

**INFORME CAMPAÑA DE MEDIDA
DE BENCENO (C_6H_6) EN LA
ESTACIÓN DE BUJARALÓZ DE LA
RED DE CALIDAD DEL AIRE DEL
GOBIERNO DE ARAGÓN**

**INFORME CAMPAÑA 2025
J. AGUIRRE S.L.**

**INFORME CAMPAÑA DE MEDIDA DE BENCENO
(C₆H₆) EN LA ESTACIÓN DE BUJARALUZ DE LA RED
DE CALIDAD DEL AIRE DEL GOBIERNO DE ARAGÓN
2025**

Zaragoza, 12 de diciembre de 2025

INDICE

1.	Objeto	1
2.	Presentación Campaña	1
3.	Descripción Contaminante	2
4.	Legislación Aplicable	3
5.	Metodología de la Campaña	4
6.	Equipos	5
7.	Fundamento del Sistema de captación pasivo.....	8
7.1	Descripción de cartucho RAD 145	9
8.	Ubicación	9
9.	Datos Meteorológicos	11
9.1	Temperatura	12
9.2	Precipitación.....	13
9.3	Rosa de los vientos.....	14
10.	Toma de muestras.....	16
11.	Evaluación de los datos.....	17
11.1	Efecto de la temperatura, la humedad y la velocidad del viento.....	18
12.	Resultados.....	18
13.	Conclusiones	21

1. Objeto

El presente informe describe los resultados de la campaña de medidas indicativas de benceno (C_6H_6) en aire ambiente, realizada en la estación de Bujaraloz de la Red de Calidad de Aire del Gobierno de Aragón, mediante captadores pasivos en el período comprendido de enero de 2025 a diciembre de 2025.

Los trabajos se desarrollan por la empresa J. Aguirre, S.L, de acuerdo con el contrato de mantenimiento de la Red de Calidad de Aire del Gobierno de Aragón.

2. Presentación Campaña

La selección de la ubicación se realiza teniendo en cuenta los criterios expresados en las normativas actuales y en particular, las descritas en el Real Decreto 102/2011, Real Decreto 39/2017 y Real Decreto 34/2023, de 24 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

La determinación de Benceno se realiza en laboratorio acreditado por la Norma UNE EN ISO/IEC 17025:2015. El Laboratorio seleccionado fue Eurofins-Iproma, Laboratorio de análisis y asesoramiento medioambiental, con número de acreditación 103/LE268, LE637 y LE1693.

La determinación de benceno por laboratorio, se realiza según método interno CGM/027-a: Determinación de compuestos orgánicos volátiles en tubos absorbentes con desorción térmica y cromatografía de gases/masas. Este es un método complementario a las siguientes Normas:

UNE-EN ISO 16017-2:2003. Aire de interiores, ambiente y ocupacional. Muestreo y análisis de compuestos orgánicos volátiles por tubo adsorbente/desorción térmica / cromatografía de gases capilar.

UNE-EN 14662-4:2005. Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medida de la concentración de benceno. Muestreo difusivo seguido por desorción térmica y cromatografía de gases.

3. Descripción Contaminante

El benceno es un hidrocarburo aromático de fórmula molecular C_6H_6 . Procede sobre todo de fuentes de tipo natural. Se libera básicamente como consecuencia de procesos de combustión incompleta y por evaporación de determinados combustibles.

El benceno es un compuesto orgánico potencialmente carcinogénico que, tras ser inhalado y después de exposiciones prolongadas, puede ocasionar graves efectos sobre la salud humana, ya que afecta al sistema nervioso central y a la normal producción de células sanguíneas, puede deteriorar el sistema inmunitario y dañar el material genético celular, lo que a su vez puede originar determinados tipos de cáncer (leucemia) así como malformaciones congénitas.¹

Sus efectos nocivos se dejan igualmente sentir sobre el medio ambiente, ya que resulta marcadamente tóxico para los organismos acuáticos y, en especial, sobre los invertebrados, en los que puede producir cambios genéticos (problemas reproductivos, malformaciones) y de comportamiento. Afecta también a la vegetación (puede llegar a provocar la muerte de la planta afectada, lo que adquiere además un matiz económico cuando se trata de cultivos, así como al clima, ya que se trata de un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento de la atmósfera y a la formación de O_3 y de aerosoles orgánicos secundarios.

¹ <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/benceno.aspx>

4. Legislación Aplicable

Debido a su toxicidad, tanto la Directiva 2008/50/CE como el Real Decreto 102/2011 y Real Decreto 34/2023, de 24 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire, establece un valor límite (VL) para el promedio anual de benceno en el aire ambiente de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.²

En el Real Decreto 102/2011, se incluyen los umbrales superior e inferior de evaluación (UES y UEI), cuya superación se debe determinar sobre la base de las concentraciones registradas durante los cinco años anteriores si se dispone de datos. Se considera que se ha superado un umbral de evaluación cuando, en el transcurso de esos cinco años, se haya superado el valor numérico del umbral durante al menos tres años distintos.

