

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal



ENTREGABLE E.3.3

INFORME DE IMPACTO DE RESILIENCIA SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y EL SUELO

**Proyecto INTERREG POCTEP
027_ADAPT_CLIMA_CENCYL_3_E.**

Este proyecto está cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) en el marco del programa Interreg VI-A España-Portugal 2021-2027 (POCTEP)

Las opiniones vertidas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor que las emite. La Comisión Europea y las Autoridades del Programa no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en el mismo.

Índice de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Efecto del cambio climático sobre el suelo.....	3
1.2. Modelos de escenarios climáticos	4
2. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DE LOS MUESTREOS	12
2.1. Descripción de los emplazamientos.....	12
2.2. Equipos utilizados	14
2.3. Procedimiento de toma de muestra de suelos.....	15
2.4. Conservación y etiquetado de las muestras.....	17
2.5. Analíticas.....	19
3. RESULTADOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	19
3.1. Parámetros a monitorizar agua	19
3.2. Parámetros a monitorizar suelo.....	26
4. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN	65
ANEXO I	74
RESULTADOS. GRÁFICAS POR PARÁMETRO ANALIZADO	74
ANEXO II	96
RESULTADOS. TABLA DE RESULTADOS POR CIUDADES.....	96

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los desafíos más significativos que enfrenta nuestro planeta en la actualidad, afectando diversos aspectos del medio ambiente, incluyendo los suelos. En regiones como Castilla y León y Portugal, los suelos desempeñan un papel crucial no solo en la agricultura y la economía, sino también en la conservación de la biodiversidad y la regulación de los ciclos hidrológicos. Sin embargo, el aumento de las temperaturas, la variabilidad en los patrones de precipitación y la frecuencia de eventos climáticos extremos están ejerciendo una presión creciente sobre estos ecosistemas terrestres.

El presente documento tiene como objetivo presentar el informe de resultados del estudio de monitorización del estado del suelo de los municipios que intervienen en el proyecto INTERREG POCTEP ADAPT CLIMA CENCYL (Ciudad Rodrigo (España) y Almeida, Aveiro, Coimbra, Guarda y Viseu (Portugal)), detallando los valores obtenidos y la evaluación del estado y capacidad de resiliencia/vulnerabilidad del suelo frente al cambio climático, así como elaborar las propuestas de actuación necesarias para incrementar la resiliencia de los suelos. Este análisis es fundamental para comprender los desafíos futuros y desarrollar políticas efectivas que promuevan la sostenibilidad ambiental y el desarrollo económico en estas regiones.

1.1. Efecto del cambio climático sobre el suelo

Los investigadores han detectado efectos significativos del cambio climático en los suelos europeos. Los datos científicos indican que entre el 60 y el 70% de los suelos de la UE se encuentran actualmente en mal estado. Según informes se observan cambios en la humedad del suelo, con disminuciones en el Mediterráneo y aumentos en el norte de Europa desde los años 50. Se prevé que estas tendencias continúen, lo que podría tener graves consecuencias para la agricultura y la producción de alimentos.

Los descensos continuos de la humedad del suelo pueden aumentar la necesidad de irrigación en la agricultura y provocar rendimientos más reducidos e incluso la desertificación, con posibles repercusiones drásticas sobre la producción de alimentos. Un total de 13 Estados miembros de la UE ha declarado estar afectado por la desertización.

El cambio climático está afectando los ciclos de plantas y animales, alterando los rendimientos agrícolas. La erosión del suelo se está acelerando debido a eventos climáticos extremos como lluvias intensas, sequías y olas de calor.

A medida que los peligros relacionados con el clima y con los fenómenos meteorológicos extremos se intensifican, el riesgo de incendios forestales aumenta en toda Europa. Las condiciones que incrementan el riesgo de incendios tenderán a aumentar con el cambio climático, especialmente el calor y la humedad de los ecosistemas, incluidos los suelos. Unos suelos sanos con capacidad funcional para retener el agua también promueven unos ecosistemas forestales sanos, que son más resilientes frente a los incendios forestales. Al mismo tiempo, los incendios forestales pueden provocar la degradación del suelo, lo que da lugar a un aumento de los riesgos de erosión del suelo, corrimiento de tierras e inundaciones. El refuerzo de la base de conocimientos sobre los suelos puede contribuir a mejorar las evaluaciones del

riesgo de catástrofes que reconocen las múltiples funciones que desempeñan los suelos en la mitigación de las catástrofes. Las medidas para reforzar la salud del suelo generan resiliencia frente a la presión futura que conlleva el cambio climático.

1.2. Modelos de escenarios climáticos

En el contexto de nuestro estudio sobre el impacto del cambio climático en los suelos de Castilla y León y Portugal, los modelos climáticos son esenciales para proyectar cómo podrían evolucionar las condiciones climáticas en estas regiones en las próximas décadas.

Los Representative Concentration Pathways (RCPs) son escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero utilizados en la modelización del cambio climático. Estos escenarios proyectan diferentes trayectorias de concentraciones de gases de efecto invernadero hasta el año 2100, basándose en supuestos sobre el desarrollo socioeconómico y tecnológico global. Han sido adoptadas formalmente por el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) para evaluar distintos futuros climáticos dependiendo del volumen de gases emitidos en los próximos años.

Es importante destacar que:

- Los RCPs no son predicciones, sino posibles escenarios futuros.
- Se utilizan como entrada para modelos climáticos globales y regionales.
- Permiten a los científicos evaluar los impactos potenciales del cambio climático bajo diferentes trayectorias de emisiones.
- Los RCPs describen trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, no directamente emisiones.
- Están etiquetados según el aumento del forzamiento radiativo (cambios en el balance entre la radiación saliente y entrante en la atmósfera) al año 2100, medido en vatios por metro cuadrado (W/m^2), respecto a niveles preindustriales.
- Cinco trayectorias clave: En el último informe del IPCC (AR6), el procedimiento para obtener escenarios de emisiones se modificó, considerando la combinación de los denominados “Shared Socioeconomic Pathways, SSPs” (que describen futuros socioeconómicos alternativos en ausencia de una intervención por medio de políticas climáticas) y los RCPs. La combinación de los SSP-RCP da lugar a las cinco sendas utilizadas en el AR6 del IPCC:
 - SSP1-RCP 1.9: Emisiones muy bajas. Políticas muy estrictas de mitigación que logran un forzamiento radiativo de 1.9 W/m^2 .
 - SSP1 - RCP 2.6: Emisiones bajas. Describe un futuro con políticas muy estrictas de mitigación que logran un forzamiento radiativo de 2.6 W/m^2 .
 - SSP2 - RCP 4.5: Emisiones intermedias. Escenario intermedio con esfuerzos moderados de reducción de emisiones (4.5 W/m^2).
 - SSP3 - RCP 7.0: Emisiones altas. Escenario de mitigación limitada (7.0 W/m^2).
 - SSP5-RCP 8.5: Emisiones muy altas. Trayecto de altas emisiones donde el forzamiento alcanza 8.5 W/m^2 , representando el peor caso.

Con objeto de conocer las proyecciones más actualizadas de las condiciones climáticas futuras en la región de estudio, se han consultado los RCPs de la región de Castilla y León y Portugal.

Las proyecciones de Castilla y León se han obtenido del Visor de Escenarios de Cambio Climático de la plataforma AdapteCCA, en la cual se pueden consultar las proyecciones regionalizadas de cambio climático para España realizadas a partir de las proyecciones globales del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) en el marco de la iniciativa Escenarios PNACC y concretamente, colección de Escenarios PNACC 2024. Los datos disponibles se nutren principalmente de dos fuentes: proyecciones generadas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Las proyecciones de Portugal se han obtenido de la plataforma climática Portal do Clima, Alterações Climáticas em Portugal. Este portal climático proporciona información científica de referencia sobre los indicadores climáticos a nivel nacional, tanto a partir de datos históricos como de proyecciones de modelos climáticos de vanguardia hasta finales del siglo XXI.

El modelo RCP y variables que utilizaremos son:

➤ **RCP 8.5**

Escenario de altas emisiones.

Las emisiones continúan aumentando a lo largo del siglo XXI.

Proyecta un aumento de temperatura global entre 3.7°C y 4.8°C para 2100.

Asume un crecimiento económico rápido, alto crecimiento poblacional y lento desarrollo tecnológico en energías limpias.

➤ **Anomalías**

Las anomalías proyectadas se refieren a las diferencias esperadas en las variables climáticas (como temperatura y precipitación) entre un período futuro y un período de referencia, generalmente histórico (1971-2000). En el contexto del escenario RCP 8.5, estas anomalías representan los cambios proyectados en el clima bajo las condiciones de altas emisiones de gases de efecto invernadero. Aquí se explican las principales anomalías proyectadas:

- Anomalías de temperatura estacional

Se proyecta un incremento significativo en la temperatura media diaria para el escenario RCP 8.5.

Este aumento podría oscilar entre 0.5°C y 4.0°C, siendo más pronunciado hacia finales del siglo XXI.

El patrón de cambio de temperatura se espera que sea bastante homogéneo en toda la región estudiada.

- Anomalías de precipitación estacional

Para el RCP 8.5, existe una mayor incertidumbre en cuanto a la magnitud del cambio proyectado en la precipitación, especialmente en comparación con escenarios menos extremos.

Se observa una tendencia general hacia la disminución de la precipitación anual a lo largo del siglo XXI bajo este escenario.

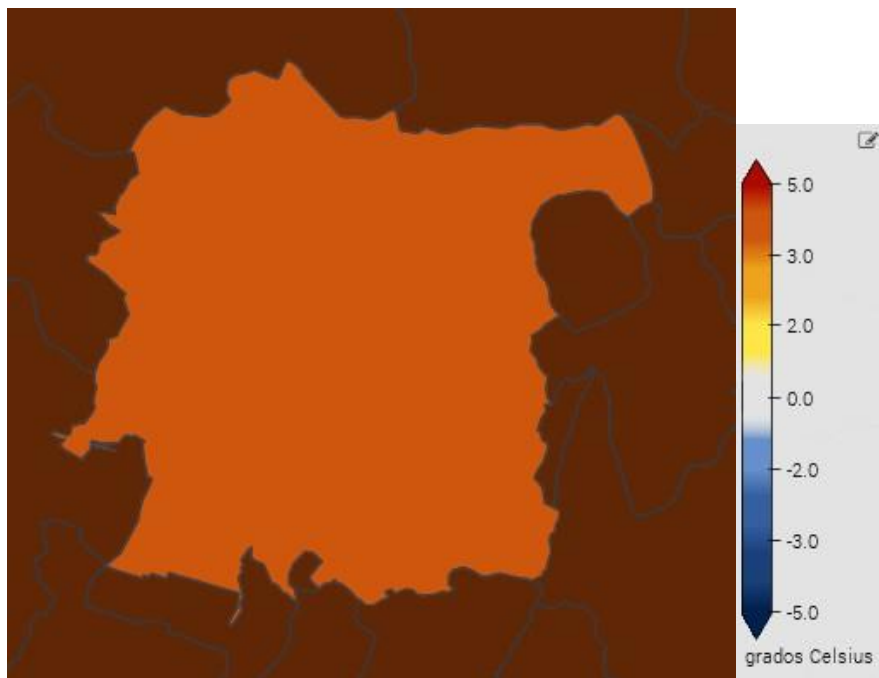


Figura 1. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Ciudad Rodrigo en primavera.

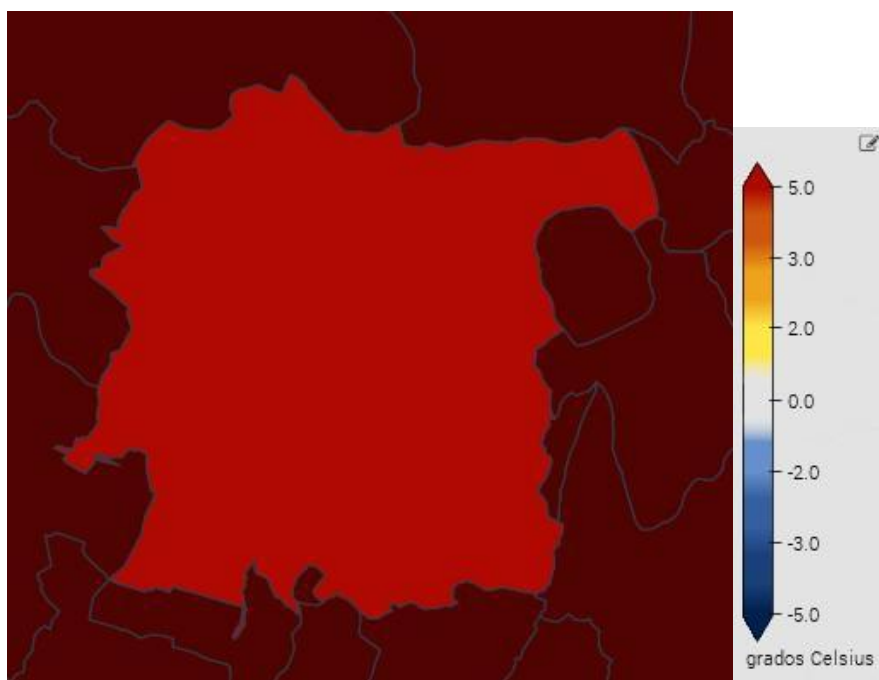


Figura 2. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Ciudad Rodrigo en verano.



Figura 3. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Ciudad Rodrigo en otoño.

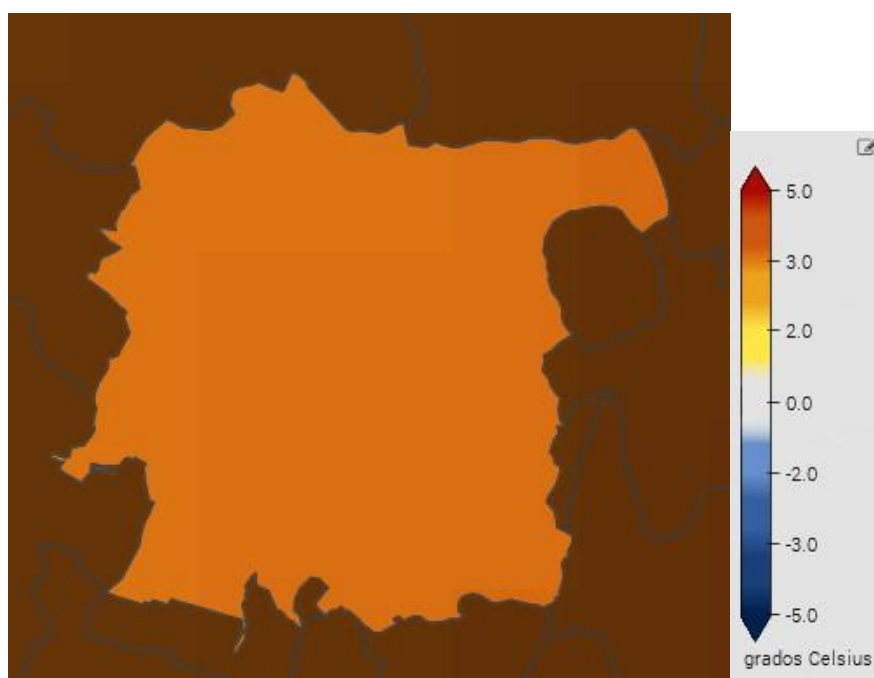


Figura 4. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Ciudad Rodrigo en invierno.



Figura 5. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitación de Ciudad Rodrigo en primavera.



Figura 6. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitación de Ciudad Rodrigo en verano.

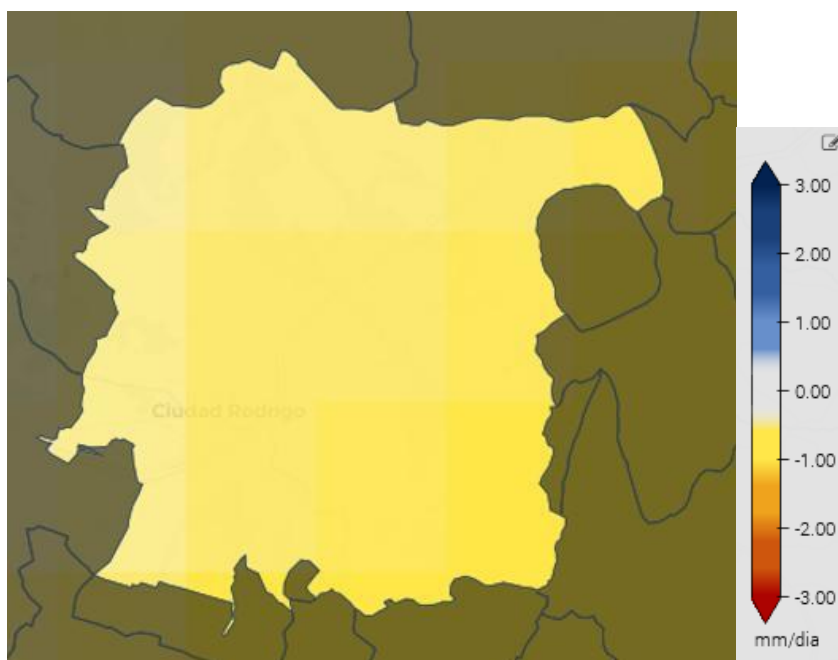


Figura 7. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitación de Ciudad Rodrigo en otoño.

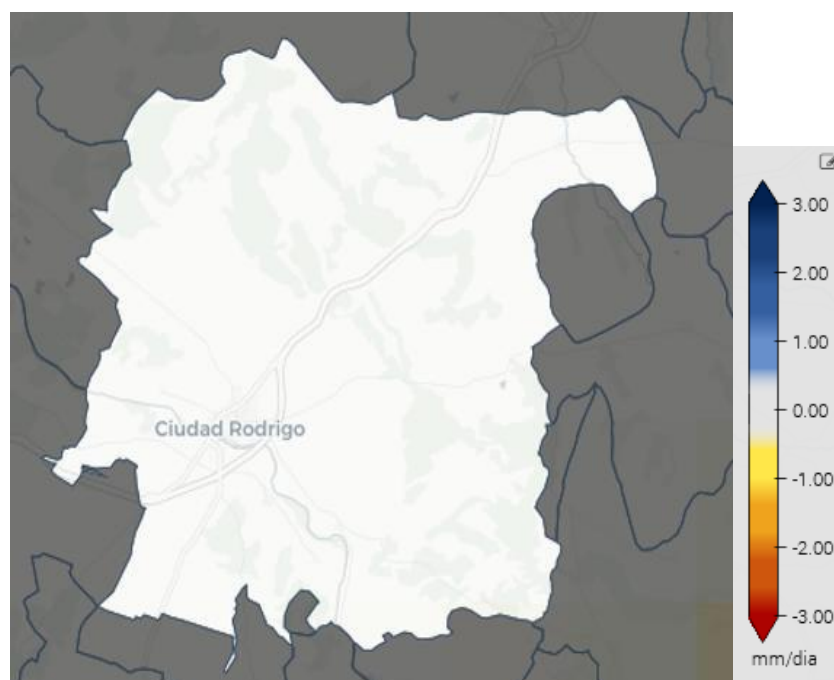


Figura 8. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitación de Ciudad Rodrigo en invierno.

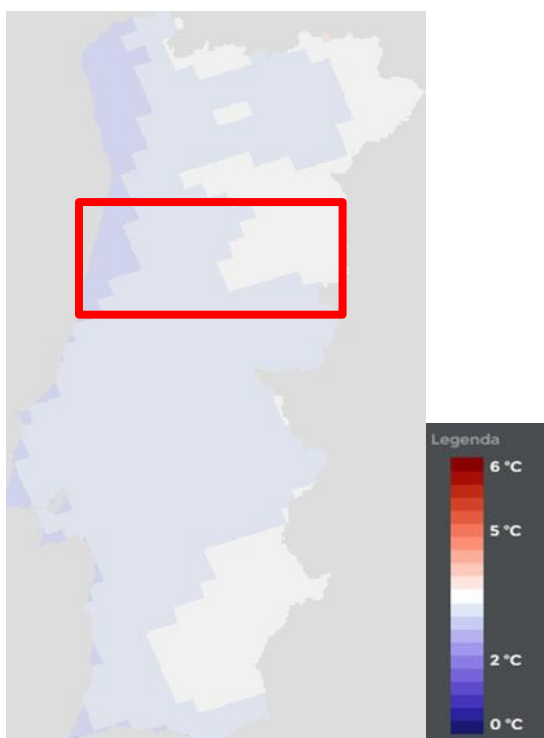


Figura 9. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Portugal en invierno.

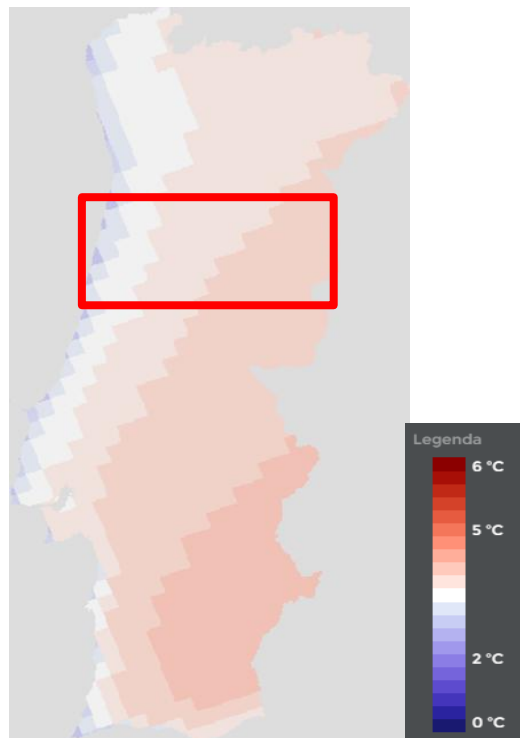


Figura 10. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Portugal en primavera.

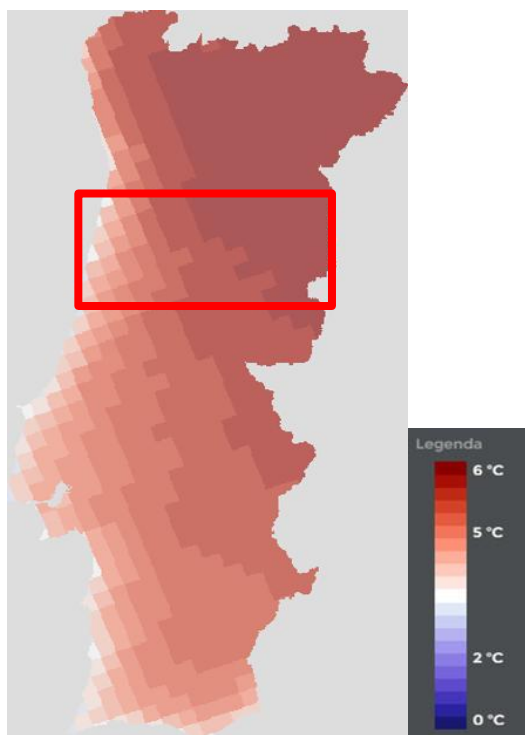


Figura 11. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Portugal en verano.

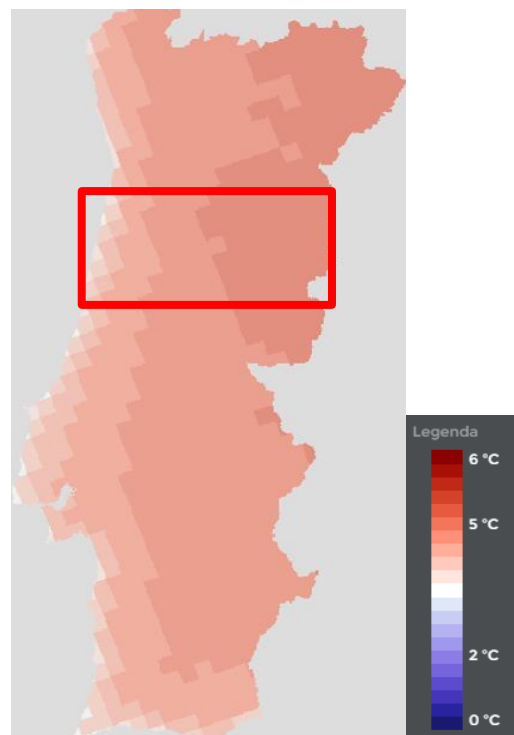


Figura 12. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de temperatura de Portugal en otoño.

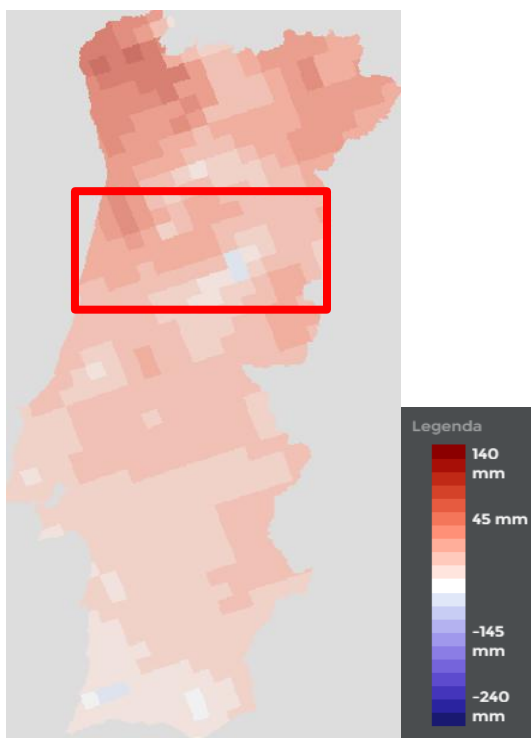


Figura 13. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitaciones de Portugal en invierno.

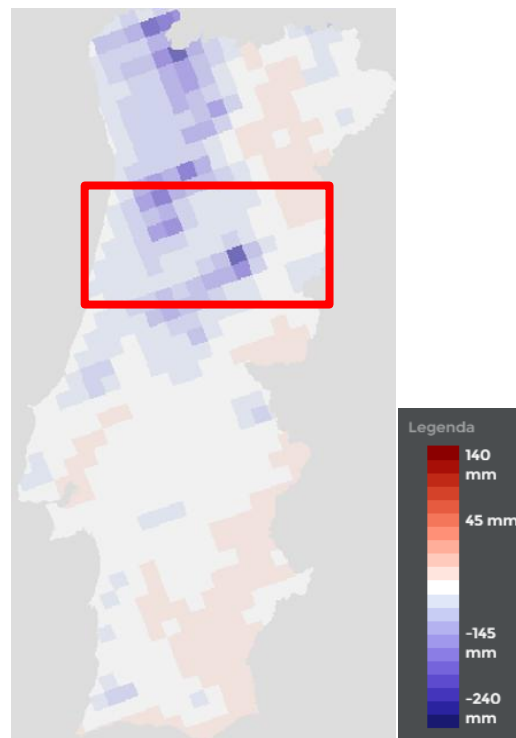


Figura 14. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitaciones de Portugal en primavera.

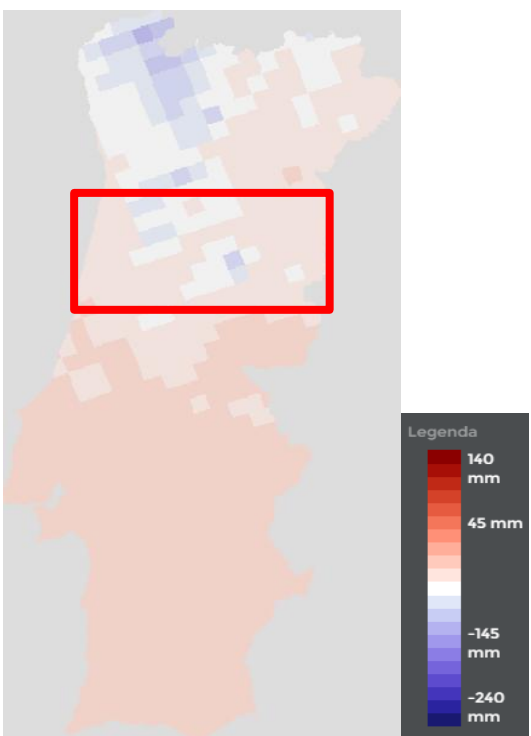


Figura 15. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitaciones de Portugal en verano.

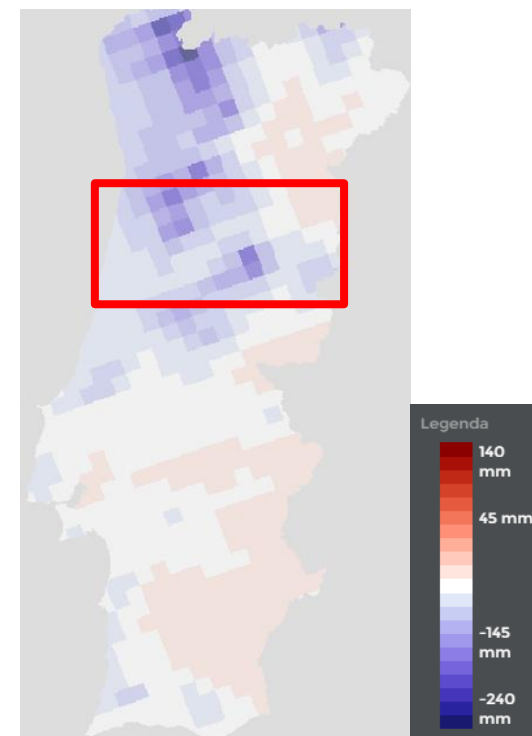


Figura 16. RCP 8.5 de anomalía respecto al año de referencia (1971-2000) de precipitaciones de Portugal en otoño.

2. METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTO DE LOS MUESTREOS

2.1. Descripción de los emplazamientos

El proyecto se desarrolla en zonas urbanas, periurbanas y agrícolas ubicadas en los municipios de varias de las ciudades que participan en el proyecto ADAPT CLIMA CENCYL: Ciudad Rodrigo (España) y Almeida, Aveiro, Coimbra, Guarda y Viseu (Portugal).

Los muestreos de suelo se realizaron los días 3, 4 y 5 de junio de 2025.

