sensores-de-aire-0>

Contactos del Estudio o Proyecto

- Región 2 de la EPA
 - Gavin Lau (lau.gavin@epa.gov)
 - Sarah Pender (pender.sarah@epa.gov)
- Oficina de Investigación y Desarrollo de la EPA
 - Amara Holder (holder.amara@epa.gov)
 - Gayle Hagler (hagler.gayle@epa.gov)

Apéndice: Datos resumidos de ICP-MS para todos los elementos

Elemento	Promedio (µg/m³)	Desviación estándar (µg/m³)
Ag	9.06E-06	1.68E-05
Al	1.32E-01	1.98E-01
As	8.66E-05	9.25E-05
Ba	3.90E-03	3.38E-03
Be	3.54E-05	1.15E-05
Bi	9.88E-05	3.52E-04
Ca	3.48E-01	3.77E-01
Cd	2.17E-05	1.90E-05
Ce	2.57E-04	4.67E-04
Co	1.07E-04	1.11E-04
Cr	2.54E-04	2.54E-04
Cs	2.83E-06	1.62E-05
Cu	3.20E-03	1.99E-02
Dy	1.77E-05	2.79E-05
Fe	1.18E-01	1.44E-01
Gd	2.86E-05	5.21E-05
Ge	4.83E-06	5.10E-06

Elemento	Promedio (µg/m³)	Desviación estándar (µg/m³)
K	2.01E-01	1.19E-01
La	1.11E-04	1.80E-04
Li	1.32E-04	1.50E-04
Mg	2.62E-01	1.63E-01
Mn	4.33E-03	5.61E-03
Mo	1.50E-04	2.79E-04
Na	1.59E+00	9.76E-01
Nd	1.16E-04	2.18E-04
Ni	4.52E-04	3.35E-04
P	3.07E-02	1.95E-02
Pb	9.44E-04	5.77E-03
Pd	8.27E-06	9.48E-06
Pt	1.35E-05	2.76E-05
Rb	2.54E-04	3.27E-04
Rh	2.03E-05	7.53E-06
S	4.61E-01	2.43E-01
Sb	6.62E-04	3.81E-03

Elemento	Promedio (µg/m³)	Desviación estándar (µg/m³)
Se	2.18E-04	9.88E-05
Si	2.47E-01	3.84E-01
Sm	2.49E-05	4.41E-05
Sn	2.81E-04	6.04E-04
Sr	2.46E-03	2.44E-03
Tb	9.91E-06	5.60E-06
Ti	2.81E-03	3.30E-03
Tl	5.31E-06	3.97E-06
V	6.80E-04	4.92E-04
W	1.87E-05	6.82E-05
Y	9.30E-05	1.16E-04
Zn	5.13E-03	2.51E-03