A continuación, se describen los umbrales de evaluación para el benceno, descritos en el Real Decreto 102/2011:

Tabla 1. Umbrales de Evaluación benceno

Umbral	Media Anual
Umbral Superior de evaluación	70% del valor limite ($3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
Umbral Inferior de evaluación	40% del valor limite ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

Fuente: Real Decreto 102/2011

Además del VL y de los UEI y UES para benceno, en la normativa se establecen recomendaciones para la medición de los COV precursores de ozono. Éstos incluyen la monitorización de los compuestos BTEX, además de otros 26 compuestos orgánicos volátiles.

² Real Decreto 34/2023, de 24 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

5. Metodología de la Campaña

Los datos de la campaña indicativa que aquí se presentan corresponden a 8 medidas distribuidas uniformemente en el período de enero a noviembre de 2025.

Tabla 2. Metodología de la campaña

Denominación	Fecha inicio	Fecha final	Período estacional
01-BEN-25	08/01/2025	20/01/2025	Invierno
02-BEN-25	05/02/2025	17/02/2025	Invierno
03-BEN-25	02/04/2025	14/04/2025	Primavera
05-BEN-25	09/07/2025	21/07/2025	Primavera
06-BEN-25	06/08/2025	18/08/2025	Verano
07-BEN-25	03/09/2025	15/09/2025	Verano
08-BEN-25	15/10/2025	27/10/2025	Otoño
09-BEN-25	13/11/2025	25/11/2025	Otoño

Fuente: Propia

Como información complementaria al estudio se han utilizado los datos meteorológicos de la estación de Bujaraloz, ubicada en el punto de muestreo, perteneciente a la Red de Calidad del Aire del Gobierno de Aragón.

6. Equipos

Para la medición se ha empleado la captación pasiva, mediante tubos adsorbentes Radiello.

Los componentes del sistema de muestreo son:

- Cuerpo difusor amarillo
- Placa de apoyo
- Adaptador vertical
- Cartucho adsorbente RAD145
- Soporte triangular
- Carcasa protectora



Figura 1. Sistema de muestreo Pasivos Radiello

Fuente: Manual Radiello

El cuerpo difusor, restringe el tipo de moléculas que se difunden a través de él y minimiza la sensibilidad del sistema frente a la velocidad del viento y las turbulencias.

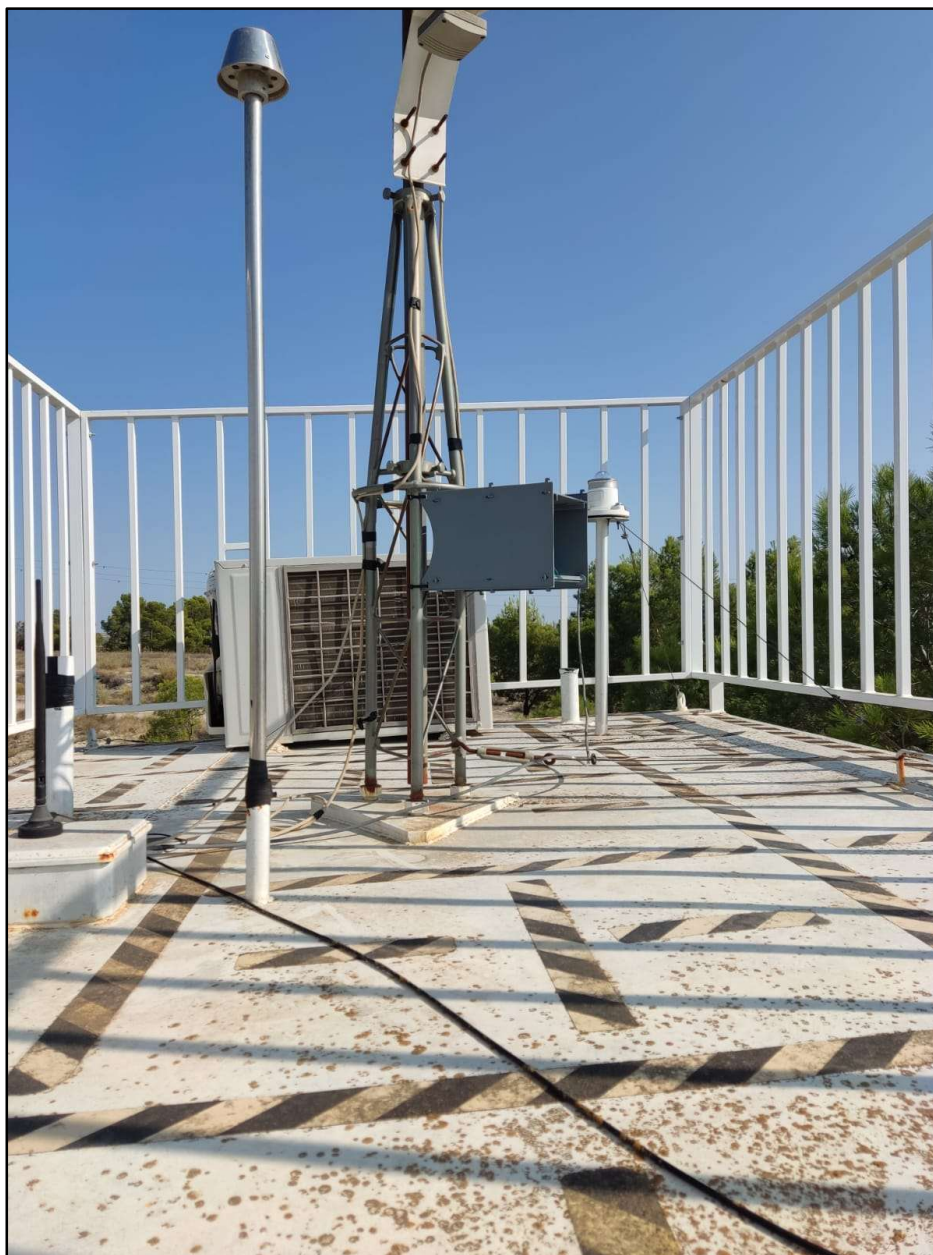
La carcasa, está diseñada para proteger los filtros de las inclemencias del clima, como la lluvia, el viento, etc.