En la siguiente tabla se recogen la ubicación de los puntos de muestreo para cada municipio, la descripción de la zona y las fechas de realización de los trabajos.

MUNICIPIO	COORDENADAS DMS (PUNTO DE MUESTREO)	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	FECHA MUESTREOS
Ciudad Rodrigo	Latitud: 40° 35' 47,1" N Longitud: 6° 32' 58,1" W	La actuación a llevar a cabo por parte de Ciudad Rodrigo consistiría en valorización Ambiental y Recreativa de la Ribera del Río Águeda a su paso por Ciudad Rodrigo y creación de pasarelas peatonales, una localizada en el molino Carbonero y su creación cerrará la senda circular y otras dos pequeñas pasarelas que permitan el cruce peatonal del río entre los municipios de Agueda y Sanjuanero. El punto de muestreo está localizado en La Moretona.	03 junio 2025 13:00 h
Almeida	Latitud: 40° 29' 14,22" N Longitud: 06° 59' 08,34" W	La actuación a llevar a cabo por parte de Almeida consistirá en el reemplazo de galerías ribereñas en el río Côa en una longitud de 30 km. El punto de muestreo está localizado en el parque Merendas Miuzela.	04 junio 2025 09:21 h
Guarda	Latitud: 40° 32' 54,13" N Longitud: 7° 14' 30,78" W	La actuación a llevar a cabo por parte de Guarda consistiría en dotación de sistemas inteligentes de eficiencia hídrica en parques y jardines municipales. Elaboración del Proyecto de Renaturalización de la Cordillera Norte de Guarda. El punto de muestreo está localizado en el Parque Urbano do Rio Diz.	04 junio 2025 11:27 h
Viseu	Punto 1 Latitud: 40° 38' 36,06" N Longitud: 7° 54' 36,32" W	La actuación a llevar a cabo por parte de Viseu consistirá en la reconversión de la cobertura vegetal de los espacios verdes municipales. Reducción progresiva de superficies de césped, para reducir la huella ecológica de estos espacios y promover mayor retención de CO2. Reducir significativamente el consumo de agua de riego (sobre el 80%), reducir la necesidad de mantenimiento e incrementar la sostenibilidad a través de la implementación de soluciones basadas en conocimientos técnico-científicos y buenas prácticas. Los puntos de muestreo son: Punto 1: Separador de tránsito Avenida Dom Afonso Henriques.	04 junio 2025 14:26 h
	Punto 2 Latitud: 40° 38' 28,81" N Longitud: 7° 55' 6,93" W		03 junio 2025 16:54 h

		Punto 2: Caldeiras Avenida Cidade Politénica.	
Aveiro	Latitud: 40° 38' 15,904" N Longitud: 08° 38' 21,256" W	La actuación a llevar a cabo por parte de Aveiro consistirá en la creación y ampliación de corredores fluviales con aumento de galerías ribereñas, y dimensionamiento y localización de cuencas de retención, con renaturalización y estabilización de márgenes mediante técnicas de ingeniería natural, asociado a Ribeira de Vilar y Ribeira do Buragal.	05 junio 2025 9:09 h
Coimbra	Punto 1 Latitud: 40° 12' 34,4" N Longitud: 08° 25' 08,7" W	La actuación a llevar a cabo por parte de Coimbra consistirá en la creación de una red municipal de microrreservas a través de NBs que funcionen como islas naturales para minimizar el efecto de las olas de calor, asegurar el enfriamiento natural de la ciudad o mitigar los efectos de las inundaciones repentinas. Los puntos de muestreo son: Punto de muestreo 1: Jardim da Sereia Punto de muestreo 2: Mata da Geria	05 junio 2025 12:12 h
	Punto 2 Latitud: 40° 13' 58,2" N Longitud: 08° 29' 58,6" W		05 junio 2025 15:14 h

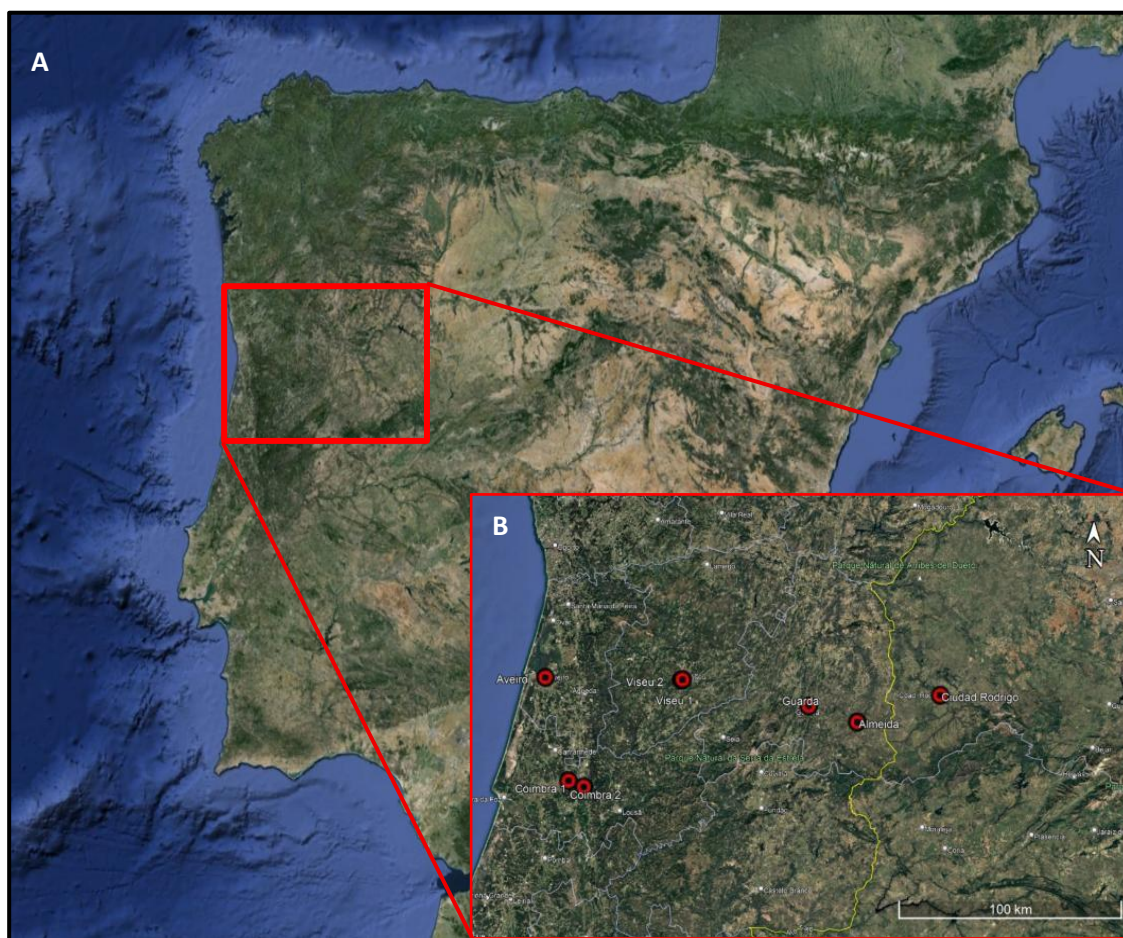


Figura 17. Localización del área de estudio (A) y ubicación de los puntos de muestreo (B)

2.2. Equipos utilizados

El muestreo se llevó a cabo por sondeo manual. La elección del equipo de perforación dependió de la composición del suelo, dureza, grado de compactación y humedad. Para ello, se dispuso de un juego de barrenas para suelos heterogéneos que consta de distintos tipos de barrenas de 7 cm de diámetro: 4 tipos de sondas Edelman (arcilla, arena, gravas y tipo combinado), una sonda Riverside, una sonda para gravas, una sonda helicoidal, una sonda de pistón y una sonda de media caña.



Figura 18. Barrenas utilizadas para la extracción de muestras de suelo.

Barrenas Edelman: suelos arcillosos, arenosos, gravas y combinado Barrena Helicoidal Barrena para gravas



Figura 19. Tipo de barreras utilizadas para el muestreo

Las barrenas Edelman son las ideales para muestrear suelos arcillosos, arenosos, para gravas y suelos combinados de estos materiales. El diseño de este tipo de barrena permite un mínimo de fricción durante la penetración en el suelo y poco esfuerzo para retirarlo. Consta de 4 tipos, dependiendo del tipo de suelo a muestrear:

- **Barrena para suelos arcillosos:** Hojas de las barrenas finas, lo que confiere poca resistencia para la extracción. Ideal para suelos arcillosos que son muy cohesivos.
- **Barrena para suelos arenosos:** Hojas gruesas para mantener la muestra dentro de la barrena. Ideal para suelos arenosos que no sean cohesivos.

- **Barrena para grava o arena gruesa:** Hojas alargadas y dispone de alas extras, con lo que conforma una barrena casi cerrada. Ideal para suelos con poca o ninguna cohesión, suelos de arena gruesa o arena extremadamente seca.
- **Barrena tipo combinado:** Para retirar con facilidad los materiales arcillosos del cuerpo de la barrena y recoger con éxito los materiales arenosos.

La barrena helicoidal o en espiral forma parte de las barrenas perforadoras y colectoras de piedras. Funciona como un sacacorchos y no altera el suelo. Se usan para perforar capas duras.

La barrena para gravas o suelos pedregosos se utiliza para suelos con alto contenido en grava (gravas de 2 a 5 mm). Está constituida de acero duro forjado curvado a lo largo. Gracias a que las puntas de corte son agudas y curvadas hacia afuera, se permite un diámetro de corte mayor que el promedio de las demás barrenas.

Con estos equipos se tendrá la posibilidad de alcanzar profundidades de hasta 5 metros, dependiendo de la necesidad del servicio.

Debido a que la composición del suelo consta de costras calcáreas, margas versicolores, a veces con yeso y bloques de calizas, dolomías y areniscas, en principio se utilizará para todos los puntos de muestreo la sonda Eldelman, del tipo que se seleccione dependiendo del componente predominante del suelo. También se usará cuando sea necesario la sonda helicoidal para facilitar el avance en suelos muy compactados y duros, hasta alcanzar una zona más blanda, así como la sonda para gravas en los tramos con más contenido de gravas y fracciones pedregosas.

2.3. Procedimiento de toma de muestra de suelos

Una vez localizado cada punto de muestreo y tras preparar y montar los equipos de muestreo y limpiarlos para evitar contaminar la muestra, se procedió a realizar la toma de muestra, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- En primer lugar, se elegirá el equipo adecuado para el tipo de suelo presente.





- Antes de la toma de cada muestra, los instrumentos de muestreo y guantes se limpiarán con agua desionizada para evitar contaminación cruzada de las muestras.
- Se llevó a cabo un primer sondeo del suelo, el cual se acondicionó quitando los posibles restos con una espátula.



- Se tomaron 3 muestras de suelo para cada punto de muestreo, para que estas sean representativas y con el objeto de calcular la desviación estándar y variabilidad del dato.
- Se tomaron las muestras evitando las partes de las mismas que estuvieron en contacto con el equipo perforador, con la finalidad de evitar alteraciones o contaminación cruzada de las muestras.



- Se depositó con cuidado la muestra en una caja de muestras y se repitió el proceso las veces que fue necesario hasta alcanzar la profundidad deseada. Las muestras se dispusieron de la siguiente forma, para representar la estratigrafía del suelo lo más real posible.



- Se fotografiaron las muestras para disponer de evidencias para identificar los diferentes materiales a lo largo de toda la profundidad muestreada.
- Las muestras se colectaron en envases herméticos estériles, y se etiquetaron inmediatamente mediante el sistema de etiquetaje establecido en el Plan de Muestreo. Se conservaron en contenedores isotérmicos, para preservar la oscuridad y una temperatura baja (4-6°C) hasta su ingreso al laboratorio.

El reportaje fotográfico de la toma de muestras se adjunta en el Anexo I del presente informe.

2.4. Conservación y etiquetado de las muestras

Antes de la toma de cada muestra, los instrumentos de muestreo y guantes se limpiaron o reemplazarán y el envase de recolección será purgado dos o tres veces con agua desionizada.

Una vez tomada la muestra, se colectó en los envases herméticos estériles, se sellaron adecuadamente y se etiquetaron inmediatamente mediante el sistema de etiquetaje establecido, que registró la siguiente información:

- Número y codificación de muestra
- Nombre del recolector
- Fecha y hora del muestreo
- Técnica de preservación realizada
- Análisis requerido

Para su conservación, las muestras se mantuvieron dentro de un equipo de refrigeración de muestras MSW-CRF52A (4-6°C y oscuridad) hasta su ingreso en laboratorio.

En la siguiente tabla se muestra la codificación asignada a cada muestra de suelo.

MUNICIPIO	COORDENADAS DMS (PUNTO DE MUESTREO)	COORDIFICACIÓN
Ciudad Rodrigo	Latitud: 40° 35' 47,1" N Longitud: 6° 32' 58,1" W	SU.CR.01; SU.CR.02; SU.CR.03
Almeida	Latitud: 40° 29' 14,22" N Longitud: 06° 59' 08,34" W	SU.AL.01; SU.AL.02; SU.AL.03
Guarda	Latitud: 40° 32' 54,13" N Longitud: 7° 14' 30,78" W	SU.GU.01; SU.GU.02; SU.GU.03
Viseu	Punto 1 Latitud: 40° 38' 36,06" N Longitud: 7° 54' 36,32" W	SU.VI.1.01; SU.VI.1.02; SU.VI.1.03
	Punto 2 Latitud: 40° 38' 28,81" N Longitud: 7° 55' 6,93" W	SU.VI.2.01; SU.VI.2.02; SU.VI.2.03
Aveiro	Latitud: 40° 38' 15,904" N Longitud: 08° 38' 21,256" W	SU.AV.01; SU.AV.02; SU.AV.03
Coimbra	Punto 1 Latitud: 40° 12' 34,4" N Longitud: 08° 25' 08,7" W	SU.CO.1.01; SU.CO.1.02; SU.CO.1.03
	Punto 2 Latitud: 40° 13' 58,2" N Longitud: 08° 29' 58,6" W	SU.CO.2.01; SU.CO.2.02; SU.CO.2.03

2.5. Analíticas

Las muestras fueron entregadas a los laboratorios INNOAGRAL S.L., ubicados en Brenes (Sevilla), acreditados con la UNE-EN-ISO/IEC 17025 para análisis de laboratorio por ENAC con números de expediente 1365_LE2524. Las muestras fueron entregadas al laboratorio el día 06/06/2025.

3. RESULTADOS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados analíticos obtenidos para cada punto de muestreo y la interpretación de dichos resultados, evaluando la capacidad de resiliencia/vulnerabilidad frente al cambio climático, apoyándose para ello en las fichas metodológicas desarrolladas.

Se presentan mediante gráficas los resultados obtenidos en la presente campaña de 2025, comparándolos con los resultados obtenidos en la anterior campaña de 2024. Los valores están acompañados de barras de error que representan la desviación estándar y variabilidad de los datos (cada una de las muestras se realizó por triplicado).

Los resultados analíticos se adjuntan en el Anexo II. Informe de laboratorio.

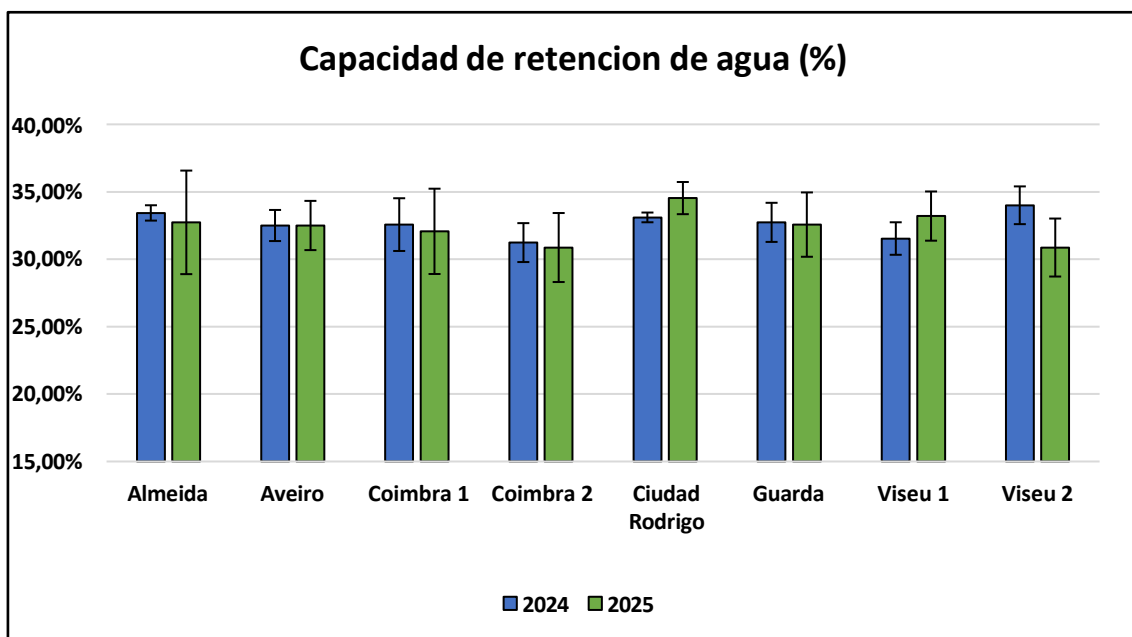
Las gráficas de resultados por parámetro analizado se recogen en el Anexo III.

Las tablas de resultados para cada ciudad se recogen en el Anexo IV.

Los mapas generados de QGIS se recogen en el Anexo V.

3.1. Parámetros a monitorizar agua

3.1.1. Capacidad de retención de agua



Gráfica 1: Capacidad de retención de agua, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La capacidad de retención de agua es un indicador clave para la salud de los ecosistemas y de su resiliencia.

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, los suelos con alta capacidad de retención de agua son capaces de absorber, almacenar y filtrar más agua de lluvia, pudiendo ayudar a mitigar los efectos negativos de las inundaciones causadas por lluvias intensas, así como a prevenir la desertificación al retener más agua durante períodos de sequía. Además, esta capacidad está relacionada con la capacidad del suelo para absorber más CO₂, promoviendo así la captura de carbono y ayudando a mitigar los efectos del cambio climático. Igualmente, unos suelos sanos con capacidad funcional para retener el agua también promueven unos ecosistemas forestales sanos, que son más resilientes frente a los incendios forestales, mitigando por tanto la degradación del suelo y los riesgos de erosión, corrimiento de tierras e inundaciones asociados.

En cambio, suelos con baja capacidad de retención de agua estarán más expuestos a los efectos del cambio climático, ya que poseerán menor capacidad de resiliencia frente a condiciones adversas, traducido en una reducción de la capacidad del suelo para retener agua. Aquellos suelos con menor capacidad de retención ante periodos de sequía prolongados se secan más rápidamente, afectando también a la estructura del suelo, ya que los suelos secos son más propensos a la erosión y a los incendios forestales. La erosión de los suelos afecta negativamente a la fertilidad y a la degradación de los ecosistemas e incrementa el riesgo de inundaciones.

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear la reducción de la capacidad del suelo para retener agua, se ha analizado la capacidad de retención de agua de las muestras de suelos (% de volumen de agua retenida/volumen de suelo saturado).

Además, en el Anexo I parte B: descriptores del suelo con criterios de salud del suelo establecido a nivel de los Estados Miembros, de la propuesta de la Directiva Europea, se establece que, para controlar la reducción de la capacidad del suelo para retener agua, el criterio de salud del suelo debe como el valor máximo el valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.

Clasificación de la capacidad de retención del agua según rangos

- Retención baja: < 20 %
- Retención moderada: 20 – 40 %
- Retención alta. Suelos resilientes: > 40 %

Observaciones

Las muestras analizadas por ciudades en ambos años, revela una homogeneidad en la capacidad de retención de agua de los suelos de los distintos municipios, registrando un porcentaje de volumen de agua retenida por volumen de suelo saturado comprendido en un rango de 30%-35% de volumen de agua. Estos porcentajes, se encuentran dentro de un rango medio de retención de agua (20-40 % retención), lo que significa que los suelos analizados poseen una capacidad moderada para retener agua. Este tipo de suelos pueden ser vulnerables a sequías prolongadas, pero aún tienen capacidad para retener una cantidad razonable de agua.

Comparando ambas campañas de muestreo, la capacidad de retención de agua no presenta cambios significativos, solo leves variaciones entre 2024 y 2025. Se puede apreciar como la ciudad que más variaciones presenta es Viseu punto 2, teniendo el mayor decrecimiento de capacidad de retención de agua.

Además, en el Anexo I parte B de la propuesta de la Directiva Europea, para los criterios de salud del suelo se establece que el umbral mínimo será establecido por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.

Resumen final

- **Retención moderada:** La capacidad de retención de agua no presenta cambios significativos, solo leves variaciones entre 2024 y 2025, clasificándose los suelos de todas las ciudades analizadas como de capacidad moderada para retener agua.
- **Recomendación:** Es recomendable seguir implementando prácticas de conservación de humedad y mejora estructural para alcanzar la franja óptima (>40%).

3.1.2. Coeficiente de escorrentía del suelo

El coeficiente de escorrentía (C) es un parámetro fundamental de la hidrología superficial, pues representa la fracción de agua del total de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo, es decir, indica la relación entre el volumen de escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área determinado. Su valor depende de las características concretas del terreno que determinan la infiltración del agua en el suelo.

Por ejemplo, si tenemos un coeficiente de escorrentía de 0,70 significa que la escorrentía representa el 70% de la lluvia total asociada. O, dicho de otra forma, por cada 100 litros por metro cuadrado precipitado en una cuenca hidrográfica un área determinado, 70 litros por metro cuadrado se convertirán en flujo superficial.

Por tanto, tendremos que, en la medida que el valor del coeficiente de escorrentía tienda a 1 (su valor máximo), mayor será la cantidad de agua precipitada que se convertirá en escorrentía superficial, lo cual podría estar asociado, por ejemplo, a una baja tasa de retención del agua por parte de la cuenca o área de estudio.

La determinación del coeficiente de escorrentía se lleva a cabo mediante el uso de tablas o ecuaciones empíricas, siendo las más utilizadas, en cuanto a tablas, las de Raws, la de Molchanov y la de Prevert; en cuanto a las ecuaciones, destacan la ecuación de Nadal y la fórmula de Keler.

1. Método de Raws

Este método considera el tipo de cobertura del suelo y el relieve. La tabla de Raws proporciona los siguientes valores de coeficiente de escorrentía:

	C
Bosque. Relieve ondulado	0,18
Bosque. Relieve quebrado	0,21
Pasto. Relieve ondulado	0,36
Pasto. Relieve quebrado	0,42
Cultivos. Relieve ondulado	0,60
Cultivos. Relieve quebrado	0,72

2. Método de Molchanov

Está diseñada para utilizando parcelas forestales; sus resultados en forma resumida son los siguientes:

Tipo de escorrentía	Pendiente del terreno (en grados)	Densidad y uso de la cubierta vegetal	Tipo de suelo	C %
I	1° - 35°	D > 0,6 Sin pastoreo	Franco-arenoso	5%
II	5° - 35°	0,5 > D > 0,4 Con pastoreo ocasional	Franco-pedregoso	6 – 25%
III	5° - 40°	0,4 ≥ D > 0,1 Con pastoreo permanente	Franco-pedregoso	25 – 50%
IV	5° - 40°	0,4 ≥ D > 0,1 Con pastoreo intensivo	Franco-pedregoso	50 – 75%
V	5° - 40°	0,4 ≥ D > 0,1 Con pastoreo intensivo	Arcilloso	> 75%

3. Método de Prevert

Ampliamente difundida en Europa y basada al igual que el anterior, en parcelas experimentales. Este método es más detallado y considera la textura del suelo, la pendiente y el uso del terreno. Su contenido es el siguiente:

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo (%)		
		Arenos-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0 – 5	0,10	0,30	0,40
	5 – 10	0,25	0,35	0,50
	10 – 30	0,30	0,40	0,60
	> 30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0,15	0,15	0,35	0,45
	5 – 10	0,30	0,40	0,55
	10 – 30	0,35	0,45	0,65
	> 30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0 – 5	0,30	0,50	0,60
	5 – 10	0,40	0,66	0,70
	10 – 30	0,50	0,70	0,80
	> 30	0,53	0,74	0,84

4. Fórmula de Nadal

$$C = 0,25 \times K_1 \times K_2 \times K_3$$

K_1 es el factor de la extensión de la cuenca

K_2 es el factor de la lluvia media anual

K_3 es el factor de la pendiente y de la permeabilidad del suelo

Extensión		Lluvia media anual		Características de la Cuenca	K_3
Km^2	K_1	mm	K_2		
10	2.60	200	0.25	Llana y permeable Ondulada Montañosa e impermeable	0.5 – 0.7
20	2.45	300	0.50		
40	2.15	400	0.75		0.5 – 1.2
100	1.80	500	1.00		
200	1.70	600	1.10		1.2 – 1.5
500	1.40	700	1.17		
1.000	1.30	800	1.25		
5.000	1.00	900	1.32		
10.000	0.90	1.000	1.40		
20.000	0.87	1.200	1.50		

5. Fórmula de Keler

$$C = a - b/P \text{ siempre que } P > 500 \text{ mm}$$

a es un coeficiente que oscila entre 0,88 y 1, aconsejándose el valor de 1 para cuencas torrenciales.

b es un coeficiente que oscila entre 350 y 460, tomándose el mínimo para cuencas torrenciales.

P es la precipitación media anual = (mm).

• Coeficiente de escorrentía del suelo

Para calcular el coeficiente de escorrentía del suelo de las muestras analizadas en el presente estudio, se ha optado por utilizar el método de Prevert, método ampliamente utilizado en Europa, que considera la textura del suelo, la pendiente y el uso del terreno para estimar el coeficiente de escorrentía.

Para la realización del presente estudio sobre el coeficiente de escorrentía, se ha seguido una metodología rigurosa y basada en herramientas y técnicas ampliamente aceptadas en el ámbito de la ingeniería ambiental e hidrológica.

1. Obtención de datos de uso del suelo y pendiente

Los datos relativos al **uso del suelo** y la **pendiente** han sido obtenidos mediante el análisis espacial de capas georreferenciadas utilizando el software **QGIS** (Quantum GIS). Este programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG) permite trabajar con cartografía digital y modelos digitales del terreno (MDT), facilitando la extracción precisa de información relevante para cada área de estudio.

- **Uso del suelo:** Se ha realizado una clasificación temática a partir de capas de cobertura terrestre actualizadas, identificando las principales categorías (bosque, pastizal y cultivo agrícola) para cada localidad. Se utilizó la capa de usos del suelo del “*Serviço de Visualização da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2018*”

(COS2018v2)” para la zona de Portugal y la capa “Cubierta terrestre de Castilla y León: Servicio web de visualización (CORINE Land Cover 2006)” para Ciudad Rodrigo.

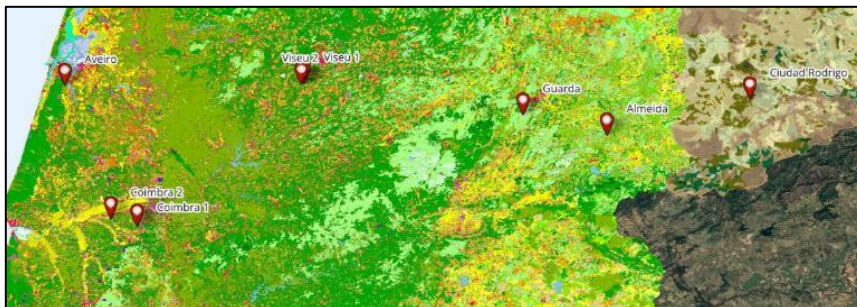


Figura 20. Capa de cobertura terrestre utilizada

- **Pendiente:** A partir de las capas de MDT, mediante el método Zevenbergen&Thorne, se ha calculado la pendiente media de cada zona de muestreo, expresada en porcentaje, lo que permite una caracterización detallada del relieve y su influencia en la escorrentía.

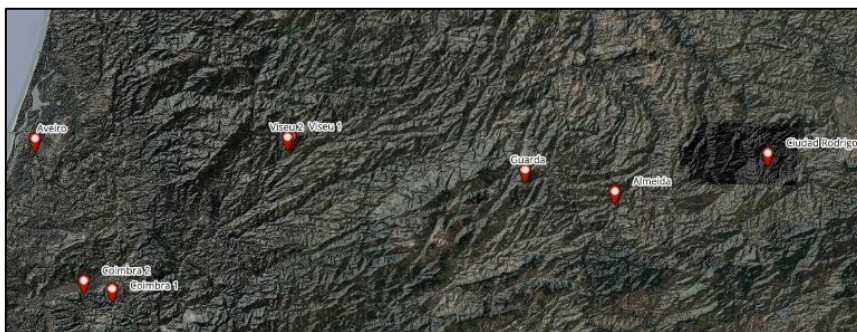


Figura 21. Capa de pendiente obtenida a partir de las capas de MDT.

Los mapas generados de cobertura terrestre y pendiente se adjuntan en el Anexo V.

2. Obtención de datos de textura del suelo

La **textura del suelo** (porcentaje de arena, limo y arcilla) se ha determinado a partir de **análisis físico-químicos realizados en laboratorio** sobre muestras representativas de cada localidad. Este procedimiento garantiza la precisión en la caracterización edáfica, fundamental para estimar la capacidad de infiltración y, por tanto, el coeficiente de escorrentía.

- Las muestras de suelo fueron recogidas siguiendo un protocolo de muestreo sistemático y posteriormente analizadas en laboratorio mediante métodos estándar (Método de Bouyoucos, basado en la sedimentación de las partículas del suelo en agua y el uso de un hidrómetro para medir la densidad de la suspensión a diferentes tiempos).

3. Integración de datos

La integración de la información espacial (QGIS) y analítica (laboratorio) permite una **caracterización precisa y localizada** de las variables que más influyen en la generación de escorrentía superficial, asegurando que los coeficientes calculados reflejen fielmente las condiciones reales de cada emplazamiento.

En resumen, el uso combinado de herramientas SIG para el análisis espacial y de técnicas de laboratorio para la caracterización del suelo proporciona una base sólida y fiable para la estimación del coeficiente de escorrentía, tal como recomiendan los manuales técnicos y la literatura científica especializada.