El cartucho adsorbente se fija sobre un soporte triangular de policarbonato, tal y como puede observarse en la siguiente fotografía donde se muestra su instalación en el punto de muestreo:



Fotografía 1. Instalación de Pasivos Radiello

Fuente: Propia



Fotografía 2. Ubicación de Pasivos Radiello

Fuente: Propia

7. Fundamento del Sistema de captación pasivo

Los captadores pasivos tienen su fundamento en los fenómenos de difusión y permeación, por los cuales, las moléculas de un gas que están en constante movimiento, son capaces de penetrar y difundirse espontáneamente a través de la masa de otro gas hasta repartirse uniformemente en su seno, así como de atravesar una membrana sólida que le presente una determinada capacidad de permeación³.

Los captadores pasivos para la captación de gases se rigen por la Ley de Fick que relaciona el flujo de un gas que difunde desde una región de alta concentración (extremo abierto del tubo), con el tiempo de exposición y el área del captador, que está expuesto al contaminante.

Dicha ley se basa en que las moléculas de un gas se difunden en todas direcciones con igual probabilidad. Por ello la difusión intentaría eliminar la carencia de moléculas originada por el gradiente que hay en un determinado espacio mediante el movimiento de moléculas hacia dicho espacio.

La ecuación a emplear proviene de la Ley de Fick y es:

$$C = \frac{Q}{S * t}$$

Donde:

C: Concentración del contaminante en moles por centímetro cúbico (mol/cm³)

Q: Cantidad de moles difundidos (mol)

S: Coeficiente de captación (cm³/min)

T: Tiempo de difusión (min)

³ NTP 151: Toma de muestras con captadores pasivos (insst.es)

7.1 Descripción de cartucho RAD 145

RAD145 es un cilindro de red de acero inoxidable, con abertura de rejilla de malla de $3 \times 8 \mu\text{m}$ y 4,8 mm de diámetro, empaquetado con 350 ± 10 mg de carbón grafitizado (Carbograph 4), el tamaño de partícula es de malla 35-50.

Los compuestos orgánicos volátiles son atrapados por adsorción y recuperados por desorción térmica.

8. Ubicación

El presente estudio se realiza en la estación de calidad del aire del Gobierno de Aragón, en el municipio de Bujaraloz, Provincia de Zaragoza.

La medición se realiza en una estación de tipo Fondo - Rural.

Ubicación: Paraje situado junto campo de fútbol y piscinas.