CIUDAD	Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo (%)	Coef. Escorrentía (C)
Almeida	bosque	3,7	Arenoso	0,1
Aveiro	pastizal	8	Arenoso	0,3
Coimbra 1	bosque	8	Arenoso	0,25
Coimbra 2	bosque	2	Arenoso	0,1
Ciudad Rodrigo	bosque	3,75	Arenoso	0,1
Guarda	pastizal	5,8	Arenoso	0,3
Viseu 1	pastizal	4	Arenoso	0,1
Viseu 2	pastizal	4	Arenoso	0,15

Un alto coeficiente de escorrentía indica que una gran proporción del agua de lluvia no es absorbida por el suelo, lo que aumenta los riesgos de erosión e inundación.

Este parámetro es clave para evaluar la vulnerabilidad de los suelos frente a lluvias torrenciales, cada vez más comunes debido al cambio climático. Los suelos con altos coeficientes de escorrentía son menos resilientes y más propensos a degradarse.

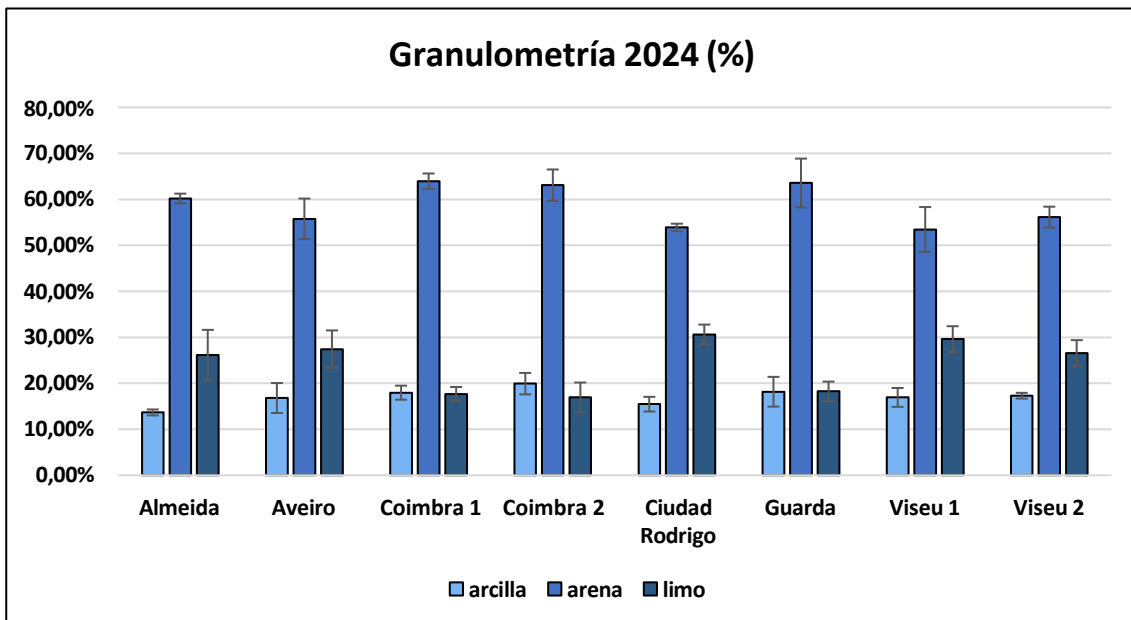
Esta medición también está vinculada a la capacidad de infiltración y, por lo tanto, a la retención de agua en cuencas hidrográficas.

Analizando los datos obtenidos, observamos zonas de estudio con un coeficiente de escorrentía de 0,1 en Viseu punto 1, Ciudad Rodrigo, Coimbra 2 y Almeida; de 0,15 en Viseu punto 2; de 0,25 en Coimbra punto 1; y de 0,3 en Aveiro y Guarda. Todos estos suelos, los podemos clasificar como de baja escorrentía (suelos con coeficiente de escorrentía <0,5), que representan suelos con una buena capacidad de infiltración, lo que reduce los riesgos de erosión y mejora la resiliencia climática.

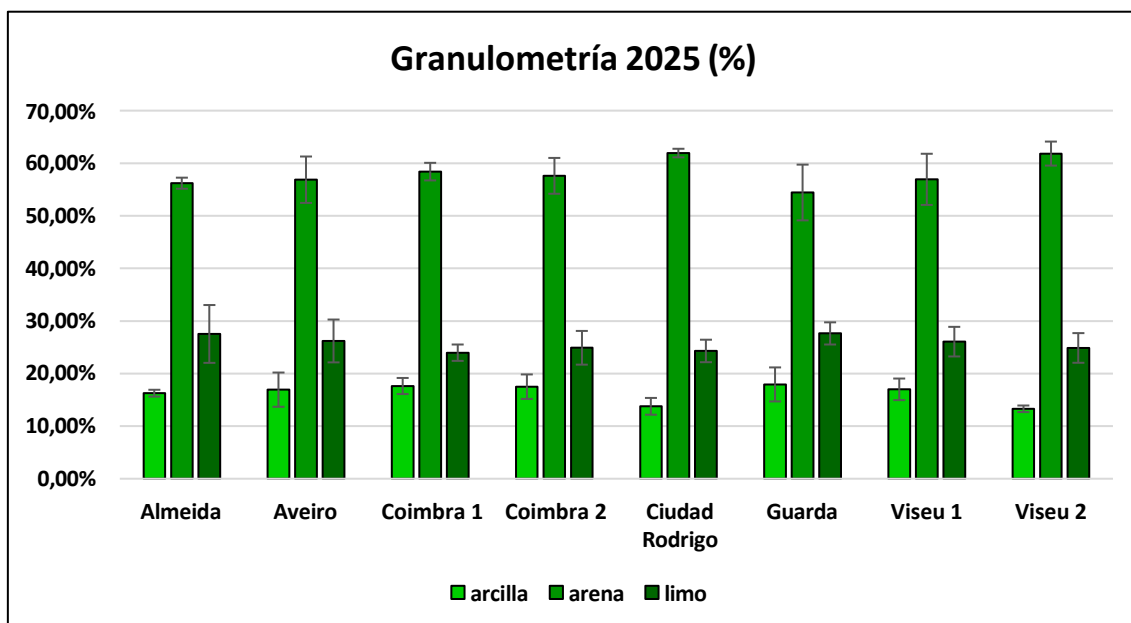
3.2. Parámetros a monitorizar suelo

3.2.1. Propiedades físicas

3.2.1.1. Granulometría



Gráfica 2. Granulometría por punto de muestreo, campaña 2024.



Gráfica 3. Granulometría por punto de muestreo, campaña 2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La granulometría del suelo, es decir, la distribución del tamaño de las partículas que lo componen (arena, limo y arcilla), juega un papel fundamental en la resiliencia del suelo frente al cambio climático. La granulometría influye directamente en varias propiedades del suelo, como la capacidad de retención de agua, la aireación, la infiltración y la erosión, que son esenciales para la estabilidad del ecosistema y la productividad agrícola.

Los suelos arcillosos, caracterizados por su mayor contenido de arcilla, presentan una alta capacidad para retener agua y nutrientes, pero tienen poca aireación y son más propensos al encharcamiento durante lluvias intensas. Durante sequías severas, se forman grietas más marcadas y su estructura tiende a cambiar debido a los frecuentes ciclos de expansión y contracción.

En cuanto a su resiliencia, son más capaces de resistir la sequía gracias a su elevada retención de agua y nutrientes, aunque también son susceptibles a la compactación. En condiciones secas, pueden volverse muy duros y compactos.

Los suelos arenosos, que contienen una mayor proporción de arena, tienen una baja capacidad de retención de agua, lo que los hace menos resistentes a las sequías. Poseen una alta infiltración, lo que los vuelve más susceptibles a la pérdida de nutrientes y a la erosión durante lluvias intensas. En periodos de sequía, son más vulnerables a la erosión eólica, y en zonas costeras, el riesgo de salinización aumenta con la elevación del nivel del mar.

En términos de resiliencia, estos suelos tienen una baja resistencia natural debido a su limitada capacidad para retener agua y nutrientes, aunque pueden mejorar considerablemente con buenas prácticas de manejo. Según la Directiva Europea, los suelos con pocas partículas finas requieren medidas de conservación para mejorar su capacidad de retención de agua y su estructura.

Los suelos limosos, con una mayor proporción de limo, presentan características intermedias entre los suelos arcillosos y arenosos. Son más susceptibles a la erosión, especialmente con el aumento de lluvias intensas, y pueden compactarse debido a los frecuentes ciclos de humedecimiento y secado. Durante sequías prolongadas, su capacidad para retener agua disminuye.

En cuanto a su resiliencia, es moderada, aunque pueden mejorar su estructura y resistencia a la erosión a través de prácticas de manejo adecuadas.

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear la textura del suelo (contenido de arcilla, limo y arena), se ha realizado análisis granulométricos de las muestras de suelo (% de arcilla, limo y arena).

Observaciones

De las muestras analizadas por ciudades en 2025 se han obtenidos resultados similares a los del muestreo de 2024, donde se ha obtenido suelos con alto porcentaje de arenas (54,43% - 61,93%), con presencia de limos (23,97 % - 27,63 %) y arcillas (13,30% - 17,93%), con textura franco arenoso según la clasificación de la USDA, si bien algunas muestras pueden considerarse

franco arenoso arcilloso. Las muestras se tratan, por tanto, de suelos principalmente arenosos lo que provoca que los suelos de la región presenten una baja capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que los hace vulnerables a la sequía y a la erosión en eventos de fuertes lluvias.

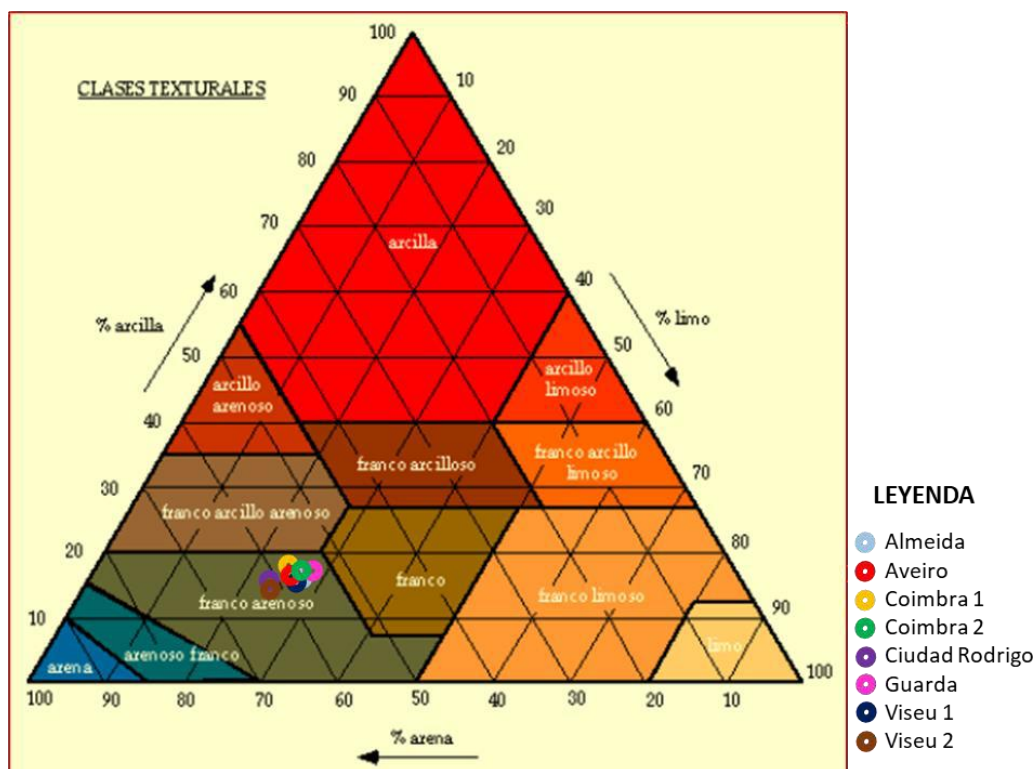
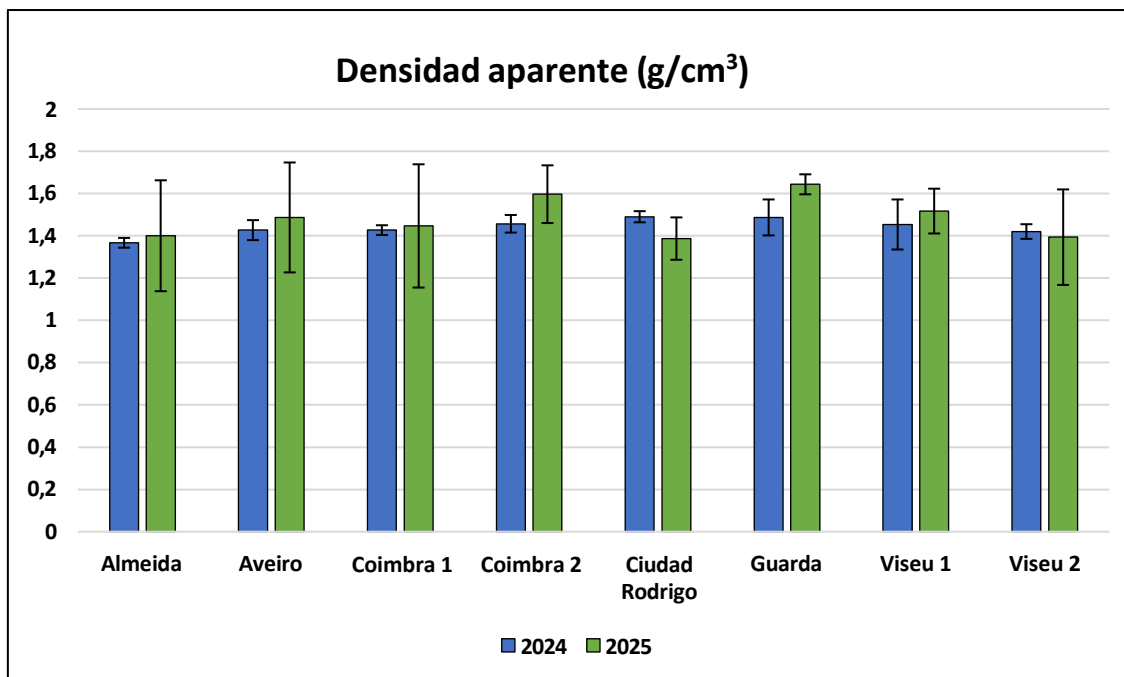


Figura 22. Clasificación textural según la USDA

3.2.1.2. Densidad aparente (Compactación del suelo)



Gráfica 4. Densidad aparente por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La densidad aparente es un factor clave que afecta la resiliencia del suelo frente al cambio climático. Los suelos con una densidad aparente baja tienden a ser más resilientes, ya que permiten una mejor infiltración y retención de agua, además de una mayor aireación. Sin embargo, los suelos con alta densidad aparente son más vulnerables a la compactación, la erosión y la reducción de la disponibilidad de agua y nutrientes, lo que disminuye su capacidad para adaptarse a condiciones climáticas extremas, como las sequías prolongadas y las lluvias torrenciales que afectan cada vez más a la zona de estudio. Un manejo adecuado de la densidad aparente es crucial para mejorar la resiliencia de estos suelos en el futuro.

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear la compactación del suelo para retener agua (compactación del subsuelo), se ha analizado la densidad aparente del subsuelo (g por cm³) correspondientes a las muestras tomadas en la parte superior del horizonte B o E.

Además, en el Anexo I parte A: descriptores del suelo con criterios de salud establecidos a escala de la Unión, de la propuesta de la Directiva Europea, se establece que, para controlar la compactación del subsuelo, el criterio de salud del suelo debe tener el valor de densidad aparente de < 1,80 para suelos de textura arenosa, arenoso francoso, suelo franco arenoso y franco y de < 1,75 para suelos franco arenoso arcilloso, suelo franco, suelo franco arcilloso, suelo limoso y suelo franco limoso.

Observaciones

De las muestras analizadas por ciudades, en ambos años se revela una diferenciación en la densidad aparente de los suelos, registrando una densidad en un rango comprendido entre 1,37 - 1,64 g/cm³.

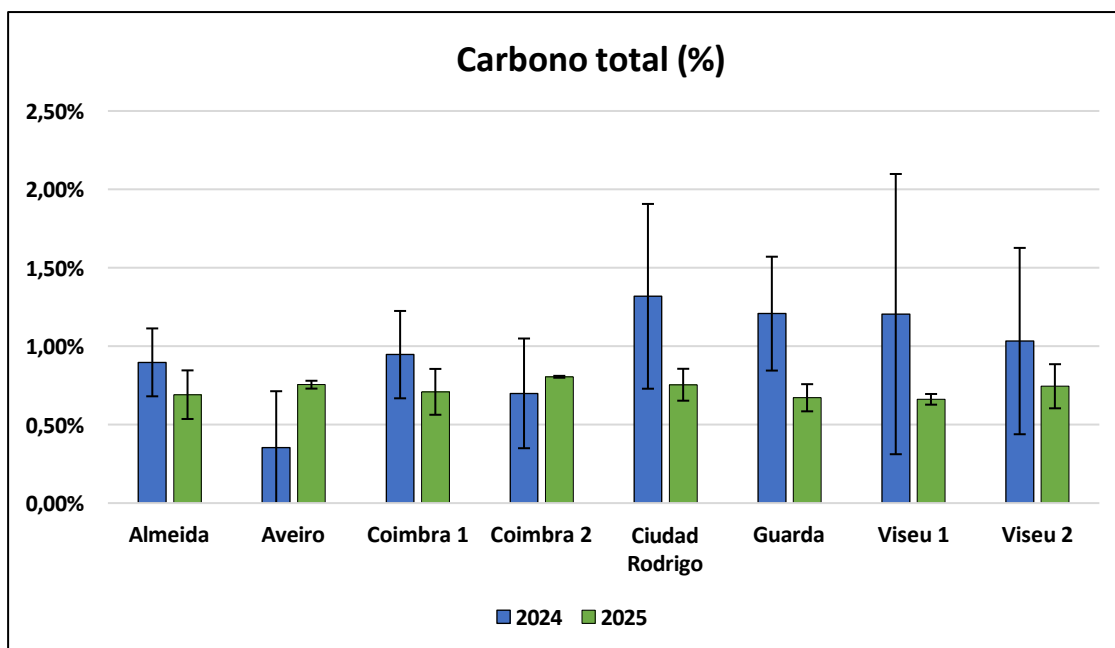
Como podemos observar en la Directiva Europea, se establece que el criterio de salud del suelo debe tener un valor límite de densidad aparente de < 1,80 para suelos franco arenosos y de < 1,75 para suelos franco arenoso arcilloso. Por tanto, la densidad aparente de los suelos analizados se encuentra por debajo de esos valores en ambos años, cumpliendo así con los criterios de salud. Esto nos aporta una idea sobre el buen estado del suelo respecto a este parámetro en concreto, manteniéndose en niveles de compactación que aseguren la permeabilidad del suelo para minimizar los impactos del cambio climático.

Comparando ambas campañas de muestreo, la densidad aparente no presenta cambios significativos, solo leves variaciones entre 2024 y 2025. Se puede apreciar como la ciudad que más variaciones presenta es Coimbra punto 2 (1,46 a 1,6 g/cm³) y Guarda (1,49 a 1,64 g/cm³), registrando el mayor crecimiento de densidad aparente.

Resumen final

- **Densidad aparente óptima:** La densidad aparente de los suelos analizados se encuentra por debajo de los valores límite establecidos en la Directiva en ambos años, cumpliendo así con los criterios de salud.
- **Recomendación:** Se recomienda mantener el monitoreo para evitar excesos, favoreciendo que los valores no se incrementen más y se mantengan estableces por debajo del criterio de salud del suelo y así optimizar la adaptación al cambio climático.

3.2.2. Carbono total



Gráfica 5. Carbono total por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

El carbono orgánico es fundamental para la estructura y fertilidad del suelo, ayudando en la retención de agua y nutrientes. Los suelos con alto contenido de carbono pueden almacenar más CO₂, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático. Según la Directiva Europea sobre vigilancia del suelo, un buen nivel de carbono orgánico también mejora la resiliencia del suelo frente a fenómenos climáticos extremos, como las sequías y las inundaciones, protegiendo además la biodiversidad y mejorando la capacidad de infiltración.

El contenido de carbono total en el suelo puede variar dependiendo de las características del suelo y clima. Esta variabilidad refleja la influencia de diversos factores como el tipo de suelo, el uso del suelo y las condiciones climáticas. Los suelos con mayor contenido de carbono orgánico suelen ser más fértiles, resistentes a la erosión, poseen alta capacidad de retención de agua, nutrientes y carbono, actuando como importantes sumideros de carbono, contribuyendo a mitigar el cambio climático, ya que, al aumentar el contenido de carbono en el suelo, se reducen las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Estos suelos favorecen el crecimiento de las plantas y son menos susceptibles a los efectos adversos del cambio climático como sequías e inundaciones. En cambio, suelos con bajo contenido de carbono orgánico, son indicadores de degradación del suelo, menor capacidad de almacenamiento de carbono y aumento de la vulnerabilidad a la erosión.

- **Déficit de carbono:**

- Reducción de la fertilidad y productividad
- Mayor vulnerabilidad a la erosión y degradación

- Menor secuestro de carbono
- Biodiversidad limitada
- **Niveles adecuados de carbono (1-2 %):**
 - Mejora de la función ecológica
 - Capacidad de respuesta ante eventos extremos
 - Mitigación y adaptación
 - Mayor eficiencia de la gestión

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear la pérdida de carbono orgánico del suelo, se ha analizado concentración de carbono orgánico de las muestras de suelos.

Además, en el Anexo I parte A: descriptores del suelo con criterios de salud establecidos a escala de la Unión, de la propuesta de la Directiva Europea, se establece que, para controlar la pérdida de carbono orgánico del suelo, el criterio de salud será: Para suelos orgánicos: respetar los objetivos establecidos para dichos suelos a nivel nacional de conformidad con el artículo 4, apartados 1 y 2, y el artículo 9, apartado 4, del Reglamento (UE) .../...+; Para suelos minerales: relación carbono orgánico del suelo/arcilla > 1/13; Los Estados miembros pueden aplicar un coeficiente corrector cuando determinados tipos de suelo o de condiciones climáticas lo justifiquen, teniendo en cuenta el contenido de carbono orgánico del suelo real en pastos permanentes.

Clasificación de contenido de carbono orgánico según rangos

- Contenido bajo: < 1 %
- Contenido medio: 1 – 2 %
- Contenido alto: > 2 %

Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025 se han obtenido concentraciones de carbono orgánico que abarcan un rango desde 0,66% (Viseu 1) hasta 0,81% (Coimbra 2), encontrándose todas las ciudades por debajo del 1%, lo que indica que todos los puntos presentan un contenido bajo en carbono orgánico. Estos bajos niveles de carbono pueden afectar significativamente a la gestión sostenible de los suelos y la adaptación de estos al cambio climático.

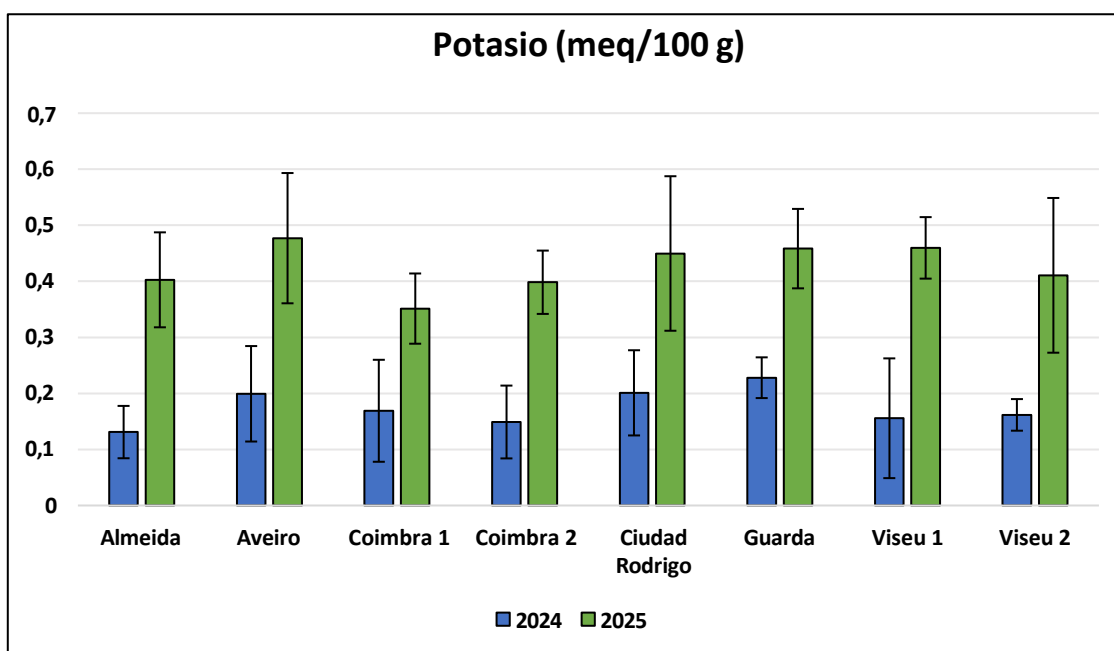
Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025 vemos como en la mayoría de los casos ha habido una disminución de carbono total en todas las ciudades, excepto en Aveiro y Coimbra punto 2, siendo las únicas que han incrementado su carbono en un año. El resto de las ciudades ha disminuido su contenido de carbono orgánico con respecto a 2024, siendo las más llamativas Ciudad Rodrigo, Guarda y Viseu pasando de tener los mayores porcentajes de carbono total entre las ciudades analizadas hasta homogeneizarse con el resto de las ciudades.

Resumen final

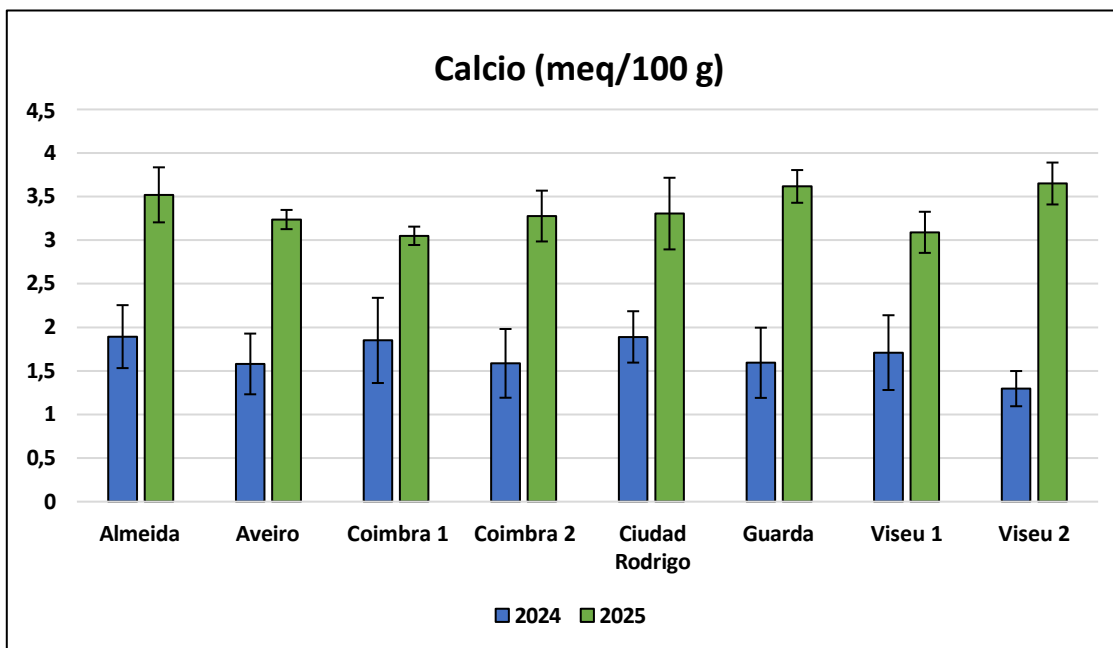
- **Tendencia negativa:** Se observa una disminución del contenido de carbono orgánico del 2024 al 2025 en todas las ciudades, excepto en Aveiro y Coimbra punto 2. Los resultados obtenidos en 2025 se encuentran por debajo del 1%, lo que indica que todos los puntos presentan un contenido bajo en carbono orgánico.
- **Recomendación:** Para aumentar el contenido de carbono en los suelos y mejorar su resiliencia, se recomienda implementar prácticas de manejo. Éstas ayudarán a mejorar la calidad del suelo, e incluso llegarán a mitigar el cambio climático. Un buen manejo que evite el déficit de carbono y promueva niveles saludables contribuye directamente a la mitigación y adaptación al cambio climático: mayor retención de agua, menor erosión, más diversidad biológica y reducción de emisiones. Las prácticas agroecológicas y la diversificación de cultivos ayudan a incrementar el carbono del suelo, mejorando su capacidad de recuperación climática. Con esto podemos recalcar la importancia del carbono como indicador de la salud de los ecosistemas y su capacidad de adaptarse al cambio climático.