Coordenadas GMS: N: $41^\circ 30' 17,83''$ W: $0^\circ 9' 11,77''$

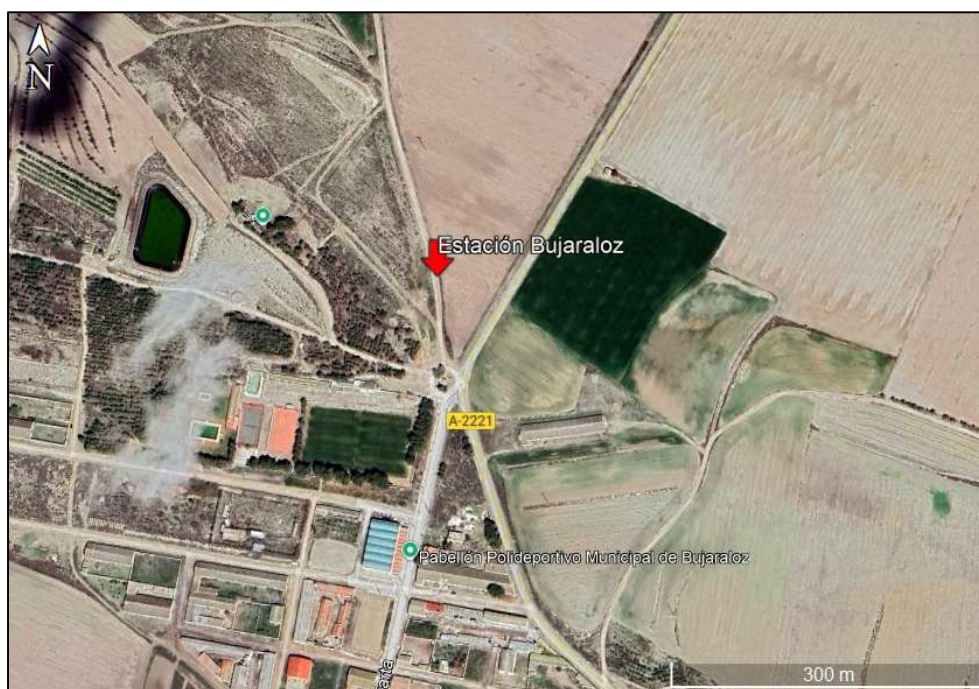


Figura 2. Georeferenciación estación de Bujaraloz

Fuente: Propia



Fotografía 3. Ubicación Estación de Bujaraloz

Fuente: Propia

9. Datos Meteorológicos

Las variables meteorológicas son fundamentales para interpretar las concentraciones de benceno en la atmósfera. La temperatura influye directamente en su volatilización desde combustibles, solventes y otras fuentes; a mayor temperatura, mayor es la liberación de benceno al aire. La precipitación actúa como un mecanismo de eliminación, ya que puede arrastrar benceno y otros compuestos volátiles de la atmósfera mediante el lavado húmedo, reduciendo temporalmente sus concentraciones. Por su parte, la dirección del viento afecta el transporte y dispersión del benceno con esta información es posible identificar la procedencia de las emisiones (tráfico vehicular, procesos industriales o evaporación de combustibles) y su dispersión en las zonas. En conjunto, estas variables son esenciales para interpretar correctamente los niveles de benceno y su comportamiento en la atmósfera durante el periodo de muestreo.

A continuación, se indican las condiciones meteorológicas en la estación de Bujaraloz, durante la campaña de muestreo:

9.1 Temperatura

En el período estacional de invierno se registró una media de temperatura de 8,1 °C. Para las mediciones del período de primavera se presentó una temperatura media de 17,1 °C. Para las mediciones correspondientes al período de verano se registró una media de 28,1 °C. En las últimas mediciones correspondientes a la etapa de otoño se registró una media de 13,8 °C.

La temperatura más alta registrada durante el periodo de muestreo fue de 32,3 °C el día 11/08/2025 en la muestra 07-BEN-25 durante la época de verano. Por otro lado, la temperatura más baja registrada fue de 1,7 °C el día 13/01/2025 en la muestra 01-BEN-25 en la época de invierno.

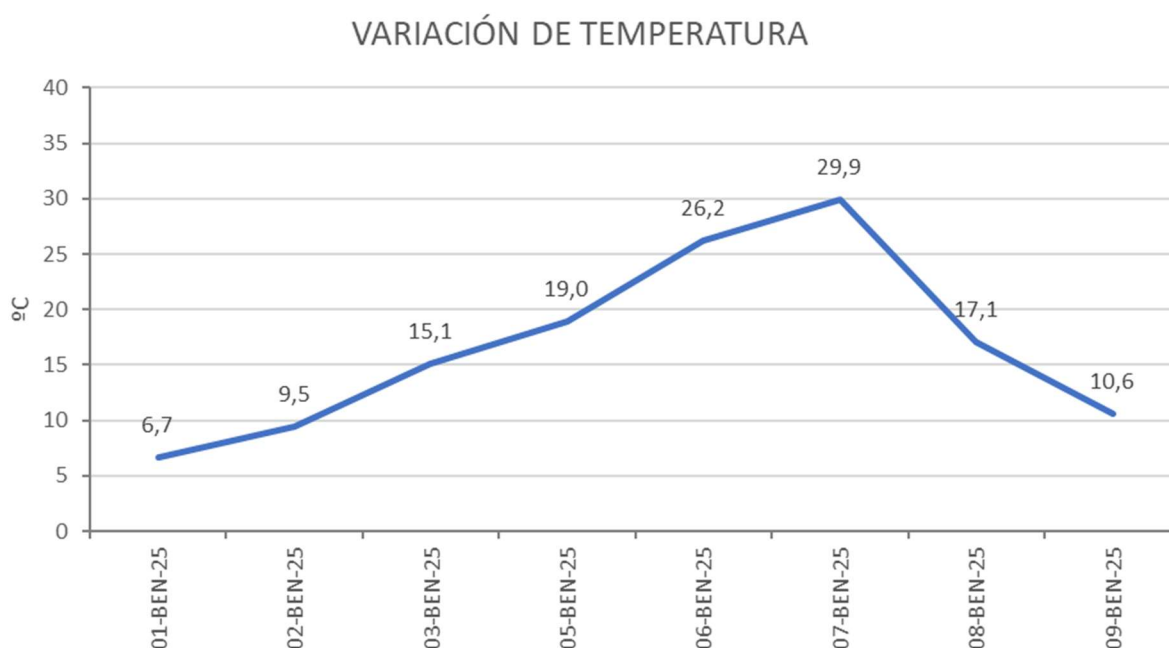


Figura 3. Variación de temperatura a lo largo del periodo de muestreo

Fuente: Propia

9.2 Precipitación

El total de precipitación registrado durante el periodo de muestreo fue de 0,5 mm. Este acumulado se distribuyó en tres estaciones del año: durante la primavera se registraron 0,1 mm el 02/04/2025 y 0,2 mm el 13/04/2025; en verano se observó una precipitación de 0,1 mm el 12/07/2025; y en otoño, 0,1 mm el 25/10/2025.