3.2.3. Nutrientes

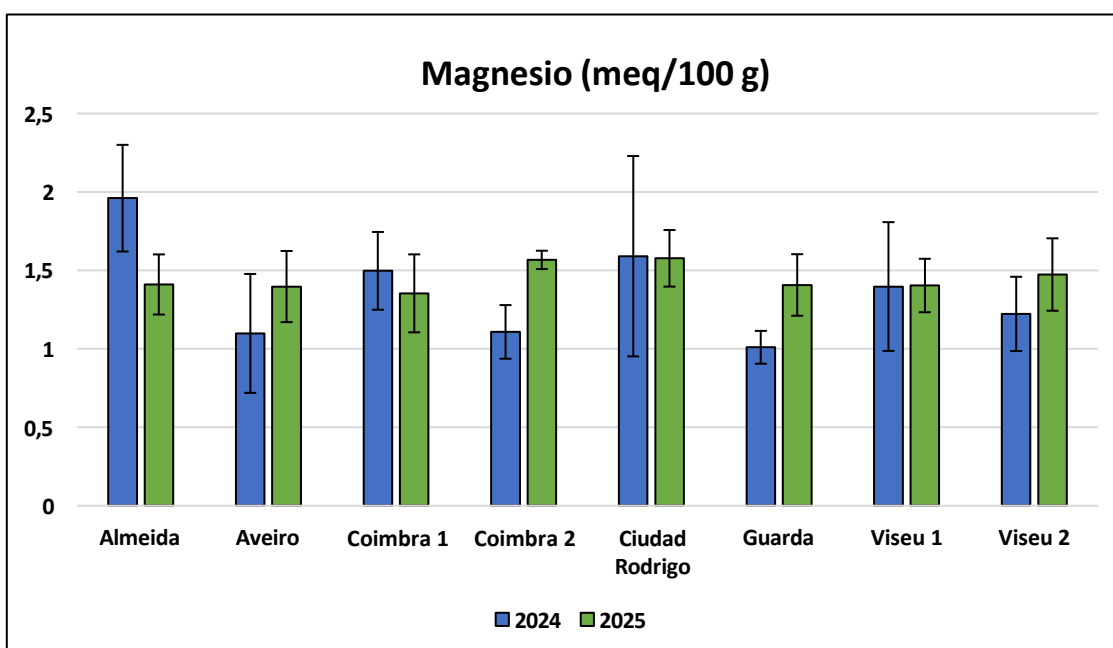
3.2.3.1. Potasio, Calcio y Magnesio



Gráfica 6. Potasio por punto de muestreo, campaña 2024-2025.



Gráfica 7. Calcio por punto de muestreo, campaña 2024-2025.



Gráfica 8. Magnesio por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La estructura del suelo se ve mejorada por la presencia de calcio (Ca) y magnesio (Mg), ya que estos elementos contribuyen a la formación de agregados estables, favoreciendo la porosidad y facilitando la infiltración de agua, lo que disminuye la erosión y mejora la aireación. Esto

incrementa la resiliencia del suelo ante eventos extremos como sequías e inundaciones. Aunque en menor medida, el potasio (K) también influye en la estructura del suelo.

Estos cationes juegan un papel crucial en la retención de materia orgánica, un componente clave para la fertilidad y la capacidad del suelo para retener agua, además de mejorar su estructura y su capacidad de secuestrar carbono.

A nivel biológico, los nutrientes como K, Ca y Mg son fundamentales para el crecimiento de plantas y microorganismos, fomentando una comunidad microbiana activa y diversa que promueve la descomposición de la materia orgánica y el reciclaje de nutrientes. Estos cationes también se adsorben a las partículas del suelo, contribuyendo a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que aumenta la capacidad del suelo para retener nutrientes y resistir cambios en el pH, mejorando su resistencia frente a la acidificación y otras alteraciones químicas.

Para monitorear el contenido de nutrientes presentes en el suelo, se ha analizado concentración de potasio, calcio y magnesio de las muestras de suelos.

Potasio

Relevancia para la adaptación climática

- **Déficit de potasio:**
 - Menor resistencia al estrés hídrico.
 - Reducción del crecimiento y desarrollo
 - Pérdida de nutrientes del suelo
- **Exceso de potasio:**
 - Desequilibrio nutricional
 - Alteración de la estructura del suelo
 - Posible salinización

Clasificación de potasio según rangos

- Muy bajo: 0 – 0,15 meq/100g
- Bajo: 0,15 – 0,30 meq/100g
- Medio: 0,30 – 0,45 meq/100g
- Alto: 0,45 – 0,75 meq/100g
- Muy alto: > 0,75 meq/100

Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025, se han obtenido concentraciones de potasio que abarcan un rango desde 0,35 meq/ 100 g (Coimbra 1) hasta 0,48 meq/100 g (Aveiro), encontrándose todas las ciudades, excepto Aveiro, dentro del rango medio (0,30 – 0,45 meq/100 g), lo que indica una concentración media de potasio. Aveiro al encontrarse en el rango 0,45 – 0,75 meq/100 g, se sitúa en suelos con concentración alta de potasio, aunque en el límite con el rango medio.

Estos valores sugieren un estado adecuado o incluso óptimo de potasio en la mayoría de los casos, lo que favorece la resiliencia del suelo y la resistencia de las plantas a condiciones climáticas adversas.

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025, podemos encontrarnos con un incremento generalizado de los niveles de potasio en todos los sitios, pasando de concentraciones bajas a unos niveles medios, por lo que podemos considerar que los suelos son más resistentes al estrés hídrico y a la pérdida de nutrientes.

Resumen final

- **Tendencia positiva:** El incremento de potasio del 2024 al 2025 representa una mejora significativa en la capacidad de resiliencia de los suelos.
- **Recomendación:** Se recomienda mantener el monitoreo para evitar deficiencias y excesos, favoreciendo valores entre medianos y altos para optimizar la adaptación al cambio climático.

Calcio

Relevancia para la adaptación climática

- **Déficit de calcio:**
 - Estructura del suelo debilitada
 - Menor capacidad de retención de agua
 - Acidificación del suelo
 - Reducción de la actividad microbiana
 - Menor resistencia a enfermedades
- **Exceso de calcio:**
 - Desequilibrio nutricional
 - Alteración del pH
 - Reducción de la biodiversidad
 - Posible salinización

Clasificación de calcio según rangos

- Bajo: < 5 meq/100g
- Medio: 5 –10 meq/100g
- Alto: > 10 meq/100g

Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025, se han obtenido concentraciones de calcio que abarcan el rango desde 3,05 – 3,65 meq/100 g, encontrándose todas las ciudades por debajo del rango bajo de calcio (< 5 meq/100 g).

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025, aunque hayan subido los niveles de calcio en 2025 en todas las zonas (se ha pasado de

valores entre 1,59 – 1,89 meq/100 g en 2024 a valores entre 3,05 – 3,65 meq/100 g en 2025), todas las zonas se encuentran en un rango de concentración bajo de calcio (< 5 meq/100 g).

Resumen final

- **Déficit de concentración:** Un déficit en la concentración de calcio puede tener consecuencias como la debilitación de la estructura del suelo, la reducción de la capacidad de retención de agua, la acidificación del suelo, la reducción de la actividad microbiana y la menor resistencia de enfermedades provocando así la vulnerabilidad del suelo.
- **Recomendación:** Se recomienda aplicar fertilizantes ricos en calcio, como el carbonato de calcio, así como incorporar materia orgánica para liberar nutrientes de manera gradual. El uso de biofertilizantes también puede aumentar la disponibilidad de potasio y calcio de forma natural. Se deberá monitorear la evolución de este parámetro, para controlar que los niveles aumentan y dejan de ser deficiencias, favoreciendo valores medios para optimizar la adaptación al cambio climático.

Magnesio

Relevancia para la adaptación climática

- **Déficit de magnesio:**
 - Reducción de la actividad fotosintética
 - Menor resistencia al estrés hídrico
 - Disminución de la biodiversidad del suelo
 - Menor capacidad de retención de agua
- **Exceso de magnesio:**
 - Desequilibrio nutricional
 - Alteración de la estructura del suelo
 - Alteración del pH del suelo
 - Posible salinización

Clasificación de magnesio según rangos

- Bajo: < 0,5 meq/100g
- Medio: 0,5 – 1,5 meq/100g
- Alto: > 1,5 meq/100g

Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025, se registra en todas las ciudades un rango de 1,35 – 1,57 meq/100 g, por lo que se encuentra en valores medio/altos (0,5 – 1,5 meq/100 g) en la mayoría de las ciudades, excepto en Ciudad Rodrigo y en Coimbra punto 2, donde se encuentran valores altos (> 1,5 meq/100 g).

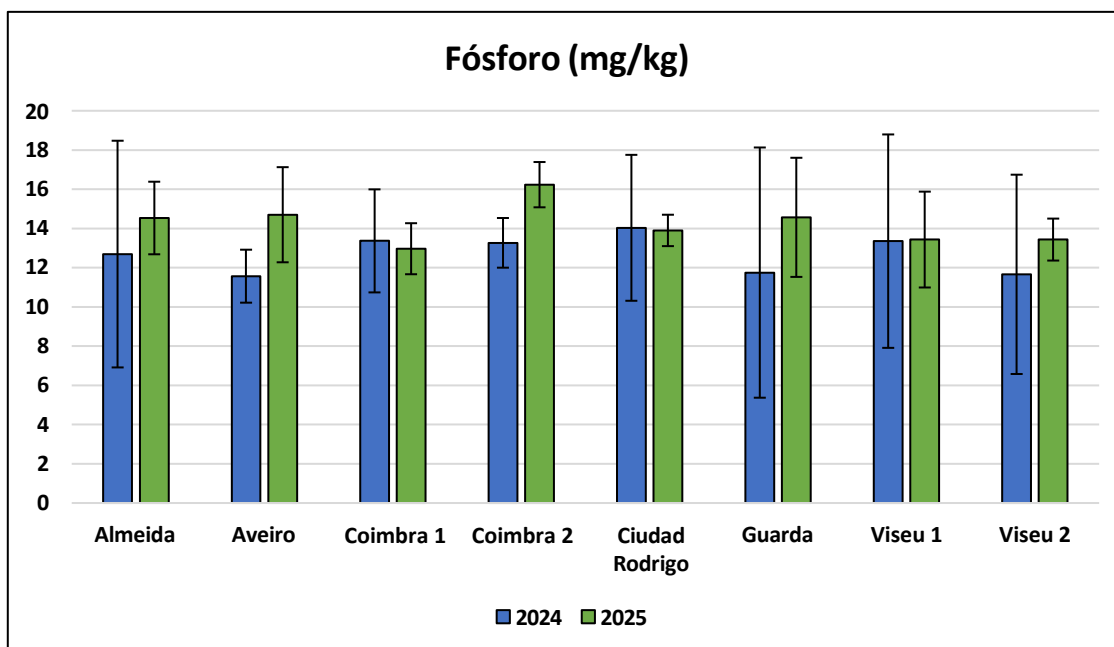
Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025, la concentración de magnesio no presenta cambios significativos, solo leves variaciones

entre 2024 y 2025, principalmente en Almeida (descenso en 2025 con respecto a 2024, pasando de alto contenido a medio) y en Coimbra 2 (incrementos en 2025 con respecto a 2024, pasando de rango medio a alto).

Resumen final

- **Contenidos medios:** Encontrándose en concentraciones medias en casi la totalidad de las ciudades analizadas, el magnesio sería de los nutrientes con mejor nivel de concentración presente en toda el área muestreada.
- **Recomendación:** Se recomienda mantener el monitoreo para evitar excesos de magnesio que puedan provocar desequilibrios y así favorecer valores medios para optimizar la adaptación al cambio climático.

3.2.3.2. Fósforo



Gráfica 9: Fósforo por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Relevancia para la adaptación climática

La concentración de fósforo en el suelo es un factor clave en la calidad y la resiliencia del suelo, especialmente frente a los impactos del cambio climático. La presencia de fósforo afecta directamente la fertilidad y, por lo tanto, la capacidad del suelo para sostener la biodiversidad vegetal. Esto influye en su estructura, en su capacidad para almacenar carbono y en su resistencia a la erosión y la desertificación, factores todos relacionados con su resiliencia climática.

El fósforo es un nutriente esencial para las plantas, ya que interviene en procesos como la fotosíntesis y el desarrollo de raíces. Sin embargo, su exceso o deficiencia puede comprometer el equilibrio del ecosistema del suelo. Los excesos de fósforo provocados por el uso de

fertilizantes pueden provocar desequilibrios nutricionales del suelo, degradaciones de ecosistemas acuáticos debido a la eutrofización de las aguas, pérdida de la biodiversidad y alteración de la estructura del suelo.

En un escenario de cambio climático, los suelos más resilientes son aquellos que pueden mantener una estructura saludable, rica en materia orgánica y con una buena capacidad de retención de agua. El equilibrio adecuado de fósforo es fundamental para mantener esta estructura y apoyar la actividad microbiana, la cual descompone la materia orgánica y mejora la calidad del suelo. Si el fósforo está presente en cantidades óptimas, el suelo puede ser más resistente a las sequías, ya que una mayor retención de agua facilita el crecimiento vegetal y el almacenamiento de carbono. Además, un suelo equilibrado en nutrientes puede evitar procesos de degradación como la salinización y la pérdida de nutrientes, factores que se intensifican con los cambios climáticos.

- **Niveles adecuados de fósforo (15-20 mg/kg):**
 - Mayor productividad y salud de las plantas.
 - Prevención de la degradación
 - Mayor captura de carbono
 - Mejora de la estructura del suelo
 - Interacción con otros nutrientes. Mejora en la resiliencia, estructura y funciones del suelo.
- **Exceso de fósforo:**
 - Desequilibrio nutricional
 - Degradación de ecosistemas acuáticos
 - Pérdida de biodiversidad
 - Alteración de la estructura del suelo
 - Dependencia de fertilizantes
 - Contaminación a largo plazo

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear el exceso de nutrientes presentes en el suelo, se ha analizado concentración de fósforo extraíble en las muestras de suelos (mg/kg).

Además, en el Anexo I parte B: descriptores del suelo con criterios de salud del suelo establecido a nivel de los Estados Miembros, de la propuesta de la Directiva Europea, se establece que, para controlar el exceso de nutrientes presentes en el suelo, el criterio de salud del suelo debe tener el valor máximo de fósforo que establezca cada Estado miembro dentro del rango de 30 – 50 mg/kg.

Clasificación de fósforo según rangos

- Muy bajo: < 4 mg/kg

- Bajo: 5 - 8 mg/kg
- Medio: 9 - 12 mg/kg
- Alto: 13 - 20 mg/kg
- Muy alto: 21 - 32 mg/kg

Observaciones

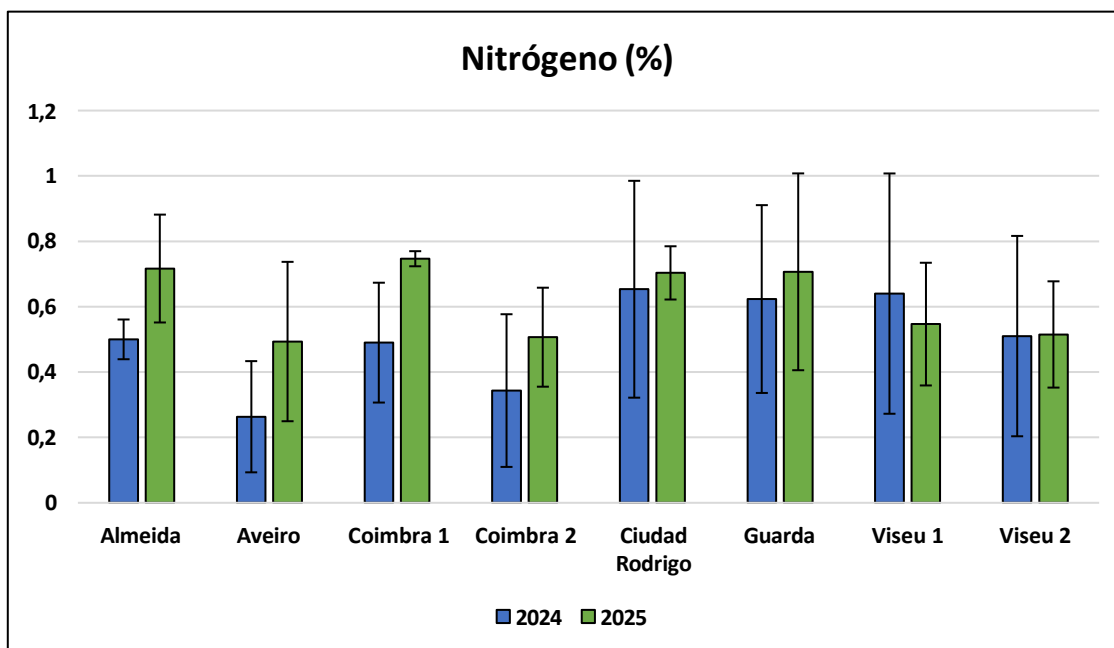
Analizando los valores obtenidos de fósforo en las distintas ciudades en 2025, se han obtenido concentraciones entre 12,96 - 16,23 mg/kg, situándose en un rango alto de concentración (13 - 20 mg/kg).

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad en 2024 y 2025, podemos observar cómo los valores de fósforo han experimentado ligeros incrementos en varias de las ciudades, mientras se han mantenido estables en otras.

Resumen final

Todas las muestras analizadas tanto en 2024 como en 2025 se encuentran por debajo del rango máximo de concentración establecido por la Directiva (30 – 50 mg/kg), lo que es un indicador de que no hay exceso de fósforo presentes en el suelo y, por lo tanto, este nutriente es un parámetro cuyo valor no es significativo en la actualidad a pesar de que haya habido pequeños incrementos en los valores en 2025. Aun así, se recomienda que este parámetro sea monitorizado y controlado para observar la tendencia y mantener la concentración por debajo de dicho rango.

3.2.3.3. Nitrógeno



Gráfica 10: Nitrógeno por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Relevancia para la adaptación climática

El nitrógeno total en el suelo es un factor clave para su resiliencia frente a los efectos del cambio climático. Un adecuado contenido de nitrógeno favorece el crecimiento vegetal, mejora la estructura del suelo y potencia la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes. No obstante, su manejo sostenible es esencial para evitar la lixiviación y pérdida de fertilidad, que podrían comprometer la capacidad del suelo para adaptarse a las condiciones climáticas extremas que se proyectan para el futuro.

El nitrógeno es esencial para el desarrollo de las plantas, y su retención en el suelo contribuye a aumentar su resiliencia ante períodos de sequía. Los suelos con bajo contenido de nitrógeno suelen ser menos fértiles y más vulnerables a la degradación y la erosión. Un nivel normal de nitrógeno total en el suelo se encuentra entre el 0,1% y el 0,2%. Sin embargo, un exceso de nitrógeno puede alterar la respuesta de los microorganismos a los cambios climáticos, afectando la capacidad del suelo para adaptarse a variaciones en las precipitaciones. Valores superiores al 0,4% se consideran excesivos.

- **Déficit de nitrógeno:**

- Limitación del Crecimiento Vegetal
- Menor Capacidad de Recuperación
- Reducción de Retención de Agua y Carbono
- Mayor Vulnerabilidad a la Erosión

- **Exceso de nitrógeno:**

- Desequilibrio nutricional
- Aumento de Contaminación y Gases de Efecto Invernadero
- Alteración de la Microbiota y Procesos del Suelo
- Reducción de la Capacidad de Adaptación

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, en la Parte C: descriptores del suelo sin criterios, para monitorear la degradación del suelo por acidificación, se ha analizado el exceso de nutrientes (nitrógeno) presentes en el suelo.

Clasificación de nitrógeno según rangos

- Muy bajo: $\leq 0,05$ %
- Bajo: $0,05 - 0,1$ %
- Normal: $0,1 - 0,2$ %
- Alto: $0,2 - 0,4$ %
- Muy alto: $> 0,4$ %

Observaciones

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear el exceso de nutrientes presentes en el suelo, se ha analizado la concentración de nitrógeno en las muestras de suelos.

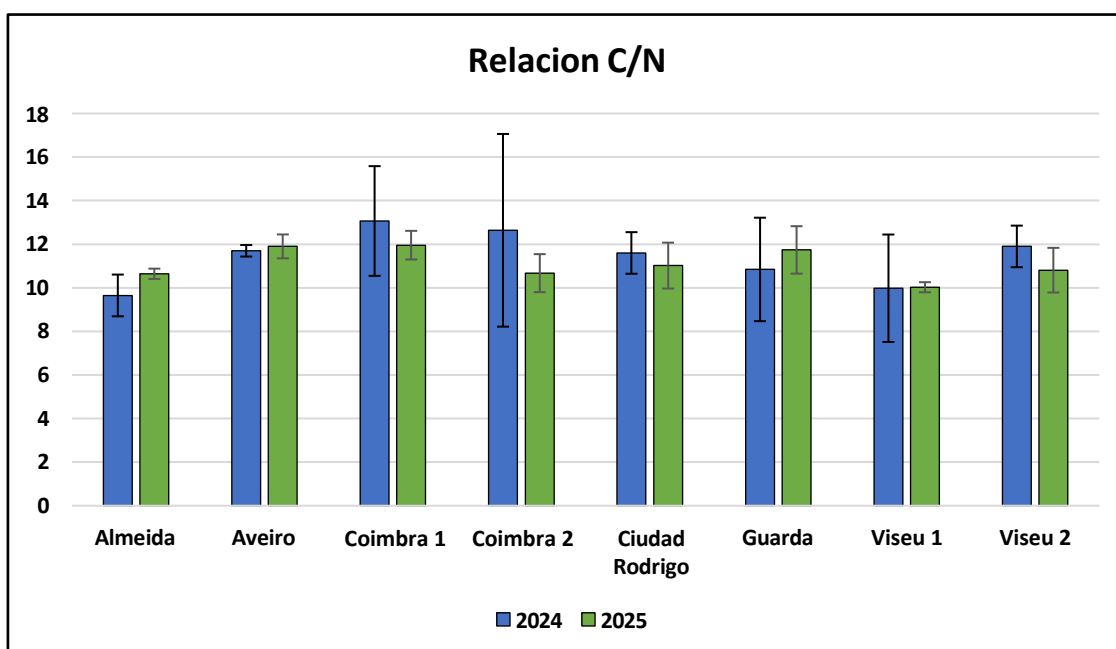
Analizando los valores de nitrógeno en las distintas ciudades en 2025, se han obtenido concentraciones entre 0,49 – 0,75 %, situándose en un rango muy alto de contenido en nitrógeno (> 0,4 %).

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad en 2024 y 2025, podemos observar que el contenido de nitrógeno en 2025 se incrementa en todas las ciudades en comparación con 2024, excepto en Viseu 1 que disminuye y Viseu 2 que se mantiene a niveles similares.

Resumen final

- **Incremento de nitrógeno:** Se observa un incremento de nitrógeno del 2024 al 2025 en todas las ciudades, excepto en Viseu. Los resultados obtenidos son muy altos ya que se alejan de los niveles de normales de nitrógeno (0,1-0,2%).
- **Recomendación:** Se recomienda prestar especial atención a este parámetro mediante monitorización y diseñar medidas que consigan frenar el incremento de los niveles de concentración de nitrógeno y lograr la disminución de sus niveles hasta concentraciones normales.

3.2.4. Relación C/N



Gráfica 11: Relación C/N por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Relevancia para la adaptación climática

Un suelo con una relación C/N normal (8-12) tiene una relación óptima de nutrientes en el suelo, lo que se traduce en una mayor resiliencia de los mismos. Un suelo con alta relación C/N (> 12) contribuye a un mayor almacenamiento de carbono atmosférico a largo plazo y la resistencia a la erosión, aunque limita a disponibilidad inmediata de nitrógeno para las plantas debido a que los procesos de descomposición son más lentos (lenta mineralización). Suelos con baja relación C/N (< 8) contribuyen a una rápida mineralización de la materia orgánica, lo que se traduce en una pérdida de nutrientes y una reducción de la flora microbiana. Un suelo con una relación C/N equilibrada se considera esencial para una buena fertilidad. La relación óptima C/N se da en el rango de valores entre 8-12.

Frente a situaciones adversas como la sequía y las inundaciones una buena relación de C/N favorece a mantener la fertilidad en el suelo y la capacidad de retención del agua ayuda al impacto de las inundaciones y así prevenir la pérdida de nutrientes del suelo. Esta relación se puede ver afectada por el aumento de temperatura al acelerar la descomposición de materia orgánica, lo que a su vez puede favorecer al calentamiento global por la liberación de carbono a la atmósfera.

Clasificación de la relación C/N según rangos

- Baja: < 8
- Normal: $8 < \text{Valor} \leq 12$
- Alta: > 12

Observaciones

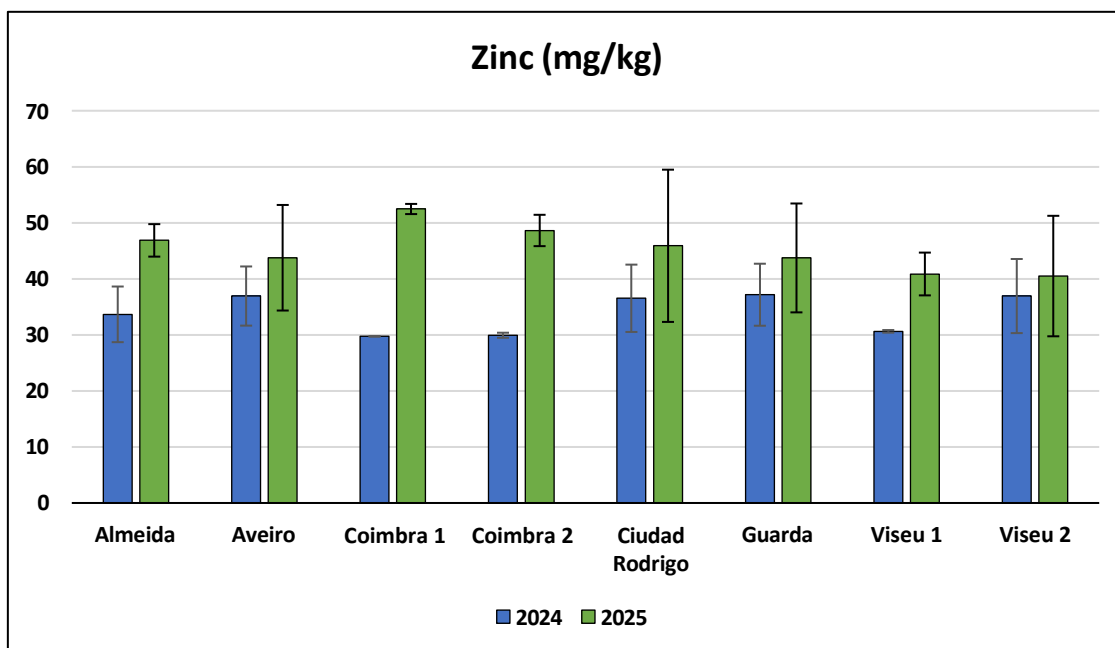
Analizando la relación C/N en las distintas ciudades en 2025, se han obtenido relaciones de C/N entre 10,02 – 11,96, situándose dentro del rango óptimo (8-12).

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad en 2024 y 2025, podemos observar que en 2024 todas las ciudades se encontraban en un rango óptimo, exceptuando Coimbra 1 (C/N=13) y Coimbra 2 (C/N=12,6) donde se da una relación C/N alta (> 12). Sin embargo, en 2025 se ha reducido la relación C/N de Coimbra 1 y Coimbra 2, entrando dentro de los rangos óptimos. El resto de los parámetros no tienen variaciones significativas, por lo que siguen dentro del rango óptimo.

Resumen final

Por lo tanto, se puede concluir que la relación C/N se trata de un parámetro estable y positivo para una resiliencia sostenida y se recomienda mantener el equilibrio.

3.2.5. Metales pesados (Zinc)



Gráfica 12: Zinc por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

Los metales pesados afectan la salud del suelo y su capacidad de sostener ecosistemas resilientes. La acumulación de metales pesados en el suelo reduce la actividad biológica, afectando la capacidad del suelo para recuperarse tras eventos climáticos extremos. El análisis de metales pesados es clave para identificar suelos contaminados que pueden ser más vulnerables a los impactos del cambio climático.

Concretamente sobre el zinc, en áreas con concentraciones elevadas, este metal puede degradar los suelos al reducir la actividad microbiana, alterar su estructura y disminuir su capacidad para retener agua y nutrientes. Además, existe el riesgo de que el zinc en exceso se filtre hacia las aguas subterráneas, contaminando fuentes de agua potable y afectando los ecosistemas acuáticos. El consumo de alimentos cultivados en suelos contaminados también representa un riesgo para la salud, especialmente en poblaciones vulnerables.

Los niveles de zinc en los suelos están influenciados por diversos factores como la geología, el clima, las actividades humanas y el uso del suelo. Las características geológicas y climáticas de una zona pueden determinar la concentración de zinc, mientras que la agricultura, la industria y la minería incrementan su presencia en el suelo. Además, las prácticas agrícolas, como el uso de fertilizantes y pesticidas, pueden alterar los niveles naturales de zinc.

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear la contaminación del suelo, se ha analizado la

concentración de metales pesados en el suelo de los siguientes parámetros (As, Sb, Cd, Co, Cr (total), Cr (VI), Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn).

Además, en el Anexo I parte B: descriptores del suelo con criterios de salud del suelo establecido a nivel de los Estados Miembros, de la propuesta de la Directiva Europea, se establece que, para controlar el exceso de metales presentes en el suelo, el criterio de salud del suelo que se utilizará será la certeza razonable, obtenida a partir del muestreo por puntos del suelo, la localización e investigación de terrenos contaminados, y otra información pertinente, de que no existe riesgo inaceptable para la salud humana y el medio ambiente derivado de la contaminación del suelo.

Observaciones

En ninguna de las muestras analizadas, se ha detectado la presencia de As, Sb, Cd, Co, Cr (total), Cr (VI), Cu, Hg, Pb, Ni, Tl y V, siendo los valores inferiores al límite de detección de las técnicas analíticas empleadas ($< 0,01$ mg/kg), que a su vez es inferior a los valores normativos de referencia establecidos para metales traza en los suelos.

El zinc es el único metal en el que se ha encontrado presencia tanto en 2024 como 2025. En 2025 vemos como se produce un aumento en todas las ciudades, teniendo un mayor incremento en ambos puntos de Coimbra. En cualquier caso, el valor mayor es de 52 mg/kg en Coimbra 1, estando aún muy lejos del límite establecido.

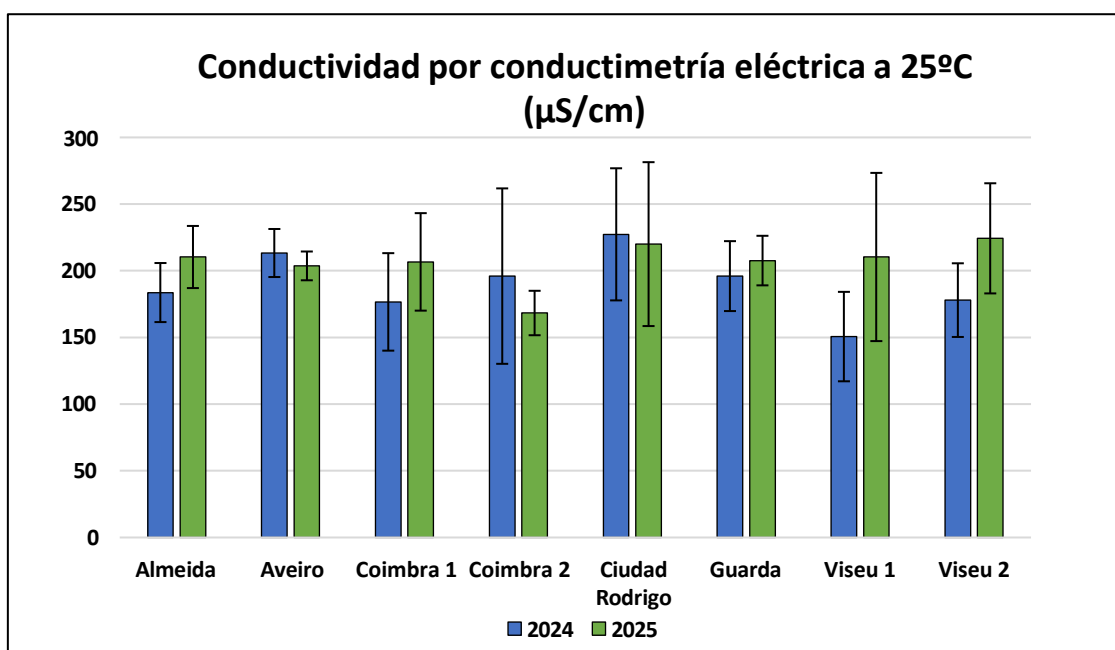
Para evaluar la existencia de riesgo inaceptable para la salud humana y medio ambiente de la concentración de metales en el suelo, se utilizarán los niveles genéricos de referencia (NGR) para metales pesado para salud humana y ecosistemas, regulados en normativas a nivel de Comunidades Autónomas. La Comunidad de Castilla y León no posee NGR autonómicos. Tomando los NGR más restrictivos de otras Comunidades Autónomas, observamos que para el zinc se establece un NGR de 250 mg/kg para uso residencial (NGR más restrictivo, establecido en la Ley 8/2019, de 19 de febrero, de residuos y suelos contaminados de las Illes Balears) y un NGR de 200 mg/kg para ecosistemas (NGR más restrictivo para ecosistemas, establecido en el Decreto 60/2009, de 26 de febrero sobre suelos potencialmente contaminados y procedimiento para la declaración de suelos contaminados de la Xunta de Galicia). Además, comparando con el contenido máximo en metales pesados en los suelos agrarios en los primeros 25 cm de profundidad, establecido Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre, por el que se establecen normas para la nutrición sostenible en los suelos agrarios, encontramos que el límite para suelos con $\text{pH} < 7$ es de 150 mg/kg y para suelos con $\text{pH} \geq 7$ es de 200. Las concentraciones de Zinc (45,9 mg/kg) de los suelos analizados de Ciudad Rodrigo se encuentran por debajo de ambos NGR y de los valores de nutrición sostenible en suelos agrarios.

En cuanto a la normativa de Portugal, se ha tomado lo establecido en la guía Solos Contaminados – Guia Técnico. Valores de Referência. para o Solo. Amadora, Janeiro de 2019 (Revisão 3 – Setembro de 2022). En el anexo 1. “Valores de referencia” establece en 290 mg/kg el límite para el zinc tanto en uso urbano/industrial/comercial en uso agrícola. Las concentraciones de Zinc de los suelos analizados en todas las ciudades portuguesas (rango 40,5 – 52,47 mg/kg) se encuentran por debajo de este valor límite.

Resumen final

Por tanto, todos los metales pesados analizados (As, Sb, Cd, Co, Cr (total), Cr (VI), Cu, Hg, Pb, Ni, Tl, V, Zn) se encuentran en concentraciones por debajo de los umbrales normativos, por lo que se puede afirmar que los suelos analizados no presentan un riesgo significado de contaminación por metales pesados, y no existe riesgo inaceptable para la salud humana y el medio ambiente derivado de la contaminación del suelo, tal como establece la Directiva Europea. Se recomienda monitorizar

3.2.6. Conductividad eléctrica



Gráfica 13: Conductividad por conductimetría eléctrica a 25°C por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La conductividad es la capacidad para conducir corriente eléctrica, en el caso del suelo, está relacionada con la salinidad.

En la gráfica se observa una variabilidad en los datos según las diferentes ubicaciones de muestreo. Las muestras con valores más altos representan una mayor concentración de sales en esos suelos, lo que afectaría a la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes.

La salinidad en el suelo es un problema que el cambio climático puede incrementar. Esto se puede dar por las temperaturas altas por el incremento de evaporación lo que daría lugar a una mayor concentración de sales en el suelo. Otro de los eventos climáticos que puede afectar son las sequías prolongadas y las inundaciones salinas, como por ejemplo la subida del nivel del mar.

La alta salinidad en suelo conlleva efectos negativos como la degradación de la estructura del suelo y su capacidad para retener agua y aire, lo que supone una reducción de la disponibilidad de agua en el suelo.

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, para monitorear la salinización del suelo, se ha analizado la conductividad eléctrica de las muestras de suelos.

Además, en el Anexo I parte A: descriptores del suelo con criterios de salud establecidos a escala de la Unión, de la propuesta de la Directiva Europea, se establece que, para controlar la salinización del suelo, el criterio de salud del suelo será una conductividad eléctrica $< 4 \text{ dS/m}$, cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición.

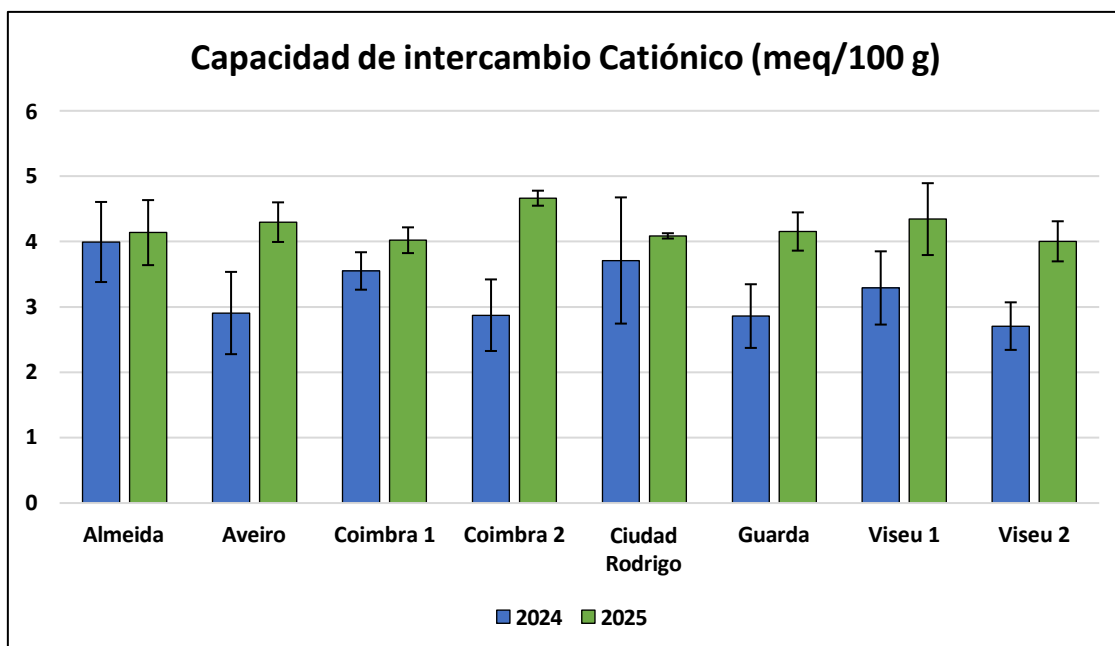
Observaciones

De las muestras analizadas por ciudades en 2025, la conductividad eléctrica de los suelos se encuentra en un rango de $150,6 - 227,3 \text{ } \mu\text{S/cm}$, situándose por debajo del límite de criterios de salud del suelo ($< 4 \text{ dS/m}$; esto es $< 4000 \text{ } \mu\text{S/cm}$) establecido en el Anexo I de la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo. Esto significa que la salinidad de los suelos sigue siendo baja, al igual que en la campaña de 2024. Comparando ambas campañas de muestreo, la conductividad no presenta cambios significativos, solo leves variaciones entre 2024 y 2025. Aunque en algunas ciudades hayan subido los valores de la conductividad, estos incrementos no son significativos y se encuentran muy alejados del criterio de salud del suelo.

Resumen final

- **Conductividad por debajo del límite máximo:** Valores de conductividad en ambas campañas bajos ($< 300 \text{ } \mu\text{S/cm}$), muy alejados del límite máximo establecido como criterio de salud del suelo. Por tanto, no hay evidencias de que pueda existir riesgo por salinidad, condición muy favorecedora de la resiliencia de los suelos.
- **Recomendación:** Se recomienda mantener el control, especialmente si se usan aguas residuales o fertilización intensiva en las zonas de estudio.

3.2.7. Capacidad de intercambio catiónico



Gráfica 14: Capacidad de intercambio Catiónico por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La CIC es una propiedad del suelo que indica la capacidad para retener cationes como calcio, magnesio, potasio y sodio.

Cuanto más alto sean los valores de CIC mayor capacidad para retener cationes tendrá el suelo, lo que conlleva una mayor fertilidad potencial en el suelo, mientras que una baja CIC conlleva una menor retención de nutrientes, mayor susceptibilidad a la erosión y una contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de nutrientes. Esto puede ser dado por algunos efectos del cambio climático como las lluvias ácidas y vientos fuertes lo que provocarían una acidificación del suelo y también la aceleración de la erosión del suelo.

En conclusión, la baja CIC puede aumentar la susceptibilidad del suelo a la degradación, mientras que una alta CIC contribuye a suelos fértiles productivos y resilientes.

Clasificación de CIC según rangos

- Muy baja: < 5
- Baja: 5 - 15
- Normal: 15 - 25
- Alta: 25 - 40
- Muy alta: > 40

Observaciones

Como podemos ver, los niveles de capacidad de intercambio catiónico han aumentado en 2025 respecto a 2024 en todas las ciudades, llegando a sobrepasar los 4 meq/100 g, y siendo Coimbra 2 la ciudad en la que más se puede apreciar el crecimiento, pasando de ser en 2024 de las que

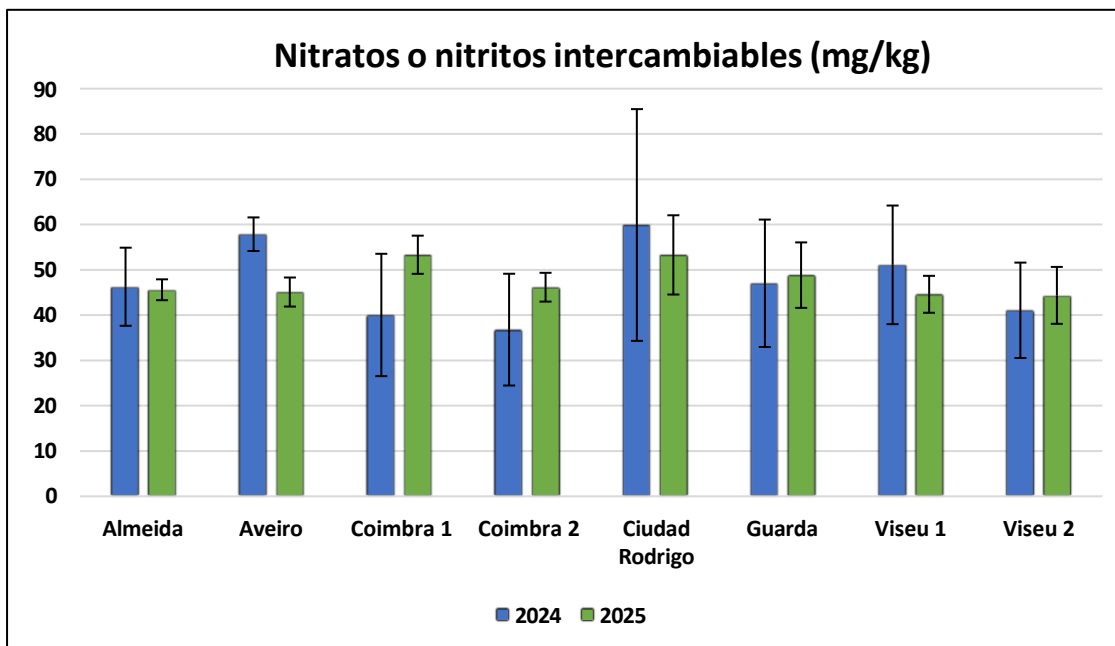
menos capacidad de intercambio catiónico a la que más tiene en 2025. Aun así, los suelos de todas las ciudades se clasifican como una concentración muy baja de CIC (< 5 meq/100 g). Hay que tener en cuenta, que el tipo de suelo es un factor que influye en los valores de la capacidad de intercambio catiónico. Los suelos arenosos, como son los suelos analizados, tienden a tener valores de CIC más bajos (1-5 meq/100 g), mientras que los suelos arcillosos suelen tener valores más altos (15-30 meq/100 g o mayores).

La baja capacidad de intercambio catiónico en los suelos del área muestreada limita la retención de nutrientes esenciales, lo que afecta el crecimiento de las plantas y reduce la biodiversidad, disminuyendo así la resiliencia del ecosistema. Además, esta condición se traduce en una menor capacidad para retener agua, lo que aumenta la escorrentía y la pérdida de nutrientes, y hace que los suelos sean más vulnerables a la erosión, lo que puede llevar a la pérdida de la capa superior del suelo. Asimismo, la baja CIC reduce la capacidad del suelo para adaptarse a cambios climáticos y disminuye su capacidad de almacenamiento de carbono, comprometiendo su salud y su habilidad para enfrentar los desafíos del cambio climático.

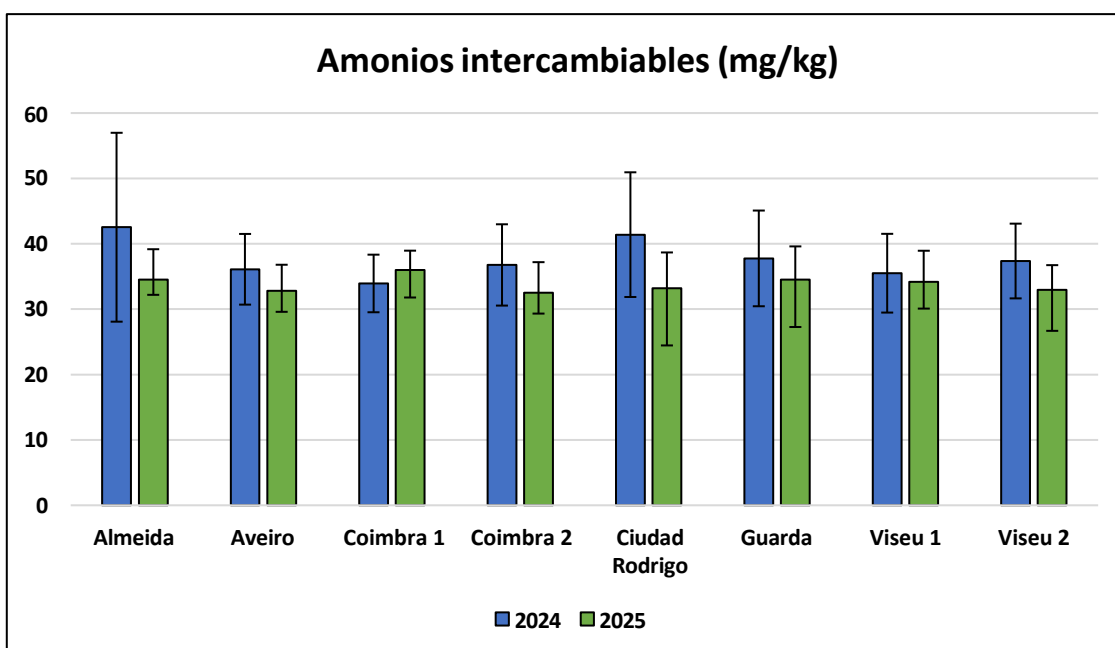
Resumen final

- **Capacidad de intercambio catiónico muy baja:** Se han obtenido en todos los suelos analizados concentraciones muy bajas de CIC (< 5 meq/100 g), característico de suelos arenosos, como son los suelos analizados.
- **Recomendación:** Para reducir los efectos de un suelo con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y mejorar su resiliencia frente al cambio climático, es fundamental aumentar la materia orgánica mediante la incorporación de compost, estiércol o residuos vegetales, lo que mejora la retención de nutrientes. Aplicar enmiendas como arcillas (por ejemplo, bentonita). Mantener monitoreo para controlar la tendencia de los niveles de CIC.

3.2.8. Amonios intercambiables



Gráfica 15: Nitratos o nitritos intercambiables por punto de muestreo, campaña 2024-2025.



Gráfica 16: Amonios intercambiables por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Nitratos intercambiables

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

Los nitratos son esenciales para la nutrición vegetal, lo que mejora el aporte de materia orgánica en el suelo y reduce el riesgo de degradación y erosión de los mismos. Sin embargo, su alta movilidad los convierte en vulnerables a las pérdidas por lixiviación, lo que podría reducir la fertilidad del suelo y afectar la producción agrícola. Además, un exceso de nitratos en el suelo debido al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados puede contaminar por lixiviación las aguas superficiales y subterráneas por eutrofización, además de aumentar las emisiones de óxido nítrico, un potente gas de efecto invernadero. Un manejo adecuado de los nitratos es fundamental para mantener la resiliencia del suelo ante lluvias irregulares o la reducción de la cubierta vegetal, común en periodos de sequía.

El aumento de los nitritos es un indicativo de un desequilibrio en los ciclos del nitrógeno y puede ser tóxico tanto para las plantas como para los microorganismos. Este compuesto tiende a acumularse en suelos que sufren cambios repentinos en su estructura o en su capacidad de drenaje, algo que puede empeorar con las alteraciones del clima. La acumulación de nitritos puede disminuir la resiliencia del suelo al afectar negativamente a la microbiota del suelo, reduciendo su capacidad para regenerar nutrientes de forma eficiente.

- **Déficit de Nitratos:**
 - Degradación y erosión
 - Reducción de la materia orgánica
 - Impacto en la estructura del suelo
- **Exceso de Nitratos:**
 - Contaminación de aguas
 - Eutrofización
 - Emisiones de gases de efecto invernadero
 - Impacto en la estructura del suelo

Clasificación de nitratos según rangos

- Bajo: < 10 mg/kg
- Medio: 10 - 30 mg/kg
- Altos: > 30 mg/kg

Observaciones

Respecto a los nitratos, encontramos una homogenización en los suelos de 2025 respecto a 2024, registrándose pequeñas fluctuaciones de los valores, siendo las ciudades que experimentan leves disminuciones Almeida, Aveiro, Ciudad Rodrigo y Viseu 1, mientras que los que registran pequeños incrementos son Coimbra 1 y 2, Guarda y Viseu 2. Tratándose todos ellos de suelos con altos niveles de nitratos (> 30 mg/kg). Esto indica que se tratan de suelos con una alta disponibilidad de nitrógeno, lo que puede ser beneficioso para el crecimiento de las plantas a corto plazo y ayudará a reducir la degradación y erosión de los suelos, y aportando

materia orgánica y aumentando la biomasa microbiana. Sin embargo, estos suelos pueden ser menos resilientes a largo plazo, debido al mayor riesgo de lixiviación de nitratos, especialmente en eventos de lluvia intensa, con su riesgo potencial de contaminación de aguas subterráneas. Además del posible desequilibrio que se puede causar en la relación carbono-nitrógeno, lo que puede afectar a la actividad microbiana. Con la disminución de Ciudad Rodrigo y Aveiro se estabiliza más la relación carbono-nitrógeno.

Resumen final

Suelos con altos niveles de nitrato en todas las ciudades analizadas. Realizar prácticas que busquen disminuir la elevada concentración de nitrógeno, como equilibrar los nutrientes especialmente con leguminosas, que fijan nitrógeno de forma natural, y especies que demanden más nitrógeno, ayudando a reducir su exceso, incorporar materia orgánica, controlar el riego, reducir uso de productos nitrogenados y aplicar enmiendas como el compost equilibrado. Mantener monitoreo para controlar la tendencia de la concentración de nitratos.

Amonios intercambiables

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

El amonio puede acumularse en el suelo en condiciones de baja disponibilidad de oxígeno o cuando el suelo está saturado de agua (por ejemplo, tras lluvias torrenciales), algo que podría volverse más común con el cambio climático. Un exceso de amonio en suelos mal gestionados puede ser tóxico para las plantas y afectar la biodiversidad microbiana. Sin embargo, en condiciones adecuadas, el amonio ayuda a mantener la fertilidad del suelo. En estos casos, suelos con niveles altos de amonio (> 20 mg/kg) son un buen indicador de fertilidad del suelo, adecuado para la producción agrícola, tienen una mayor capacidad para sostener el crecimiento de las plantas sin necesidad de fertilización adicional y son más resilientes a corto plazo frente a eventos climáticos extremos, ya que las plantas tienen acceso inmediato a nutrientes esenciales. En cambio, suelos con bajos niveles de amonio (< 5 mg/kg) son suelos con bajo contenido de nitrógeno disponible, lo que provoca que tiendan a ser suelos menos fértiles. Son menos resilientes frente a eventos climáticos extremos, ya que las plantas pueden sufrir estrés nutricional más fácilmente.

Clasificación de amonios según rangos

- Bajo: < 10 mg/kg
- Medio: $10 - 50$ mg/kg
- Altos: > 50 mg/kg

Observaciones

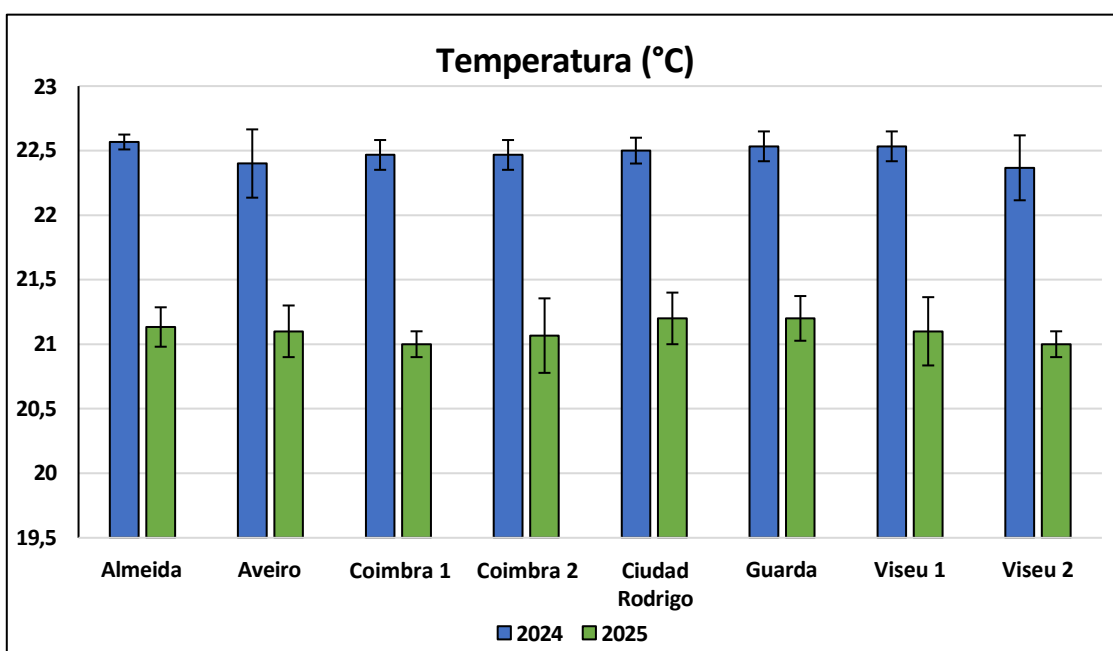
En los resultados de la presente campaña 2025, se han obtenido concentraciones de potasio que abarcan un rango desde $33,93$ mg/kg (Coimbra 1) hasta $42,53$ mg/kg (Almeida), encontrándose todas las ciudades, dentro del rango medio ($10 - 50$ mg/kg), lo que indica una concentración moderada de amonio, generalmente adecuado para el crecimiento de la mayoría de las plantas sin causar problemas de toxicidad. En términos de resiliencia, este rango permite una buena actividad microbiana y un ciclo de nitrógeno equilibrado en el suelo.

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025, se puede apreciar una leve disminución en 2025 respecto a 2024, exceptuando Coimbra 1 que registra un ligero incremento, aunque se trata de un incremento no significativo. Todas las ciudades se encuentran en ambas campañas dentro del rango medio de contenido de amonio.

Resumen final

Se recomienda mantener el monitoreo para evitar deficiencias y excesos, favoreciendo los valores medios actuales para optimizar la adaptación al cambio climático. Mantener buenas prácticas, evitar excesos por contaminación.

3.2.9. Temperatura



Gráfica 17: Temperatura por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La temperatura es un indicador del impacto del cambio climático en ecosistemas.

Los efectos del cambio climático pueden incrementar la temperatura del suelo de manera negativa con una mayor pérdida de carbono orgánico, una alteración de la actividad microbiana (alterando la velocidad de los procesos de descomposición y absorción de nutrientes) y, si esta subida de temperatura en el suelo se combina con una disminución de las precipitaciones, el estrés hídrico en las plantas se puede intensificar, alterando la estructura del ecosistema y afectando la resiliencia del suelo ante eventos climáticos extremos.

Un rango de temperatura óptimo (10-24°C) favorece el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas, mantiene un equilibrio en los procesos bioquímicos y biofísicos del suelo, permite

una actividad microbiana balanceada, contribuyendo a la fertilidad del suelo y facilita la absorción de agua y nutrientes por las plantas.

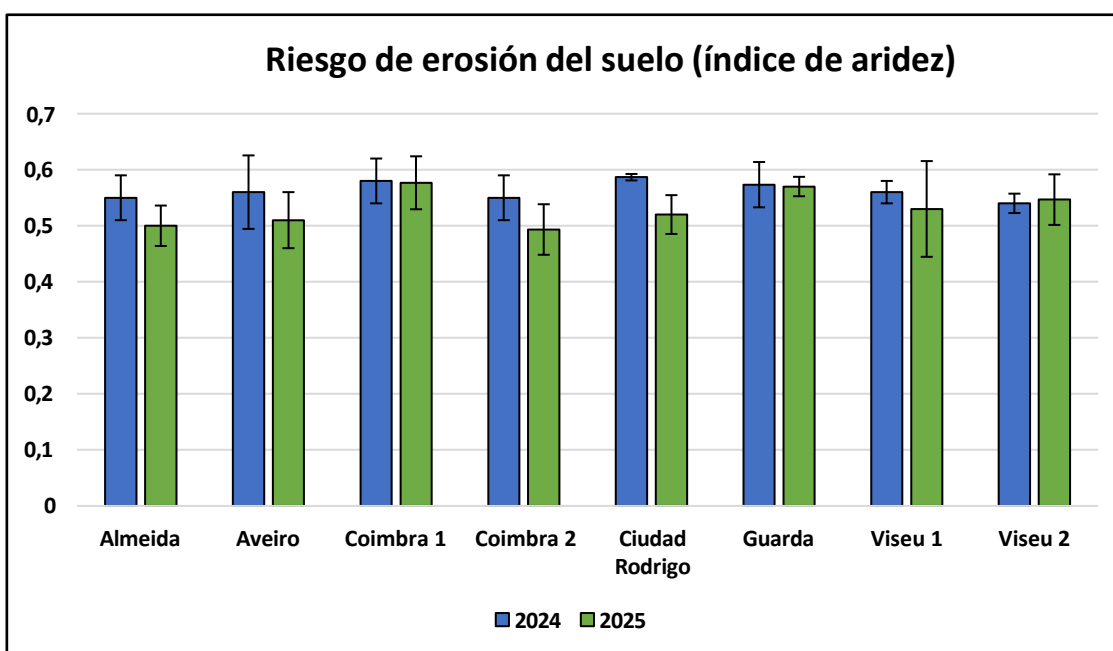
Clasificación de temperatura según rangos

- Temperatura baja: < 10 °C
- Temperatura óptima: 10 – 24 °C
- Temperaturas extremas: > 24 °C

Observaciones

Los valores de temperatura observados en la gráfica se encuentran en un rango muy estrecho, lo que significa que las condiciones son relativamente homogéneas en términos de temperatura. De las muestras analizadas por ciudades en 2025 están comprendidas entre 21-21,2°C por lo que nos encontramos dentro del rango de la temperatura óptima (10-24°C). Esto favorece a la fertilidad y a la resiliencia ante los efectos del cambio climático.

3.2.10. Erosión del suelo (índice de aridez)



Gráfica 18: Riesgo de erosión del suelo (índice de aridez) por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

El riesgo de erosión puede aumentar por varios factores climáticos, como por ejemplo un aumento en la intensidad y frecuencia de lluvias torrenciales lo que puede saturar los suelos, el aumento de sequías prolongadas y aumento de temperatura que acelera la descomposición de materia orgánica del suelo, reduciendo así la protección del suelo frente a la erosión.

Para cuantificar el riesgo de erosión, se ha utilizado el cálculo del índice de aridez (IA) del PNUMA, que es un valor numérico que indica la relación entre la precipitación anual (P) y la

evapotranspiración potencial (ETP), permitiendo determinar el grado de escasez o abundancia de agua para el desarrollo de la vegetación. Fórmula del Índice de Aridez de la FAO (AI): $AI = P / PET$.

Por tanto, cuanto más elevado sea el índice de aridez, significa que el suelo es más húmedo y el riesgo de erosión es más bajo y eso indica un suelo más saludable y con mayor resiliencia frente a los efectos del cambio climático. Por el contrario, valores más bajos del índice, indican condiciones áridas o semiáridas, donde el riesgo de erosión es alto y la resiliencia de los suelos frente a condiciones adversas es más baja.