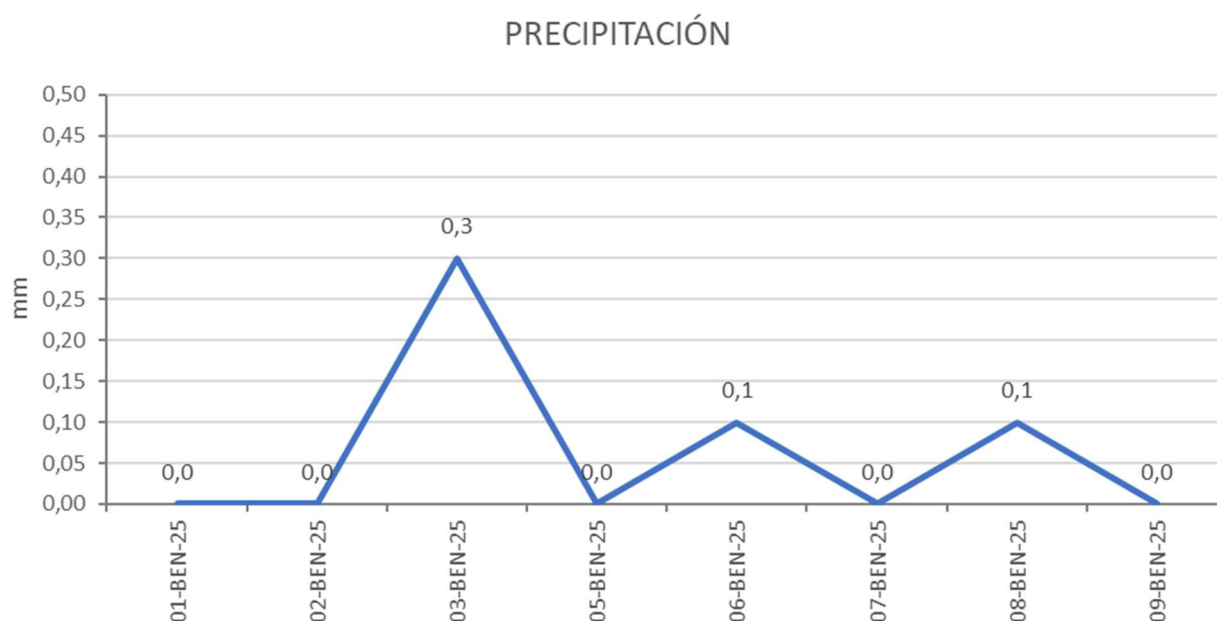


Figura 4. Precipitaciones producidas a lo largo del periodo me muestreo

Fuente: Propia

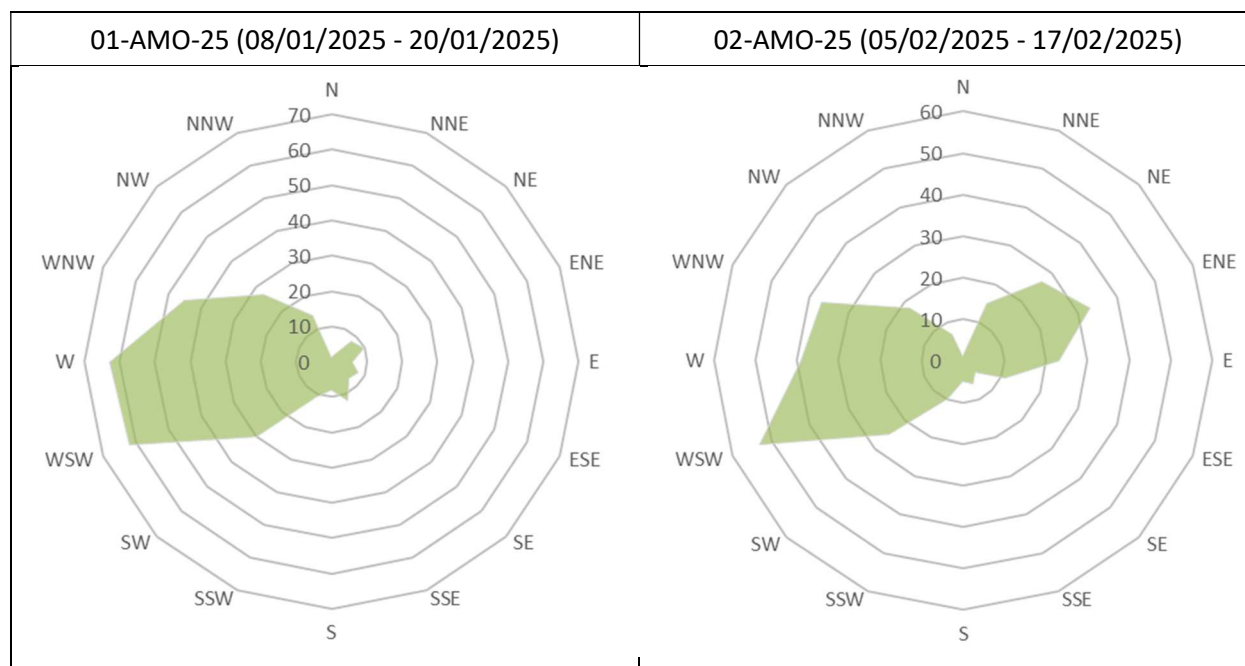
9.3 Rosa de los vientos

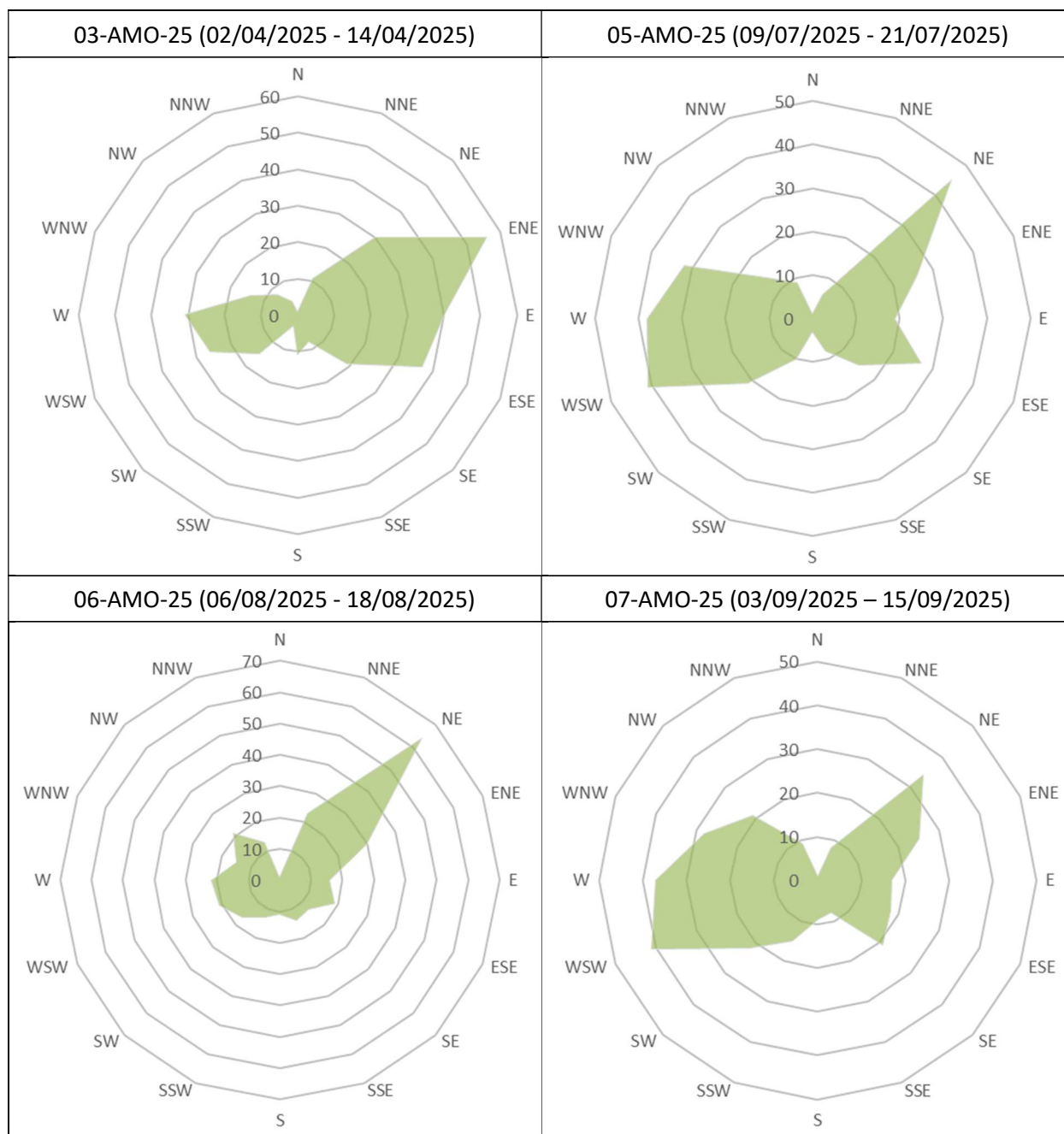
En la figura siguiente se presentan las gráficas correspondientes a las direcciones del viento registradas en cada uno de los ocho periodos de medición de la campaña.

Los resultados indican que, durante la campaña de medidas indicativas en Bujaraloz, las direcciones predominantes del viento fueron las siguientes:

- Oeste (W), con un total de 359 registros.
- Oeste-suroeste (WSW), con 349 registros.
- Oeste-noroeste (WNW), con 319 registros.

Estas frecuencias reflejan un claro predominio de flujos de componente oeste a lo largo de la campaña.