El índice de aridez es una herramienta importante para entender la distribución de los recursos hídricos y la adaptación de los ecosistemas a diferentes condiciones climáticas. Permite identificar zonas con riesgo de sequía, planificar el uso del agua y diseñar estrategias de manejo de los recursos naturales.

Clasificación del índice de aridez según rangos

- Hiper-árida: ($IA < 0.03$):
- Árida: ($0.03 \leq IA < 0.2$):
- Semiárida: ($0.2 \leq IA < 0.5$):
- Subhúmedo seco: ($0.5 \leq IA < 0.65$):
- Subhúmedo húmedo: ($0.65 \leq IA < 0.75$):
- Húmedo: ($IA > 0.75$):

Observaciones

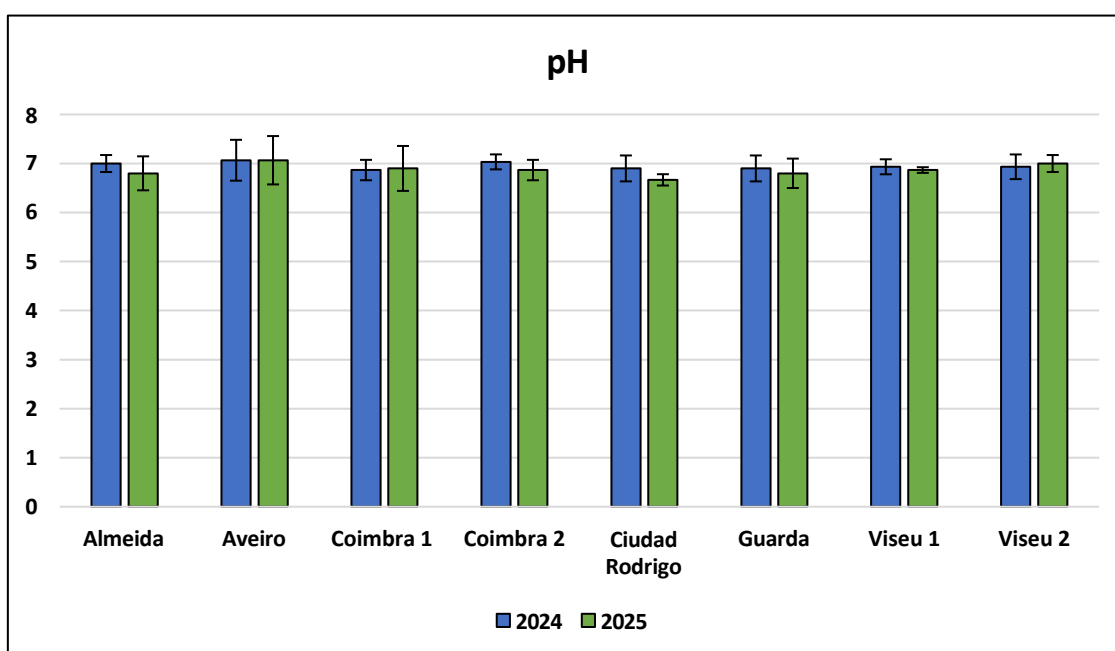
La gráfica muestra valores del índice de aridez del suelo según la localización. En los resultados de la presente campaña 2025, observamos que, para todas las ciudades analizadas, los índices de aridez se encuentran comprendidos en un rango de 0,49 - 0,58 sin llegar a superar el 0,65 en ninguno de los casos, encontrándose todas las ciudades en el rango subhúmedo seco (excepto Coimbra punto 2 que al presentar un índice de aridez de 0,49 se encuentra en el límite entre suelo semiárido y subhúmedo seco. Un suelo subhúmedo seco (índice de erosión comprendido entre 0,5-0,65) presenta una mayor diversidad y cobertura vegetal en comparación con índices más bajos, ecosistemas más resilientes, pero algo susceptibles a los periodos de sequía.

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025 se observa como en la mayoría de los casos ha habido una disminución del índice de aridez en todas las ciudades, excepto en Viseu 2 que hay un ligero aumento, prácticamente despreciable. El caso más destacable, es el de Coimbra punto 2, que pasa desde 0,55 en 2024 a 0,49 en 2025, pasando de la categoría de suelo subhúmedo seco a semiárido. El resto de las ciudades, tanto en la campaña 2024 como en la de 2025 se encuentran catalogadas como suelo subhúmedo seco. Las ciudades que presentan un menor índice de aridez tanto en 2025 como en 2024 son Coimbra punto 2 y Almeida, y la ciudad con un mayor índice de aridez la encontramos en Ciudad Rodrigo (0,59) y Coimbra 1 (0,58) en 2024 y en 2025 el mayor índice de aridez se encuentra en Coimbra punto 1 (0,58) y en Guarda (0,57).

Resumen final

- **Tendencia negativa:** Se observa una disminución del Índice de Aridez del 2024 al 2025 en todas las ciudades, excepto en Viseu 2. Los resultados obtenidos en 2024 y 2025 se encuentran en el rango de 0,49 - 0,58 correspondiendo a un suelo subhúmedo seco (excepto Coimbra punto 2 que se encuentra en el límite entre suelo semiárido y subhúmedo).
- **Recomendación:** Para actuar previamente para evitar el avance de la aridez y garantizar la estabilidad futura del ecosistema suelo, se recomienda llevar a cabo un enfoque multifactorial: incremento de materia orgánica, optimización de prácticas agrícolas, control de erosión y fomento de la vegetación son esenciales para mantener —o incluso elevar— la resiliencia edáfica ante el cambio climático. La acción temprana y sostenida es la mejor garantía para que el IA no siga descendiendo y que los suelos conserven su función productiva y ecológica en el futuro.

3.2.11. pH



Gráfica 19: pH por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

El pH es un factor crucial que afecta de manera directa a la fertilidad del suelo. El pH influye en la solubilidad de los nutrientes en el suelo, puede alterar la actividad microbiana e incluso un cambio de pH afecta a la estructura del suelo y en el aumento de elementos tóxicos para las plantas como el manganeso.

Los cambios de pH pueden darse por varios factores entre ellos la lluvia ácida ya que los ácidos provenientes de la contaminación atmosférica pueden acidificar los suelos, aumentos de temperatura ya que pueden acelerar los procesos de descomposición de materia y eso afectar al pH y un aumento en la frecuencia e intensidad de las lluvias puede llevar a una lixiviación y conllevar cambios de pH. Estos cambios de pH pueden alterar la estructura del suelo afectando negativamente a la aireación, el drenaje y la retención de agua.

Un pH entre 6-7,5 es igual a un suelo saludable y equilibrado, siendo más resilientes frente a fenómenos como la salinización o la acidificación debida al cambio climático, mientras que en pH ácidos o alcalinos el suelo es menos resiliente ante eventos climáticos extremos, ya que puede limitar el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana, afectando la capacidad del suelo para soportar eventos climáticos extremos.

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, en la Parte C: descriptores del suelo sin criterios, para monitorear la degradación del suelo por acidificación, se ha analizado la acidez del suelo (pH).

Clasificación de pH según rangos

- pH < 6 (ácido): deficiencia de nutrientes, y ser propenso a la lixiviación de cationes.
- pH entre 6 y 7,5: ideal para la mayoría de los cultivos y actividad biológica, suelo saludable y equilibrado.
- pH > 7,5 (alcalino): precipitación de nutrientes, lo que puede dificultar su disponibilidad para las plantas.

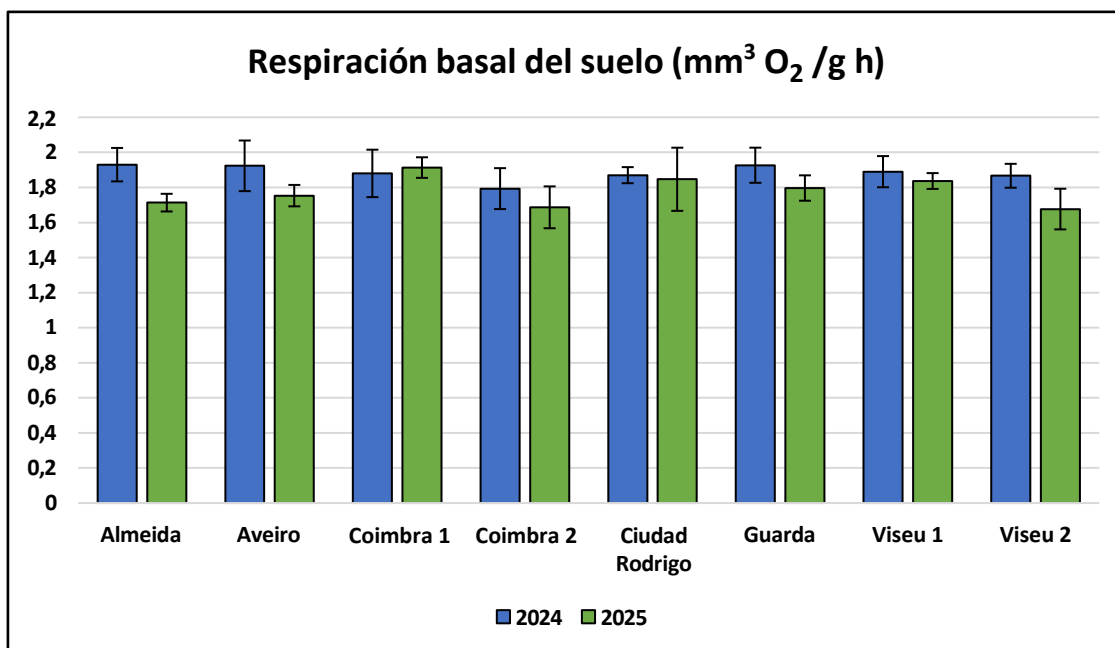
Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025 se han obtenido valores de pH que abarcan un rango entre pH 6,67 – 7,07 encontrándose todas las ciudades en un rango de pH de valores óptimos (6-7,5), siendo este un rango prácticamente igual al de 2024, donde los valores se han mantenido constantes, sin variaciones apreciables. Este rango óptimo de pH favorece la resiliencia del suelo frente al cambio climático de varias maneras. Primero, facilita la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, lo que promueve un crecimiento saludable y una vegetación robusta, capaz de soportar condiciones climáticas extremas. Además, un pH adecuado favorece la actividad biológica en el suelo, incluyendo microorganismos que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y la formación de humus, mejorando la estructura del suelo y su capacidad de retención de agua. Esto, a su vez, ayuda a prevenir la erosión y a mantener la salud del ecosistema. En resumen, un pH cercano a 7 apoya un suelo más fértil, saludable y resistente a las variaciones climáticas.

Resumen final

- **Valores óptimos:** Se observa una estabilidad en los valores de pH del 2024 al 2025 en todas las ciudades, encontrándose en un rango óptimo de pH (6-7,5), lo que propicia una condición óptima para disponibilidad de la mayoría de nutrientes esenciales
- **Recomendación:** Mantener el monitoreo para controlar los valores ideales y evitar desequilibrios.

3.2.12. Respiración basal



Gráfica 20: Respiración basal del suelo por punto de muestreo, campaña 2024-2025.

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

La respiración basal del suelo es un indicador de la actividad biológica en el suelo. Representa la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos del suelo a descomponer la materia orgánica.

El aumento de temperatura hace que aumente la respiración basal; sequías o inundaciones pueden alterar la humedad del suelo, lo que altera la actividad microbiana y por ende la respiración basal; los cambios de la composición de la materia orgánica del suelo también influyen en la respiración basal.

Muchos factores influyen en la respiración basal, temperatura, humedad, aireación, etc. Una baja respiración basal del suelo puede afectar al equilibrio del suelo con una baja diversidad y una degradación del suelo. Por el contrario, una mayor respiración basal indica una alta biodiversidad en el suelo y eso mejora la capacidad del suelo de soportar los efectos de cambio climático como las sequías.

Criterios de salud del suelo según Anexo I de la propuesta de la Directiva

Tal como establece la Directiva Europea del Parlamento y del Consejo relativa a la vigilancia y la resiliencia del suelo, en la Parte C: descriptores del suelo sin criterios, para monitorear la degradación del suelo por pérdida de biodiversidad, se ha analizado la respiración basal del suelo ($\text{mm}^3 \text{O}_2 / \text{g h}$) en suelo seco.

Clasificación de contenido de respiración basal según rangos

- Niveles bajos: ($< 0,5 \text{ mm}^3 \text{O}_2 / \text{g h}$)

- Niveles normales: (0,5 – 1,5 mm³ O₂/g h)
- Niveles altos: (> 1,5 mm³ O₂/g h)

Observaciones

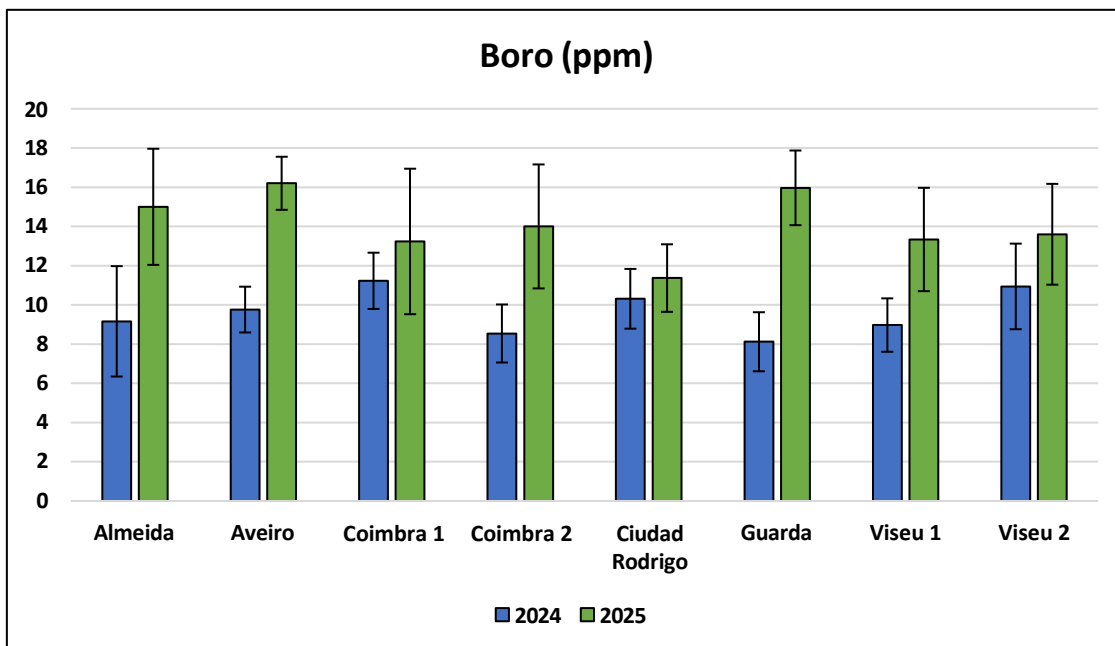
En los resultados de la presente campaña 2025, observamos que la tasa de respiración es relativamente similar entre las diferentes ciudades donde se han tomado las muestras, encontrándose todas en un rango comprendido entre 1,66 – 1,91 mm³ O₂/g h, lo que indica que todos los puntos se encuentran dentro de los niveles altos de respiración basal (> 1,5 mm³ O₂/g h).

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025, observamos ligeros descensos en la respiración basal en todas las ciudades, excepto en Coimbra 1, que experimenta un pequeño incremento. Aun así, tanto en 2025 como en 2024, todas las ciudades se encuentran en el rango de niveles altos de respiración basal. Estos valores indican suelos con altos niveles de respiración basal (>1,5 mm³ O₂/g h), lo cual, es indicador de suelo saludable, con alta actividad microbiana y buena capacidad para regenerarse, lo que generalmente se asocia con suelos fértiles y ricos en materia orgánica. Pueden ser muy resilientes a corto plazo, ya que la comunidad microbiana activa puede responder rápidamente a cambios ambientales. Sin embargo, tasas muy altas de respiración pueden indicar una descomposición acelerada de la materia orgánica, lo que podría no ser sostenible a largo plazo.

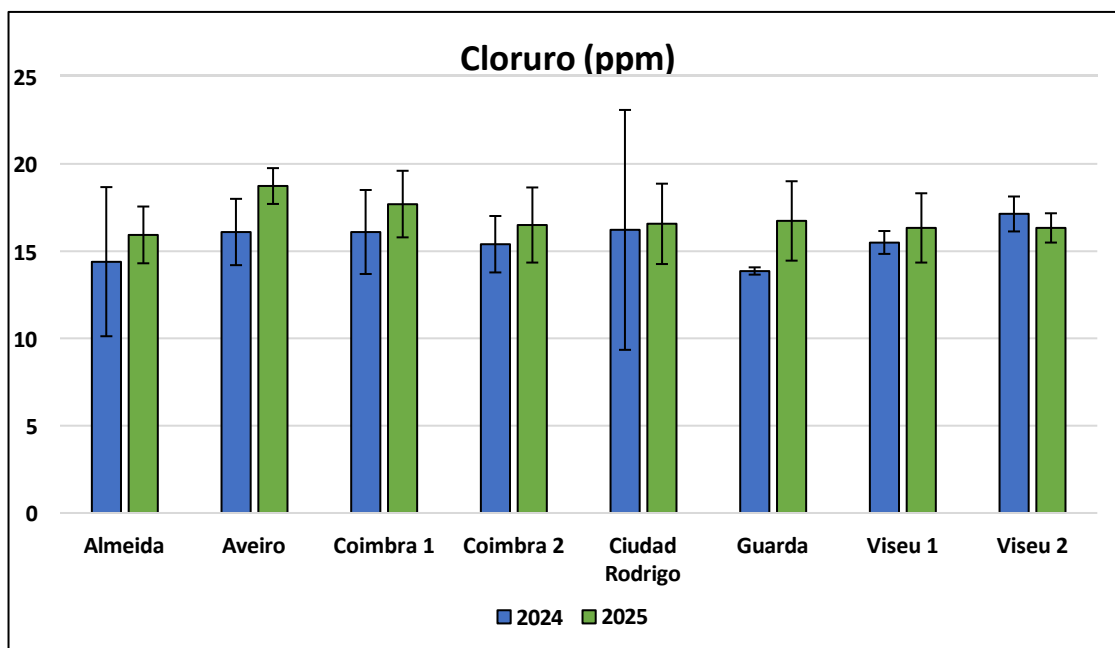
Resumen final

- **Valores óptimos:** Los valores encontrados en todas las ciudades en la campaña 2024 y 2025 se encuentran dentro de los niveles altos de respiración basal (> 1,5 mm³ O₂/g h), lo que es indicador de suelos saludables. Sin embargo, se registra una pequeña tendencia negativa de 2024 a 2025, al registrarse ligeros descensos en casi todas las ciudades.
- **Recomendación:** Mantener el monitoreo para controlar los valores ideales y evitar desequilibrios.

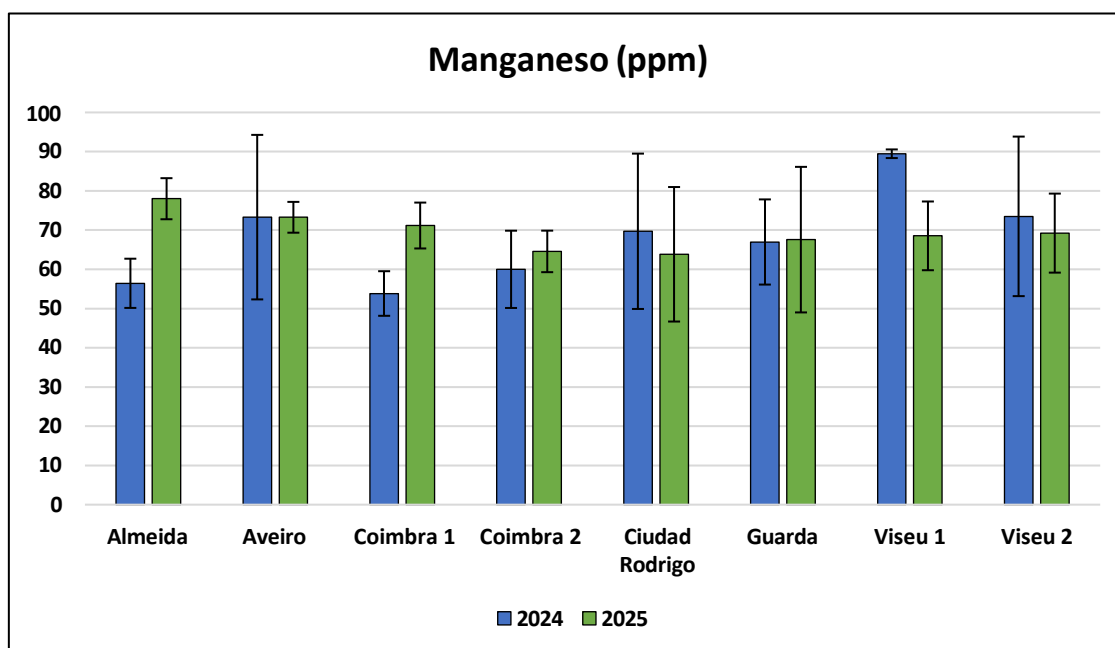
4.1.15 Parámetros Adicionales (Boro, Cloruros y Manganeseo).



Gráfica 21: Boro por punto de muestreo, campaña 2024-2025.



Gráfica 22: Cloruros por punto de muestreo, campaña 2024-2025.



Gráfica 23: Manganeso por punto de muestreo, campaña 2024-2025

En la gráfica se ven representados 3 parámetros: el manganeso, el cloruro y el boro. Se puede observar que el manganeso presenta las concentraciones más elevadas, mientras que el cloruro y el boro tienen valores más bajos y similares entre sí.

Los eventos climáticos extremos, como las sequías e inundaciones, que se darán con más frecuencia e intensidad a consecuencia de los efectos del cambio climático, pueden afectar a estos parámetros de diferente manera, afectando a su concentración en las capas superficiales, promoviendo la lixiviación de estos elementos sobre todo en suelos con baja capacidad de retención y también puede afectar a la solubilidad y disponibilidad de estos mismos parámetros para las plantas.

Boro

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

El boro es esencial a nivel celular para las plantas. Tanto la deficiencia como el exceso de boro afecta negativamente a las plantas y a la productividad del suelo. El aumento de las temperaturas conlleva una mayor disponibilidad del boro en el suelo, lo que puede provocar altas concentraciones de boro. Esto puede llegar a ser tóxico para muchas especies de plantas, especialmente en condiciones de estrés térmico. Afecta negativamente los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, lo que podría reducir su resiliencia y capacidad para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes. En cambio, bajas concentraciones, pueden reducir la capacidad de las plantas para crecer y desarrollarse adecuadamente, lo que podría disminuir su resistencia a condiciones climáticas extremas y afectar negativamente los procesos fisiológicos y metabólicos de las plantas, lo que podría limitar su adaptabilidad a cambios en el clima y puede reducir la biodiversidad vegetal al afectar a especies sensibles a la deficiencia de boro, disminuyendo la resiliencia general del ecosistema.

Clasificación de contenido de boro según rangos

- Bajas concentraciones: < 2 ppm
- Concentraciones normales: 7 – 80 ppm
- Altas concentraciones: > 2000 ppm

Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025 se han obtenido concentraciones de boro que abarcan un rango desde los 11,37 hasta los 16,2 ppm, por lo que podemos clasificar estos suelos como suelos con concentraciones normales de boro (7-80 ppm). Este rango representa una concentración adecuada de boro para la mayoría de los suelos. La resiliencia del suelo es buena, ya que puede mantener un equilibrio saludable para el crecimiento de las plantas sin riesgo de toxicidad.

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025 vemos como en todos los casos ha habido un incremento de la concentración de boro en todas las ciudades, pasando de un rango desde los 8,12 – 11,22 ppm en 2024, hasta los 11,37 – 16,2 ppm en 2025. Aun así, se siguen manteniendo dentro de los niveles normales.

Resumen final

- **Tendencia positiva:** Se observa un incremento del contenido de boro del 2024 al 2025 en todas las ciudades. Los resultados obtenidos, tanto en 2024 como 2025 se encuentran dentro de los niveles de concentración normal para boro, lo que indica una concentración adecuada de boro para la mayoría de los suelos, que mejora la resiliencia del suelo.
- **Recomendación:** Mantener el monitoreo para controlar los valores ideales y evitar desequilibrios.

Cloruro

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

El aumento de concentraciones de cloruro en el suelo puede deberse al uso de fertilizantes, aguas residuales y salinización de suelos costeros debida a la evaporación. Los altos niveles de cloro indican alta salinidad, afectando al crecimiento de las plantas, reduciendo la germinación de las semillas e incluso inhibiendo el crecimiento de las raíces, lo que reduce la productividad del suelo. La resiliencia del suelo puede verse afectada negativamente, especialmente para cultivos sensibles a la sal. Bajos niveles de cloruros indican suelos con baja salinidad, que por lo general son suelos más resilientes y adecuados para una amplia variedad de cultivos. Tienen menor riesgo de problemas relacionados con la salinidad.

Clasificación de contenido de cloruro según rangos

- Bajos niveles: < 10 ppm
- Niveles normales: 10 – 100 ppm
- Altos niveles: > 100 ppm

Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025 se han obtenido concentraciones de cloruro que abarcan un rango desde los 15,9 hasta los 18,7 ppm, por lo que podemos clasificar estos suelos como suelos con niveles normales de cloruros (10-100 ppm). Estos suelos representan concentraciones típicas en suelos agrícolas, suelen ser resilientes y adecuados para la mayoría de los cultivos y además mantienen un buen equilibrio entre la disponibilidad de nutrientes y la salinidad.

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025 vemos como en todos los casos ha habido un ligero incremento de la concentración de cloruros en todas las ciudades, excepto en Viseu 2 que se registra un pequeño descenso. Aun así, ambas campañas se siguen manteniendo dentro de los niveles normales de cloruros.

Resumen final

- **Niveles óptimos:** Se observa un ligero incremento del contenido de cloruros del 2024 al 2025 en todas las ciudades, excepto en Viseu 2. Los resultados obtenidos, tanto en 2024 como 2025 se encuentran dentro de los niveles de concentración normal para cloruro, lo que indica una concentración adecuada de cloruro para la mayoría de los suelos, que mejora la resiliencia del suelo y es adecuado para la mayoría de los cultivos.
- **Recomendación:** Mantener el monitoreo para controlar los valores ideales y evitar desequilibrios.

Manganeso

Implicaciones para la resiliencia y adaptación al cambio climático

Aunque el manganeso sea un elemento esencial para la fotosíntesis y la salud de las plantas, en altos niveles puede interferir en la absorción de otros nutrientes esenciales, lo que provoca deficiencias nutricionales en las plantas e incluso llegando a una degradación de la estructura del suelo. Las sequías hacen que el manganeso se concentre en las capas superficiales, mientras que cuando hay inundaciones genera una lixiviación del manganeso hacia las aguas subterráneas. Los cambios de usos de suelo como deforestación hacen que el manganeso pueda aumentar su concentración en el suelo. Una baja concentración de manganeso tampoco es positiva ya que afecta a la capacidad fotosintética de las plantas y eso puede generar una mayor susceptibilidad a la erosión del suelo, disminuyendo la producción de materia orgánica y afectando negativamente la estructura y fertilidad del suelo a largo plazo.

Clasificación de contenido de manganeso según rangos

- Bajas concentraciones: < 40 ppm
- Concentraciones normales: 40 – 200 ppm
- Altas Concentraciones: > 200 ppm

Observaciones

En los resultados de la presente campaña 2025 se han obtenido concentraciones de manganeso que abarcan un rango desde los 63,8 hasta los 78 ppm, por lo que podemos clasificar estos suelos como suelos con concentraciones normales de manganeso (40-200 ppm), que

representan una disponibilidad adecuada de manganeso para la mayoría de los cultivos. Estos suelos tienden a ser más resilientes, ya que pueden sostener una actividad microbiana saludable y un crecimiento vegetal óptimo. Además, permiten una mejor adaptación a cambios ambientales, manteniendo funciones ecosistémicas importantes.

Comparando ambas campañas de muestreo, de las muestras analizadas por ciudad de 2024 y 2025 vemos como este parámetro sufre algunas pequeñas variaciones, registrando ligeros incrementos o descensos por ciudades, aunque se mantiene estable y dentro de los niveles normales de manganeso en los dos años analizados.

Resumen final

- **Valores óptimos:** Los valores encontrados en todas las ciudades en la campaña 2024 y 2025 se encuentran dentro de las concentraciones normales de manganeso.
- **Recomendación:** Mantener el monitoreo para controlar los valores ideales y evitar desequilibrios.

4. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN

Una vez analizados cada parámetro, se ha diseñado una serie de propuestas que mitiguen las posibles problemáticas en aquellos que se encuentren en concentraciones perjudiciales para la resiliencia del suelo.

En función de cada parámetro las medidas serán las siguientes:

Carbono total

Dado que en la zona de estudio se ha observado una tendencia negativa del **contenido de carbono orgánico** (por debajo de 1%), esto apunta a una pérdida de resiliencia del suelo y a una mayor vulnerabilidad ante procesos de desertificación y erosión. El descenso en el carbono orgánico es especialmente crítico: su evidencia en todos los puntos, indica una degradación del suelo y una disminución de su capacidad de responder al cambio climático, disminuyendo la capacidad de almacenamiento de carbono y aumento de la vulnerabilidad a la erosión.

Para mitigar los efectos de un suelo con bajo porcentaje de carbono y mejorar su resiliencia frente al cambio climático, es clave aumentar el contenido de materia orgánica mediante la incorporación de residuos vegetales, estiércol o compost. La agricultura de conservación, como la siembra directa, también ayuda a retener carbono y mejorar la estructura del suelo. Restaurar áreas degradadas con vegetación nativa, gestionar eficientemente el riego y promover la biodiversidad del suelo son acciones que fortalecen su capacidad de adaptarse a condiciones climáticas cambiantes. Estas medidas contribuyen a mejorar la fertilidad y la resiliencia del suelo a largo plazo.

- **Medidas Recomendadas**

- 1. Aportar materia orgánica de forma regular**

- **Mantener y aumentar la hojarasca y residuos vegetales** en el suelo, evitando su limpieza exhaustiva para favorecer la acumulación de carbono y la mejora de la estructura del suelo.
- **Incorporar regularmente compost y mulching orgánico** a base de restos vegetales urbanos (hojas, restos de poda, residuos de jardinería), que aportan carbono fácilmente estabilizable.
- En zonas forestales periurbanas, **conservar el suelo desnudo sin alteraciones** para conservar procesos naturales de acumulación de carbono.

- 2. Fomentar la cubierta vegetal permanente y diversa**

- **Mantener cobertura permanente** con césped, mulching (acolchado) orgánico, o en su defecto restos vegetales, arbustos y árboles con una buena cobertura para proteger el suelo de la radiación, evaporación externa y de la erosión, para evitar la pérdida directa de materia orgánica y aportar raíces y residuos a largo plazo.
- **Potenciar la revegetación y reforestación** en áreas marginales con especies autóctonas adaptadas, que generen biomasa de forma constante, aumentando así la recarga de carbono y la retención hídrica. Además, las

especies que poseen raíces profundas (por ejemplo árboles y arbustos autóctonos) mejoran la estructura y retención de carbono.

3. Optimizar el manejo hídrico

- **Mejorar la infiltración de agua** promoviendo la estructura del suelo con raíces vivas y materia orgánica.
- **Implementar estrategias de captación y retención de agua** en parcela (micropresas, zanjas de infiltración, terrazas, etc.).
- **Ajustar los riegos en función de la cobertura vegetal y el estado del suelo**, evitando encharcamientos y erosión secundaria.

4. Minimizar la perturbación del suelo

- **Reducir o eliminar labores que remuevan o compacten el suelo**, ya que estas aceleran la oxidación del carbono orgánico y la degradación de la estructura.
- **Limitar el tránsito de maquinaria pesada o peatones en zonas sensibles** para evitar compactación y pérdida de materia orgánica.

5. Mejorar las condiciones microambientales para la calidad biológica del suelo

- **Incrementar la humedad del suelo a través de técnicas como riego eficiente, mantillo o cobertura orgánica**, lo que favorece la actividad microbiológica responsable de estabilizar el carbono.
- **Facilitar la actividad de lombrices y microorganismos beneficiosos mediante la aplicación selectiva de enmiendas orgánicas ricas en microorganismos como biochar o vermicompost.**
- **Evitar el uso excesivo de productos fitosanitarios y fertilizantes minerales**, que puedan inhibir la actividad microbiana necesaria para la estabilización del carbono.

6. Implementar prácticas de gestión sostenible integradas

- Integrar planes de manejo del suelo que combinen aporte orgánico, cubierta vegetal estable y manejo adaptativo según las condiciones climáticas urbanas (p. ej., olas de calor, sequías).
- Evitar el uso excesivo de productos fitosanitarios y fertilizantes químicos y minerales, que pueden inhibir la actividad microbiana necesaria para la estabilización del carbono, afectando negativamente a la microbiota y a la acumulación de carbono.

7. Monitoreo y evaluación continua y educación ambiental

- **Monitorizar el carbono orgánico** periódicamente para evaluar la eficacia de las medidas y ajustar las estrategias según los resultados.
- **Promover la sensibilización y formación** sobre la importancia del carbono en suelos urbanos para jardineros, gestores municipales y comunidades.

• Mensaje final

Estas acciones ayudarán a mejorar la estructura del suelo, la capacidad de retención hídrica y la biodiversidad del suelo, contribuyendo a mitigar el efecto isla de calor urbano y aumentar la resiliencia frente al cambio climático.

Nutrientes (Calcio)

Considerando que en las zonas analizadas se han obtenido resultados que indican un déficit persistente de calcio en el suelo (3,05–3,65 meq/100 g en 2025, por debajo del mínimo recomendable de 5 meq/100 g), es fundamental implantar medidas adaptadas a estos contextos específicos para controlar y aumentar el contenido de calcio en el suelo, mejorando así su resiliencia frente al cambio climático.

Para mitigar los efectos de un suelo con bajo porcentaje de calcio y mejorar su resiliencia frente al cambio climático, es fundamental aplicar fertilizantes ricos en estos nutrientes, como el carbonato de calcio, así como incorporar materia orgánica para liberar nutrientes de manera gradual. El uso de biofertilizantes también puede aumentar la disponibilidad de calcio de forma natural. Corregir la acidez del suelo con cal agrícola mejora su absorción. Una gestión eficiente del riego previene la lixiviación de estos nutrientes.

- **Medidas Recomendadas**

- 1. **Aplicar enmiendas con fuentes naturales de calcio**

- **Incorporar materiales ricos en calcio de liberación lenta**, tales como:
 - Cal agrícola o dolomita (preferentemente dolomita si se requiere también magnesio).
 - Yeso agrícola (sulfato de calcio), que mejora la estructura del suelo sin modificar mucho el pH.
 - Cáscaras de huevo compostadas o residuos orgánicos urbanos ricos en calcio.
 - **Controlar la entrada de materiales nitrogenados** como residuos de césped, hojas y otros restos vegetales que se descompongan rápidamente y aporten nitrógeno en exceso.
 - **Revisar y minimizar filtraciones y vertidos urbanos** (aguas residuales, aguas de riego con fertilizantes) que puedan contribuir a incrementos de nitrógeno en el suelo.

- 2. **Fomentar el aporte de materia orgánica rica en calcio**

- **Compostaje de residuos vegetales y estiércol** para aportar materia orgánica que también contenga calcio.
 - **Mantener el mulch de hojas y residuos en jardines y áreas forestales periurbanas** para permitir la descomposición gradual y la liberación de calcio junto con otros nutrientes.
 - **La materia orgánica mejora la estructura del suelo** y promueve la actividad microbiana que facilita la disponibilidad del calcio.

- 3. **Mantener y promover la diversidad y la cobertura vegetal**

- **Utilizar plantas y árboles adaptados a suelos con bajo calcio**, preferentemente especies autóctonas que faciliten la recirculación del calcio mediante la caída de hojas y raíces.
 - **Las raíces profundas favorecen la descomposición y liberación de nutrientes** desde capas subsuperficiales.
 - **Establecer coberturas vegetales permanentes** para minimizar la erosión y favorecer la nutrición natural del suelo.

4. Ajustar pH del suelo si es necesario

- **Dado que un déficit de calcio puede asociarse a una acidificación del suelo,** es importante:
 - Medir el pH periódicamente para identificar si el suelo es ácido (<6).
 - En caso de acidez, aplicar correctores de pH con base en carbonatos cálcicos que a su vez aportan calcio.
 - Evitar la aplicación indiscriminada de enmiendas alcalinas para no causar problemas secundarios ni desequilibrio en otros nutrientes.

5. Evitar prácticas que reduzcan la disponibilidad de calcio

- **Minimizar el uso de fertilizantes químicos** que puedan acidificar el suelo o alterar su equilibrio iónico.
- **Limitar el laboreo o pisoteo excesivo,** que degrada la estructura y favorece la pérdida de calcio por lixiviación o erosión.
- **Controlar la compactación** para asegurar buena aireación y actividad microbiana, que ayuda a la mineralización del calcio.

6. Monitoreo y gestión adaptativa

- Realizar análisis periódicos del contenido de calcio para ajustar las dosis y frecuencia de aplicaciones.
- Integrar el seguimiento del calcio con otros indicadores de salud del suelo (pH, materia orgánica, nitrógeno, CIC) para una gestión integral.
- Promover la capacitación y sensibilización de gestores y comunidades urbanas para reforzar la aplicación de buenas prácticas.

- **Mensaje final**

La implementación adecuada de estas medidas ayudará a revertir el déficit de calcio y a fortalecer la estructura, capacidad de retención de agua y la resistencia biológica del suelo urbano y periurbano. De esta forma, se aumentará la resiliencia de estas zonas verdes frente a eventos climáticos extremos y el cambio climático.

Nitrógeno

Dado que las zonas estudiadas son espacios verdes urbanos, jardines y bosques periurbanos, donde los niveles de nitrógeno total del suelo resultan anormalmente altos (>4%, muy por encima del rango normal 0,1–0,2%), es fundamental implementar medidas para controlar y reducir el contenido excesivo de nitrógeno. Este exceso puede afectar negativamente la salud del suelo, la biodiversidad y la calidad ambiental en áreas urbanas, además de aumentar riesgos de contaminación

Para disminuir los efectos de un suelo con elevada concentración de nitrógeno y mejorar su resiliencia frente al cambio climático, es crucial equilibrar los nutrientes especialmente con leguminosas, que fijan nitrógeno de forma natural, y especies que demanden más nitrógeno, ayudando a reducir su exceso. La incorporación de materia orgánica ayuda a estabilizar los niveles de nitrógeno, mientras que el control del riego evita la lixiviación de nitrógeno hacia las aguas subterráneas. Reducir el uso de productos nitrogenados y aplicar enmiendas, como el compost bien equilibrado (restos de poda o mantillo), también contribuye a moderar la

concentración de nitrógeno, mejorando la salud del suelo y su capacidad para adaptarse a las variaciones climáticas.

- **Medidas Recomendadas**

- 1. Identificación y reducción de fuentes de aporte de nitrógeno**

- **Limitar el aporte de fertilizantes nitrogenados** (especialmente sintéticos y de alta solubilidad) en jardines y parques. Fomentar el uso racional, solo cuando sea estrictamente necesario, y preferentemente con fertilizantes orgánicos o de liberación controlada.
- **Controlar la entrada de materiales nitrogenados** como residuos de césped, hojas y otros restos vegetales que se descompongan rápidamente y aporten nitrógeno en exceso.
- **Revisar y minimizar filtraciones y vertidos urbanos** (aguas residuales, aguas de riego con fertilizantes) que puedan contribuir a incrementos de nitrógeno en el suelo.

- 2. Fomentar la captación y fijación biológica del nitrógeno por la vegetación adecuada**

- **Utilizar especies vegetales autóctonas y tapizantes** con alta capacidad de absorción de nitrógeno, ayudando a extraer el exceso del suelo.
- **Integrar en las zonas verdes leguminosas** o plantas con asociaciones simbióticas para fijar nitrógeno atmosférico y favorecer el ciclo natural sin acumulación excesiva.

- 3. Mejorar el reciclaje y exportación de nitrógeno a través de la gestión del mantillo y la poda**

- **Retirar periódicamente los residuos verdes** (césped cortado, hojas acumuladas) para evitar acumulación de nitrógeno mineralizado que quede en el suelo.
- **Compostar estos residuos para estabilizar el nitrógeno y reutilizarlo de forma controlada**, evitando su aplicación directa en suelos ya saturados.

- 4. Promover la mineralización lenta y la desnitrificación natural**

- **Mantener una buena estructura del suelo** con alta materia orgánica estable, que favorezca procesos microbiológicos saludables que transformen el nitrógeno disponible en formas gaseosas (denitrificación), reduciendo su exceso.
- **Evitar compactación** para mantener oxigenación adecuada del suelo y equilibrar procesos de nitrificación y desnitrificación.

- 5. Gestionar el riego y evitar encharcamientos o exceso de agua**

- **El control del riego previene la lixiviación y volatilización del nitrógeno**, a la vez que evita la saturación que puede inhibir procesos biológicos que regulan el nitrógeno.

- 6. Monitoreo y ajustes periódicos**

- **Realizar análisis periódicos** del suelo para evaluar evolución del nitrógeno.
- **Ajustar las prácticas de manejo** y fertilización orgánica según los resultados, evitando acumulaciones.

- **Mensaje final**

Estas prácticas deberían frenar el aumento del nitrógeno y favorecer su disminución gradual, reduciendo riesgos de contaminación ambiental y mejorando la salud y resiliencia del suelo en áreas urbanas y periurbanas, contribuyendo a un ecosistema más equilibrado frente al cambio climático.

Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) baja (<5 meq/100 g), característica de suelos arenosos, como los analizados en la zona de estudio, limita la capacidad del suelo para retener nutrientes esenciales y agua, afectando directamente la salud vegetal y la resiliencia del ecosistema frente al cambio climático.

Para reducir los efectos de un suelo con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC) y mejorar su resiliencia frente al cambio climático, es fundamental aumentar la materia orgánica mediante la incorporación de compost, estiércol o residuos vegetales, lo que mejora la retención de nutrientes. También es útil aplicar enmiendas como arcillas (por ejemplo, bentonita), que aumentan la CIC al mejorar la capacidad del suelo para retener cationes. Una gestión adecuada del pH, manteniéndolo en un rango óptimo, favorece la absorción de nutrientes esenciales. Además, se pueden usar estrategias para fomentar la actividad biológica de los suelos, mediante la inoculación de microorganismos beneficiosos (la introducción de hongos o bacterias benéficos puede acelerar la descomposición de la materia orgánica y mejorar la estructura del suelo) o mediante el mantenimiento de la cobertura vegetal (mantener el suelo cubierto con cobertura vegetal o mulch orgánico protege el suelo de la erosión y evapotranspiración y fomenta la actividad biológica. Con estas medidas, se puede mejorar la fertilidad del suelo y su capacidad para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes.

- **Medidas Recomendadas**

- 1. Aporte y mantenimiento de materia orgánica estable**

- **Incrementar la materia orgánica del suelo:** Incorporar compost maduro, mulch vegetal y hojarasca para mejorar la capacidad del suelo de retener nutrientes y agua. La materia orgánica actúa como un reservorio de cationes y mejora la estructura.
- **Fomentar la descomposición lenta:** Usar enmiendas como biochar o vermicompost que permanecen más tiempo en el suelo y elevan la CIC de forma duradera.
- **Mantener la cobertura vegetal natural y residual:** Permitir la acumulación de residuos vegetales y raíces muertas, que enriquecen la materia orgánica y estabilizan la CIC.

- 2. Selección y manejo de especies vegetales adecuadas**

- **Plantar especies nativas o adaptadas a suelos arenosos** que promuevan la producción y aportación constante de materia orgánica al suelo a través de raíces y hojarasca.

- **Priorizar especies con raíces profundas y abundantes** que favorezcan la actividad biológica y la formación de agregados estables, mejorando la retención catiónica.

3. Minimizar perturbaciones físicas y compactación del suelo

- **Evitar labores profundas o movimiento frecuente del suelo** que reduzcan la materia orgánica y la estructura.
- **Controlar el tránsito peatonal y de maquinaria pesada** en zonas sensibles para preservar la porosidad y actividad microbiana relacionada con la CIC.

4. Gestión hídrica adecuada

- **Mejorar la retención de humedad con cubiertas vegetales y mulch** para favorecer procesos biológicos que aumentan la CIC.
- **Evitar encharcamientos** que puedan lixiviar nutrientes y cationes, especialmente en suelos arenosos con baja capacidad de retención.

5. Fertilización orgánica y equilibrada

- **Aplicar enmiendas orgánicas** que aporten nutrientes y mejoren el intercambio catiónico, evitando fertilizantes químicos solubles que podrían lixiviarse rápidamente.
- **Utilizar productos de liberación controlada o cationes complejos** para un aporte más eficiente y duradero.

6. Fomento de la actividad microbiana y fauna edáfica

- **Promover la diversidad microbiana** mediante la incorporación de biofertilizantes, vermicompost y prácticas que aumenten la biodiversidad del suelo.
- **Facilitar la presencia de lombrices y otros organismos** que mejoran la estructura del suelo y aumentan la CIC.

7. Monitorización y evaluación periódica

- **Realizar análisis periódicos de CIC y materia orgánica** para evaluar la efectividad de las prácticas aplicadas.
- **Ajustar el manejo en función** de los resultados para mantener o elevar la CIC y la salud del suelo.

- **Mensaje final**

La mejora de la CIC en suelos arenosos urbanos y periurbanos es clave para aumentar la capacidad de retención de nutrientes y agua, esenciales para la sostenibilidad de las zonas verdes y su resiliencia frente a sequías, olas de calor e inundaciones más frecuentes derivadas del cambio climático.

La implementación de estas medidas debe adaptarse a las características particulares de cada espacio verde, priorizando siempre acciones que fomenten procesos naturales de acumulación y estabilidad del carbono y nutrientes.

La educación y sensibilización de los gestores municipales y comunidades sobre la importancia de la materia orgánica y la CIC fortalecerán la aplicación efectiva de estas prácticas.

Índice de Aridez

La tendencia observada de descenso en el Índice de Aridez (IA) entre 2024 y 2025, aproximando ciertos suelos al rango semiárido, indica un mayor riesgo de erosión, desertificación y disminución de la capacidad de resiliencia agrícola frente al cambio climático. Es crucial actuar preventivamente para evitar el avance de la aridez y garantizar la estabilidad futura del ecosistema suelo.

- **Objetivos Prioritarios**

- **Detener o revertir la disminución del IA**, manteniéndolo al menos en rangos de “subhúmedo seco” establecidos como aceptables para la resiliencia.
- **Aumentar la capacidad de retención de agua** y mejorar la cobertura vegetal para reducir la evaporación y la escorrentía.

- **Medidas Recomendadas**

- 1. Fomentar la Materia Orgánica y la Cobertura Vegetal**

- **Aportes regulares de materia orgánica** (compost, estiércol, restos vegetales) para mejorar la retención de agua y la estructura del suelo, aumentando su resiliencia a la sequía.
- **Siembras de cubiertas vegetales** y rotación de cultivos con especies que desarrollen un sistema radicular profundo, mejorando la infiltración y el contenido hídrico del suelo.

- 2. Minimizar el Laboreo y Controlar la Compactación**

- **Reducir el laboreo excesivo** y emplear técnicas de agricultura de conservación (labranza mínima o cero labranza) para limitar la pérdida de humedad y la degradación física del suelo.
- **Evitar el tránsito de maquinaria pesada** durante períodos húmedos para no compactar el perfil, permitiendo una mayor infiltración.

- 3. Control de la Erosión y Mejoras Hidrológicas**

- **Construcción de pequeñas infraestructuras** (barreras vegetales, franjas cortafuegos, diques, terrazas) en zonas de pendiente para frenar la escorrentía y favorecer la recarga hídrica.
- **Fomentar la implantación de setos y cortavientos** con especies autóctonas que reduzcan la evaporación y protejan contra el viento.

- 4. Utilización Racional del Agua**

- **Mejorar la eficiencia del riego** empleando métodos localizados (goteo, microaspersión) y programando los riegos según necesidades agronómicas y meteorológicas.
- **Promover la recogida de aguas pluviales** y la recarga de acuíferos mediante sistemas de captación sostenible.

- 5. Reforestación y Restauración de Ecosistemas**

- **Proyectos de reforestación y revegetación** con especies adaptadas a condiciones subhúmedas o semiáridas, priorizando la restauración de zonas degradadas o áreas con bajo índice de aridez.

- **Restaurar zonas de ribera y humedales** para incrementar la humedad ambiental local.

6. Monitoreo Continuo y Adaptación

- **Seguir evaluando el IA anualmente**, vincularlo con parámetros de humedad del suelo y cobertura vegetal, y ajustar las estrategias según la evolución detectada.

- **Mensaje final**

Cortar la tendencia hacia la aridez exige un enfoque multifactorial: incremento de materia orgánica, optimización de prácticas agrícolas, control de erosión y fomento de la vegetación son esenciales para mantener —o incluso elevar— la resiliencia edáfica ante el cambio climático. La acción temprana y sostenida es la mejor garantía para que el IA no siga descendiendo y que los suelos conserven su función productiva y ecológica en el futuro.