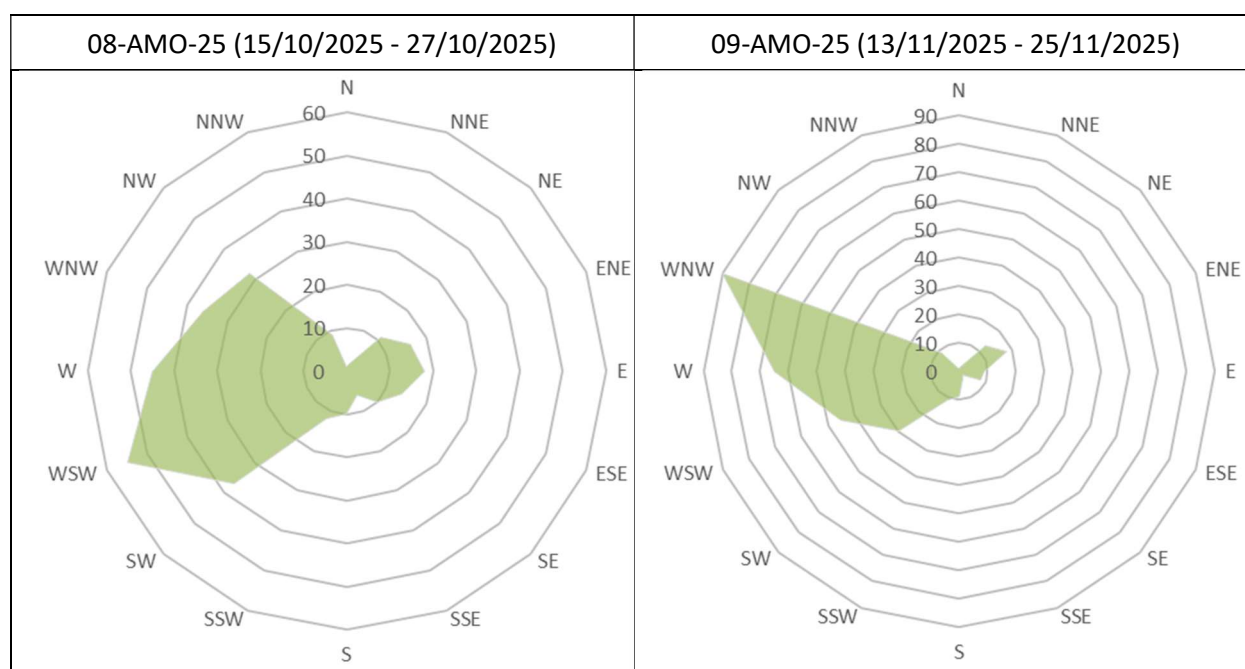


Figura 5. Rosa de los vientos campaña medición
Fuente: CECOMA

10. Toma de muestras

Los captadores pasivos se instalaron en la estación de calidad de aire en el municipio de Bujaraloz, Provincia de Zaragoza, Aragón.

Se colocaron protegidos de la lluvia y según los casos, protegidos de la radiación solar. Se comprobó la no presencia de emisiones directas del contaminante en las proximidades al punto de muestreo.

Se etiquetó el captador pasivo de tal forma que permitió registrar de forma trazable, los siguientes datos: lugar de muestreo, contaminante a captar, día y hora de inicio, así como las condiciones climáticas durante la instalación.

Una vez transcurrido el tiempo de exposición deseado, se entregaron a Laboratorio Eurofins-Iproma para análisis y determinación de la cantidad contaminante captado.

11. Evaluación de los datos

La evaluación de los datos se realiza teniendo en cuenta la descripción del fundamento del sistema de captación pasivo descrita en el manual del captador Radiello para la determinación de benceno.

La concentración media del período de muestreo se calcula a partir de masa en la muestra de analito y tiempo de exposición sin introducir cualquier otro factor de corrección, además de variaciones de temperatura de Q.

La concentración media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se calcula según la ecuación:

$$C = \frac{m}{Q_k * t} * 1000000$$

Donde:

C: concentración $\mu\text{g}/\text{m}^3$

m: masa del analito en μg

t: tiempo de exposición en minutos

Q_k : frecuencia de muestreo a la temperatura K

11.1 Efecto de la temperatura, la humedad y la velocidad del viento

Las tasas de muestreo varían desde el valor a 298 K sobre el efecto de la temperatura (en Kelvin) como se expresa en la siguiente ecuación:

$$Q_k = Q_{298} * \left(\frac{K}{298} \right)^{1,5}$$

donde Q_k es la frecuencia de muestreo a la temperatura K y Q_{298} es el valor de referencia a 298 K. Esto produce una variación de $\pm 5\%$ de la variación 10°C (hacia arriba o hacia abajo) a partir de 25°C . Por su parte, la tasa de muestreo es invariante con humedad en el rango 15-90% y con velocidad del viento entre 0,1 y 10 m/s.

Por lo anterior, la constante de frecuencia de muestreo del analito Q_k , debe corregirse en función de la temperatura media de exposición de los tubos pasivos en cada campaña, teniendo en cuenta los datos de temperatura proporcionados por la estación meteorológica ubicada en el punto de muestreo.

12. Resultados

Teniendo en cuenta los boletines de referencia, dados por el laboratorio, se realizaron los cálculos descritos en el capítulo 11, referente a evaluación de datos.

A continuación, se describen los resultados:

Tabla 3. Resultados de laboratorio

Campaña	Identificación	Masa	Lte. Cuantif	Incertidumbre +/-
		(µg)		
1	01-BEN-25	0,22	0,05	0,04
2	02-BEN-25	0,35	0,05	0,07
3	03-BEN-25	0,1	0,05	0,02
4	05-BEN-25	0,11	0,05	0,02
5	06-BEN-25	0,11	0,05	0,02
6	07-BEN-25	0,12	0,05	0,02
7	08-BEN-25	0,05	0,05	0,02
8	09-BEN-25	0,05	0,05	0,02

*Valores inferiores al límite de cuantificación del Laboratorio de análisis.

Fuente: Propia

Tabla 4. Función de corrección de temperatura

Campaña	Identificación	Masa (μg)	Tiempo (min)	Q_k
1	01-BEN-25	0,22	17280	24,39
2	02-BEN-25	0,35	17280	24,75
3	03-BEN-25	0,10	17280	25,50
4	05-BEN-25	0,11	17280	26,01
5	06-BEN-25	0,11	17280	26,99
6	07-BEN-25	0,12	17280	27,48
7	08-BEN-25	0,05	17280	25,76
8	09-BEN-25	0,05	17280	24,90

Fuente: Propia

Tabla 5. Resultados campaña de mediciones indicativas Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Campaña	Identificación	Concentración Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Incertidumbre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Período Estacional
1	01-BEN-25	0,52	0,11	Invierno
2	02-BEN-25	0,82	0,17	Invierno
3	03-BEN-25	0,23	0,05	Primavera
4	05-BEN-25	0,24	0,05	Primavera
5	06-BEN-25	0,24	0,05	Verano
6	07-BEN-25	0,25	0,05	Verano
7	08-BEN-25	0,11	0,02	Otoño
8	09-BEN-25	0,12	0,02	Otoño

Fuente: Propia

Tabla 6. Concentración media anual Benceno ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Media anual	Concentración Benceno C_6H_6 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2025	0,32

Fuente: Propia

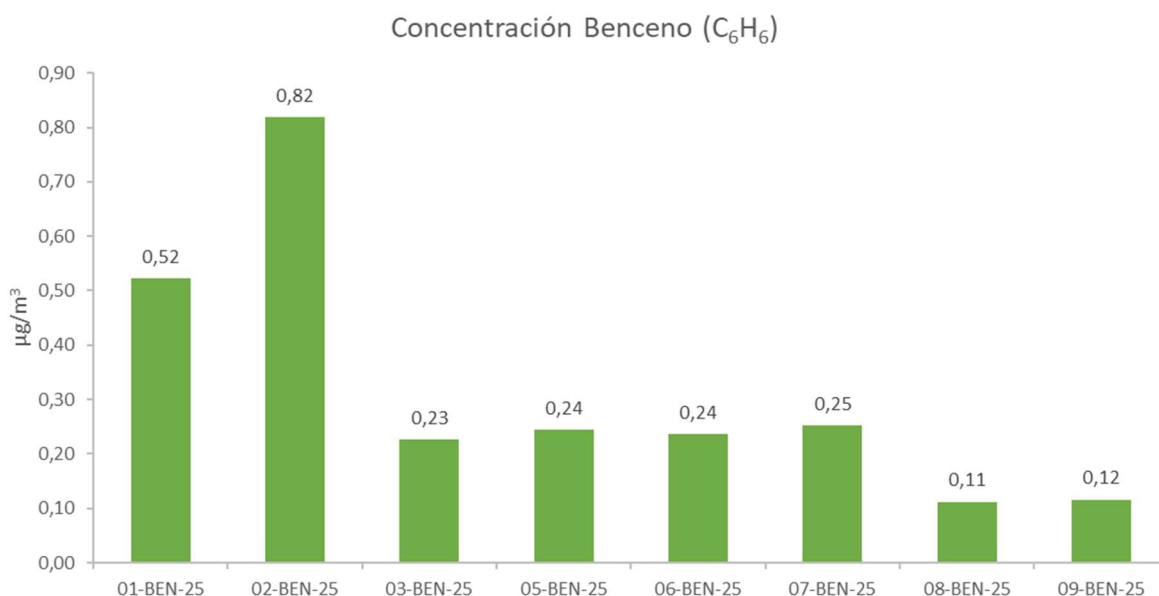


Figura 4. Resultados Concentración Benceno ($\mu g/m^3$)

Fuente: Propia

De acuerdo con los resultados, en la estación de Bujaraloz se obtuvieron medias estacionales de concentración de benceno de $0,67 \mu g/m^3$ en invierno, $0,24 \mu g/m^3$ en primavera, $0,24 \mu g/m^3$ en verano y $0,11 \mu g/m^3$ en otoño. A partir de estos valores se calculó una media anual de $0,32 \mu g/m^3$.

13. Conclusiones

La campaña de medición de amoníaco (NH_3), ha sido satisfactoria al obtener el 100% de los datos para los días de muestreo programados. La campaña se dividió en 8 medidas, distribuidas uniformemente a lo largo de 365 días. Las medidas fueron realizadas en los 4 períodos estacionales (invierno, otoño, verano y primavera) y representaron un total de 96 días de muestreo. Por lo anterior, se cumple así con el 14% de cobertura mínima de datos en mediciones indicativas.

Como resultado de la campaña indicativa, se obtuvo un valor medio anual de concentración de benceno de $0,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La mayor concentración se registró durante el invierno, con una media de $0,82 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguida del invierno, con $0,52 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por el contrario, la media más baja se observó en otoño, con un valor de $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$.