ANEXO I

RESULTADOS. GRÁFICAS POR PARÁMETRO ANALIZADO

Graficas de resultados

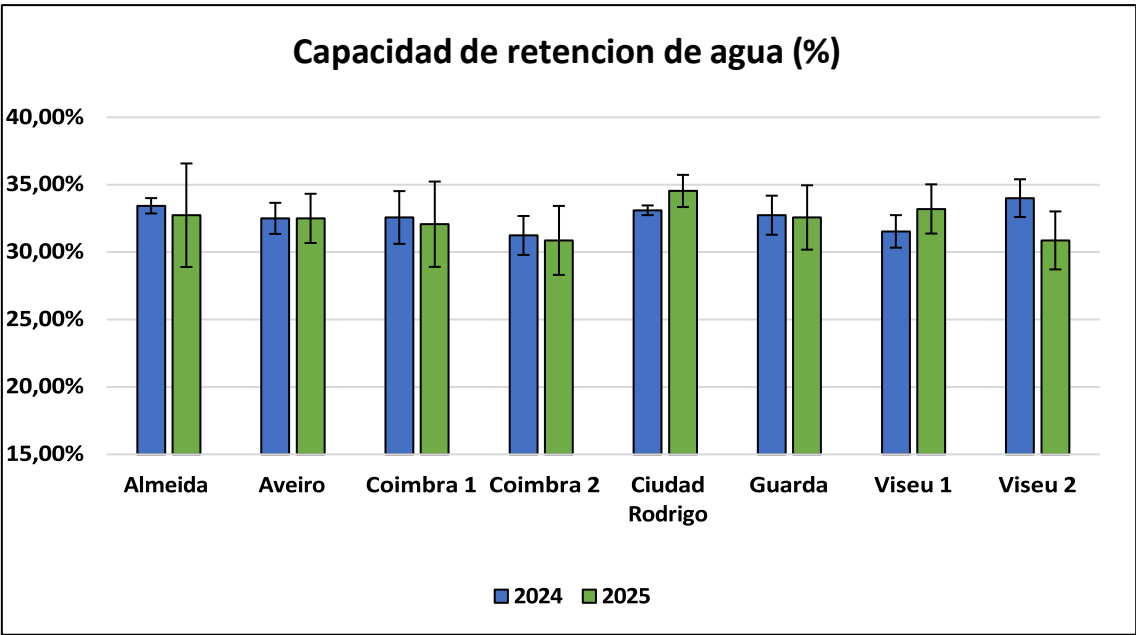


Ilustración 1. Capacidad de retención de agua

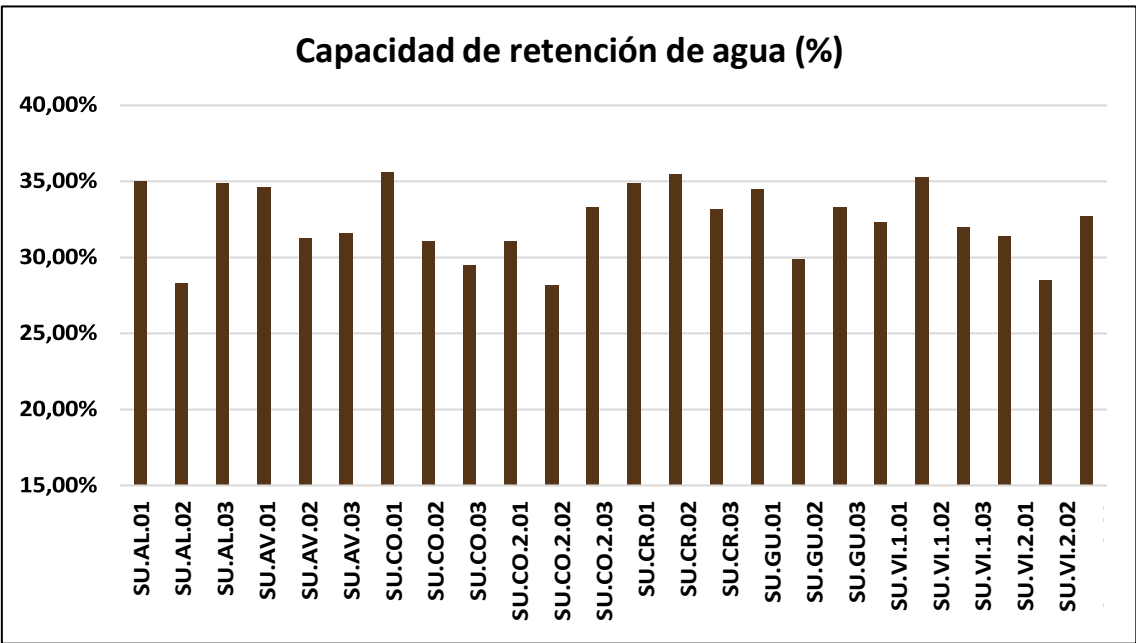


Ilustración 2. Capacidad de retención de agua por muestra

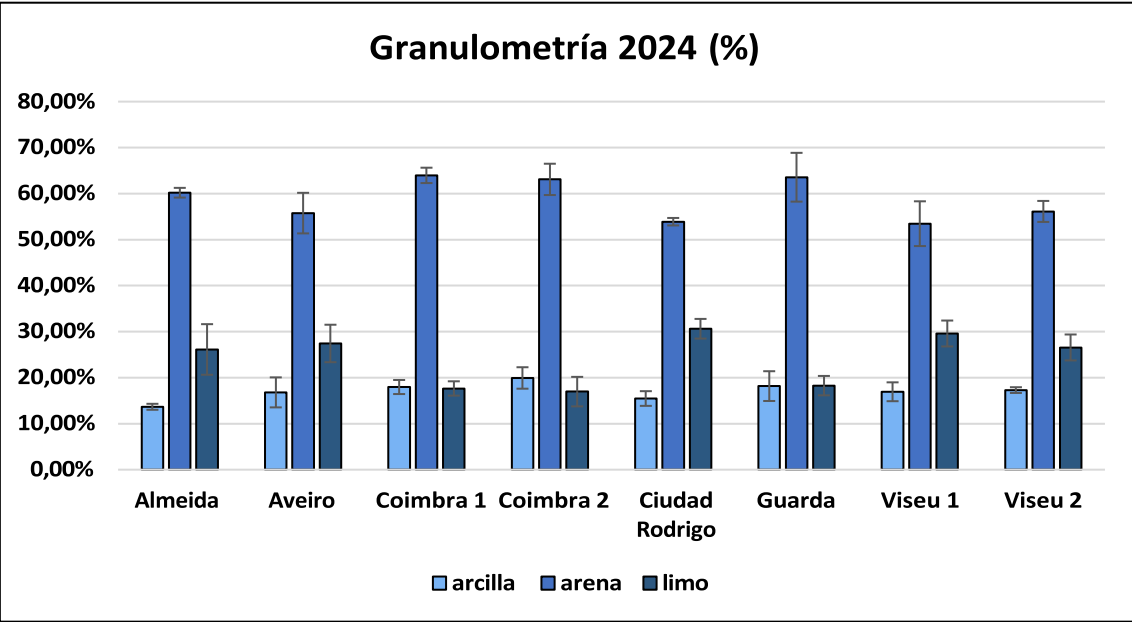


Ilustración 3. Granulometría 2024

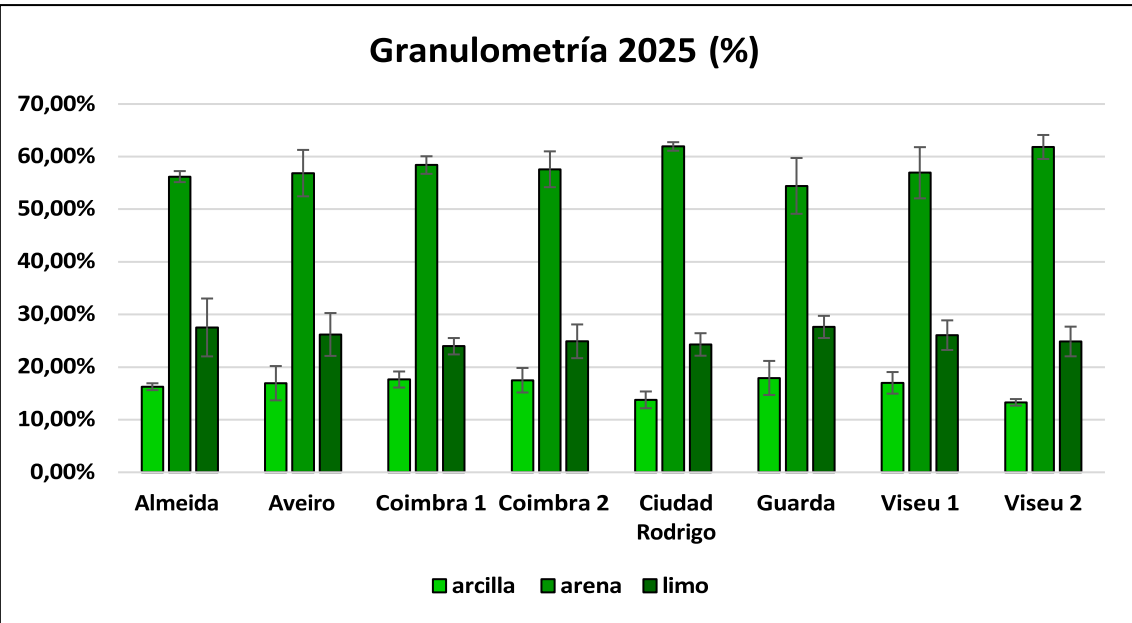


Ilustración 4. Granulometría 2025

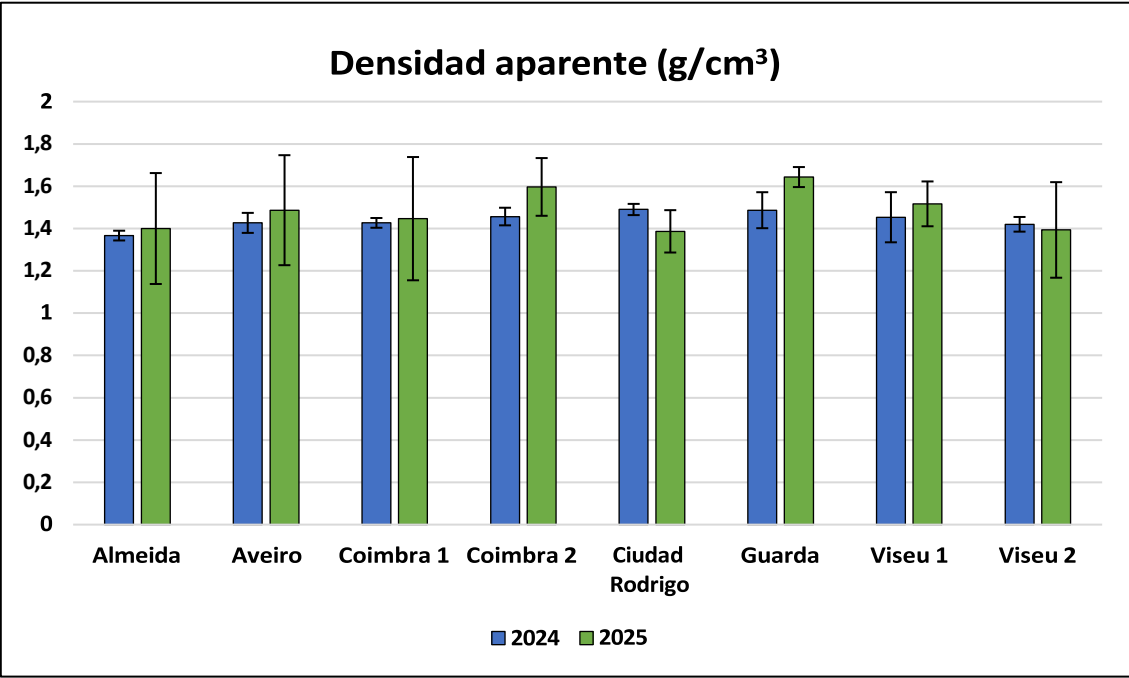


Ilustración 5. Densidad aparente

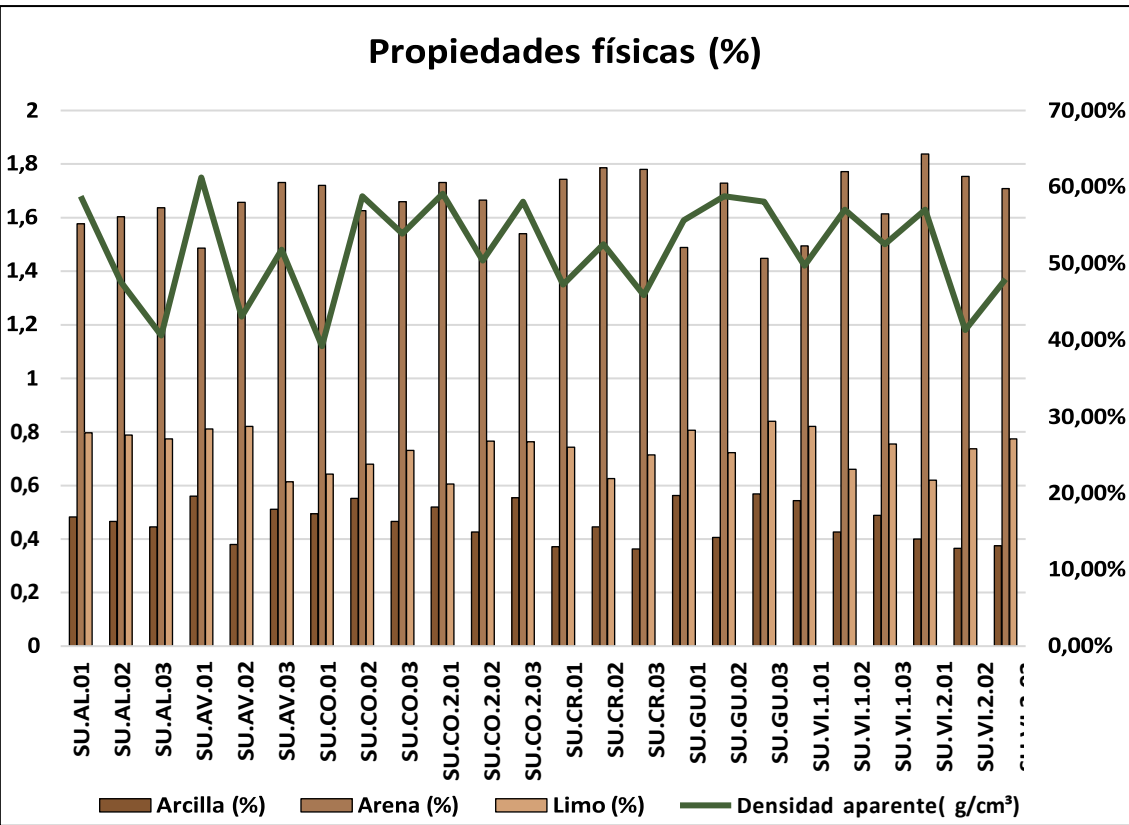


Ilustración 6. Propiedades físicas por muestra

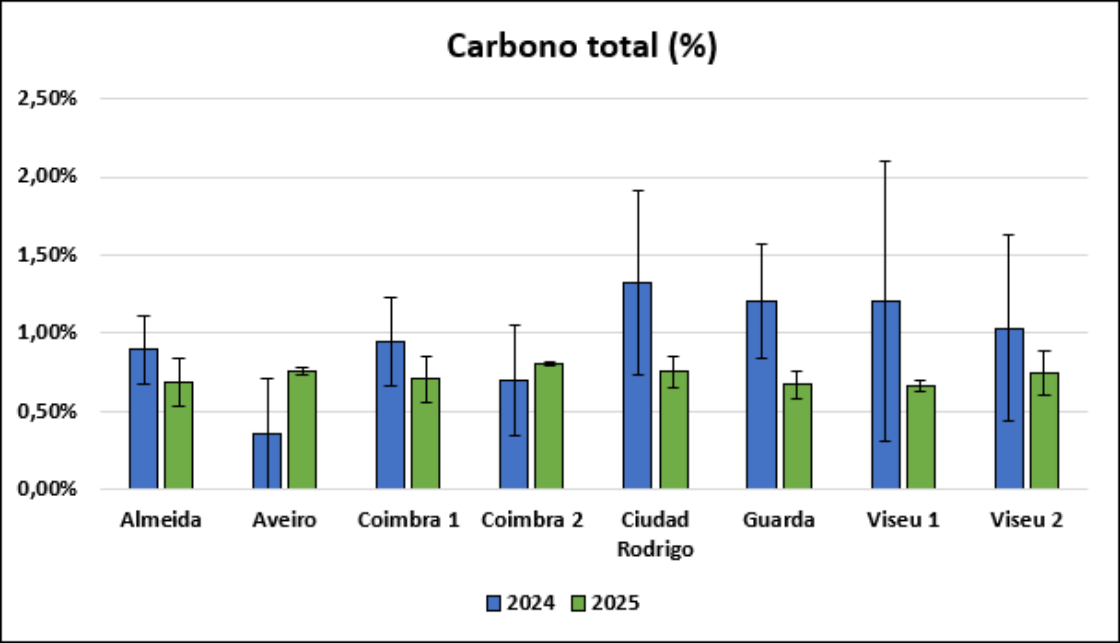


Ilustración 7. Carbono total

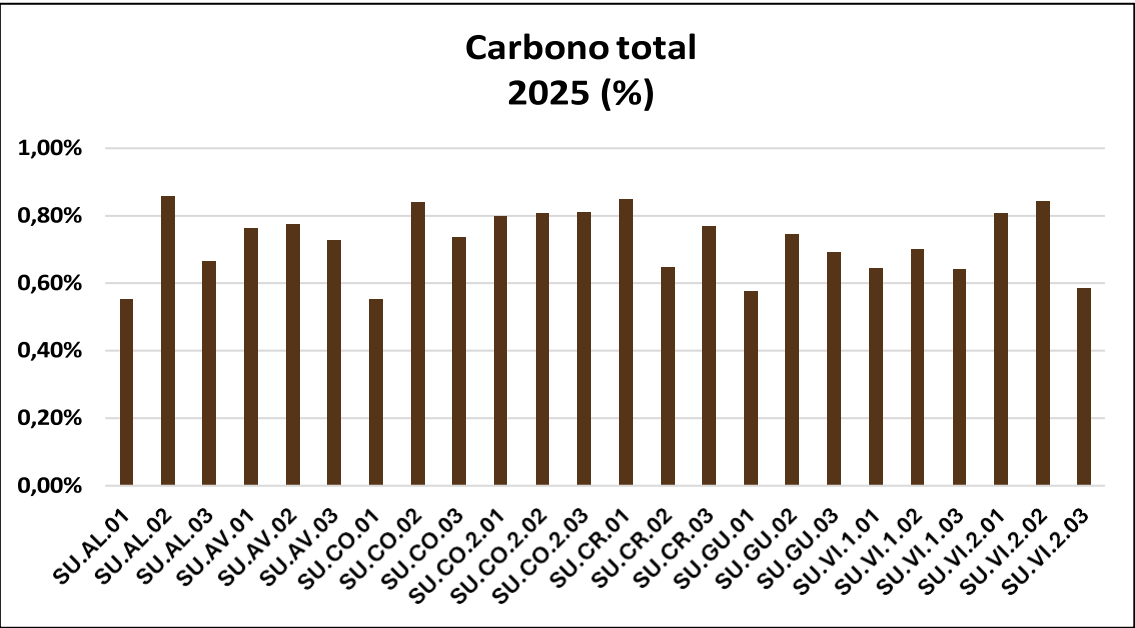


Ilustración 8. Carbono total por muestra

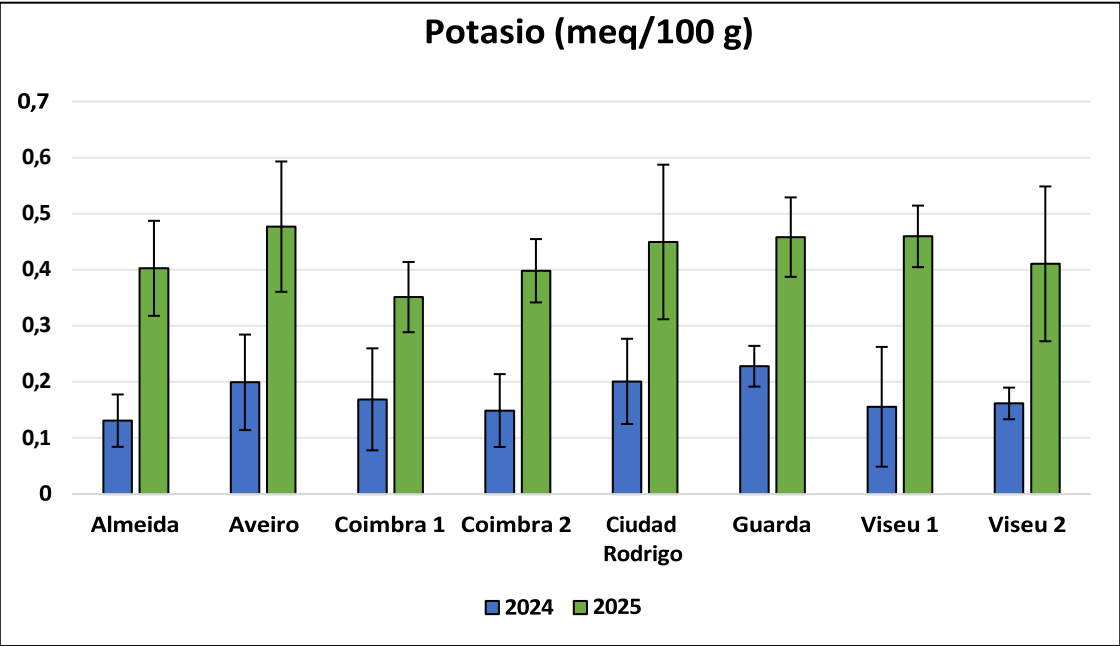


Ilustración 9. Potasio

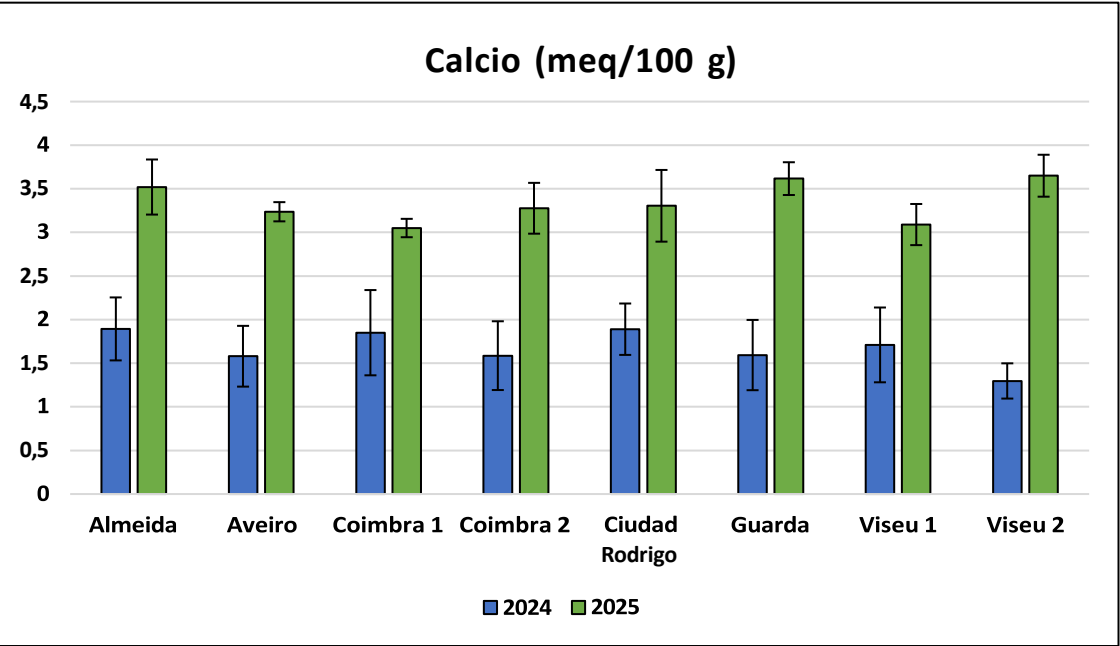


Ilustración 10. Calcio

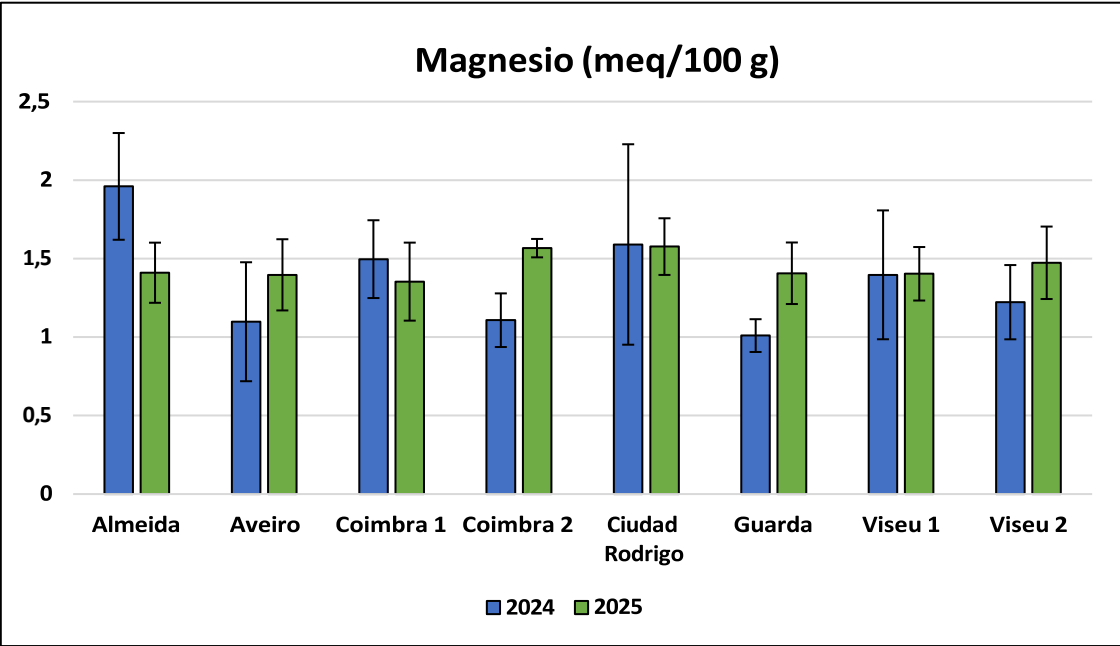


Ilustración 11. Magnesio

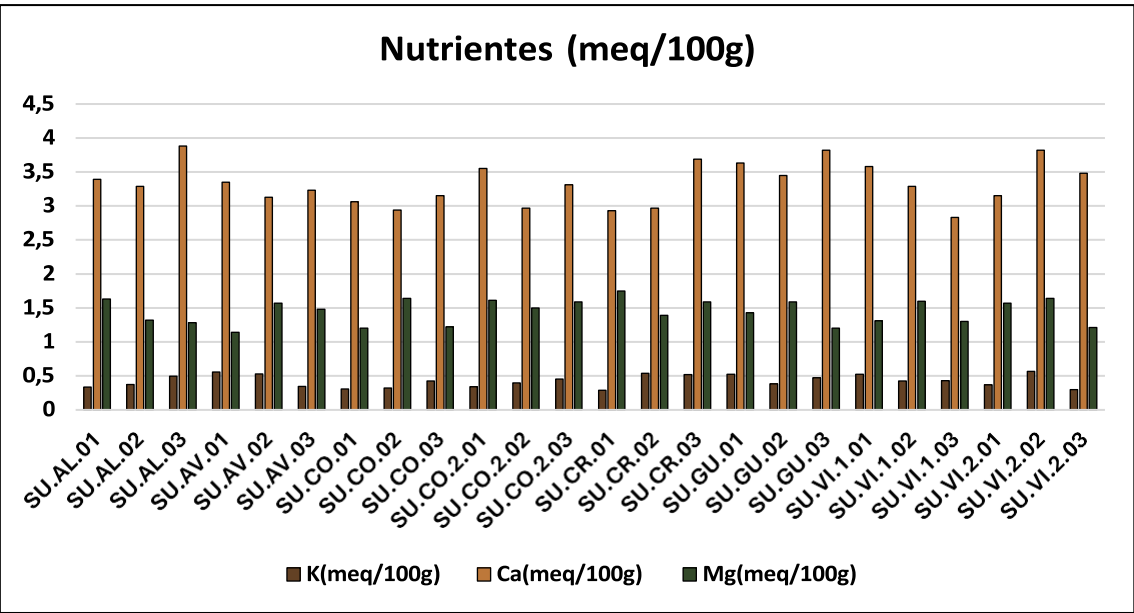


Ilustración 12. Nutrientes por muestra

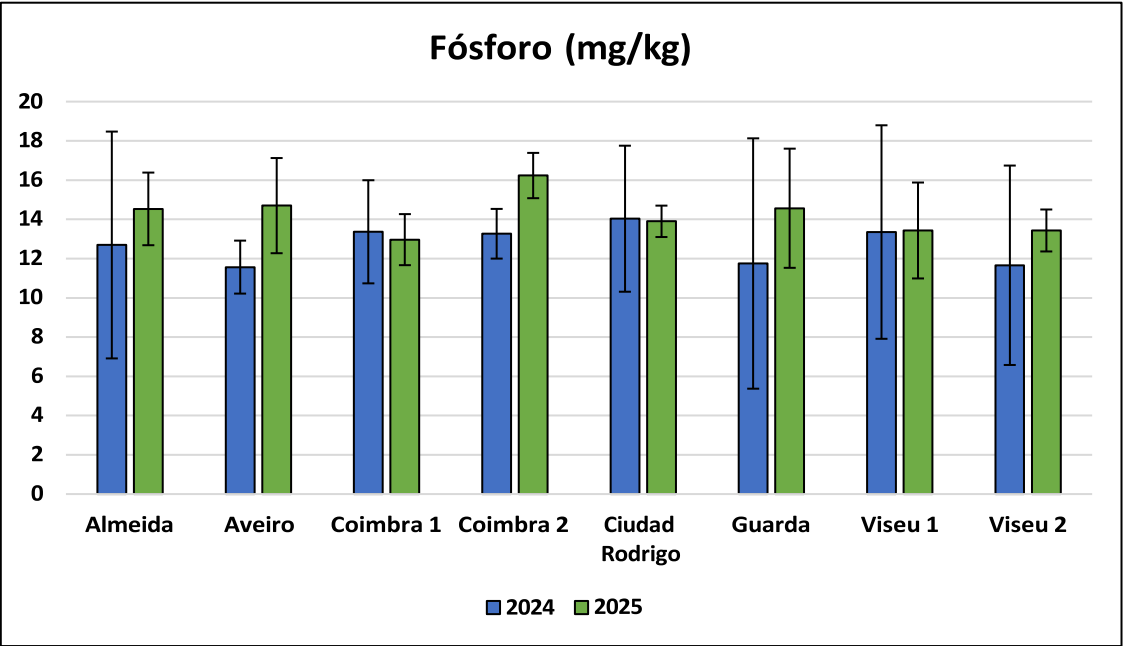


Ilustración 13. Fósforo

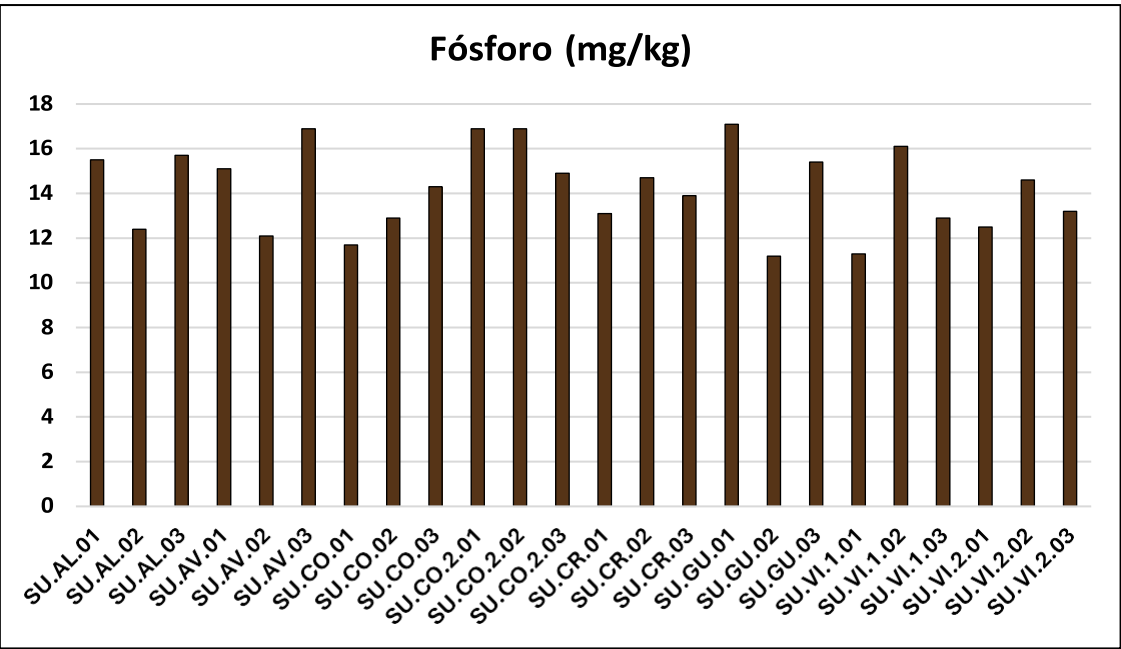


Ilustración 14. Fósforo por muestra

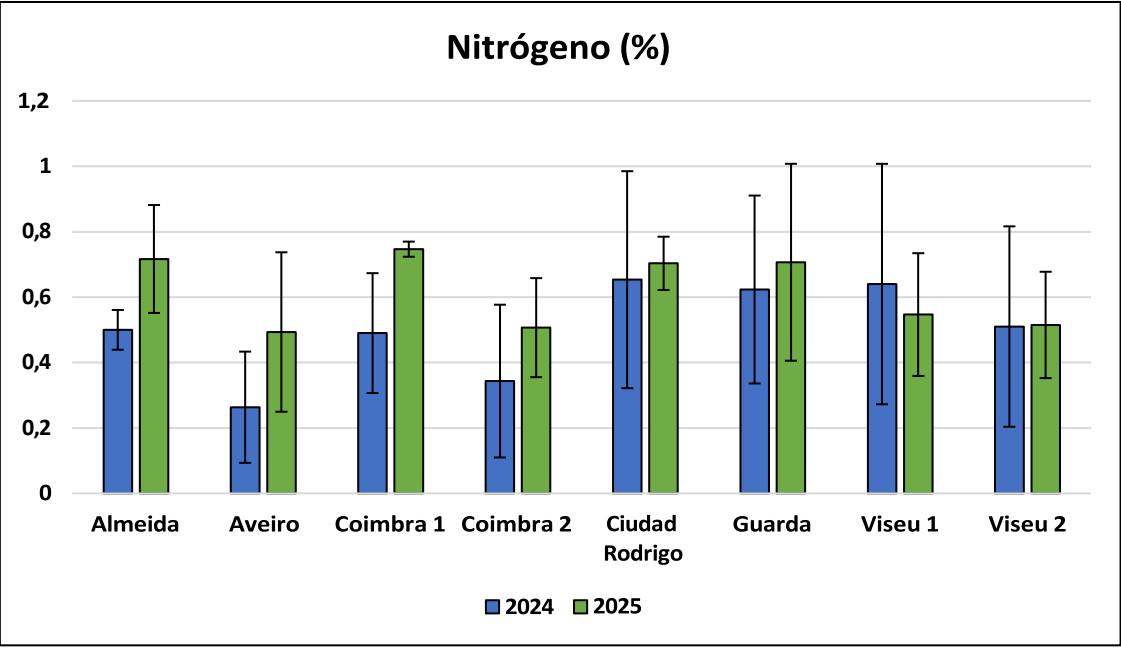


Ilustración 15. Nitrógeno

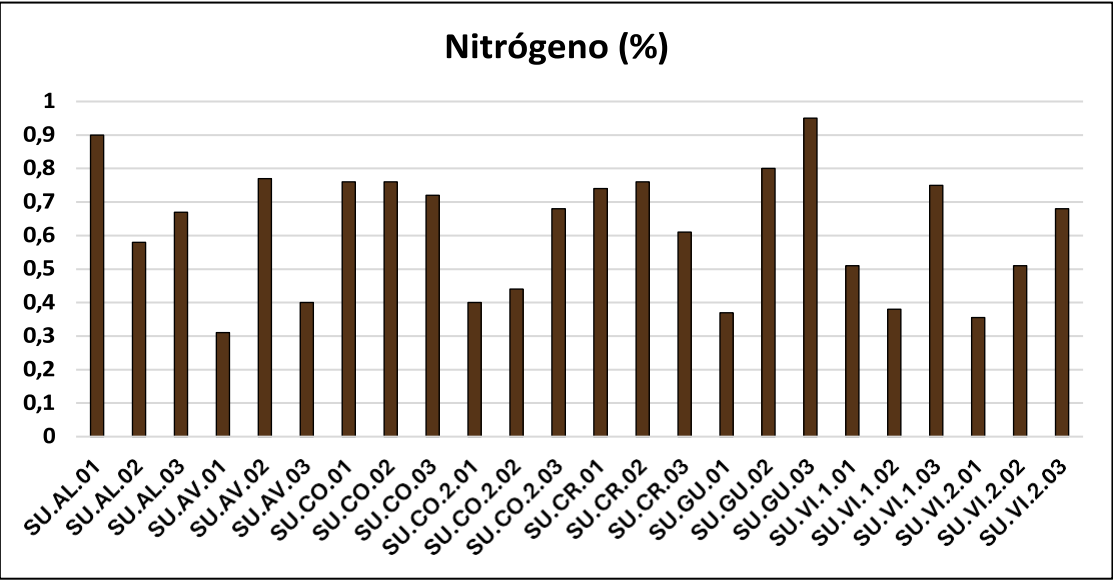


Ilustración 16. Nitrógeno por muestra

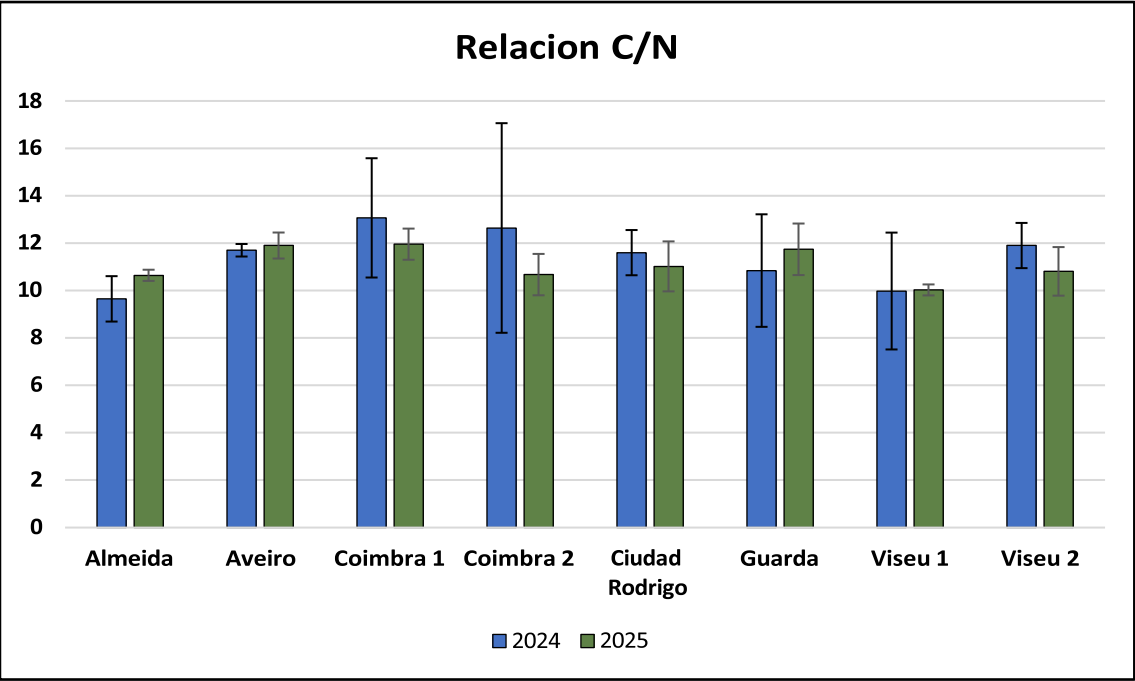


Ilustración 17. Relación C/N

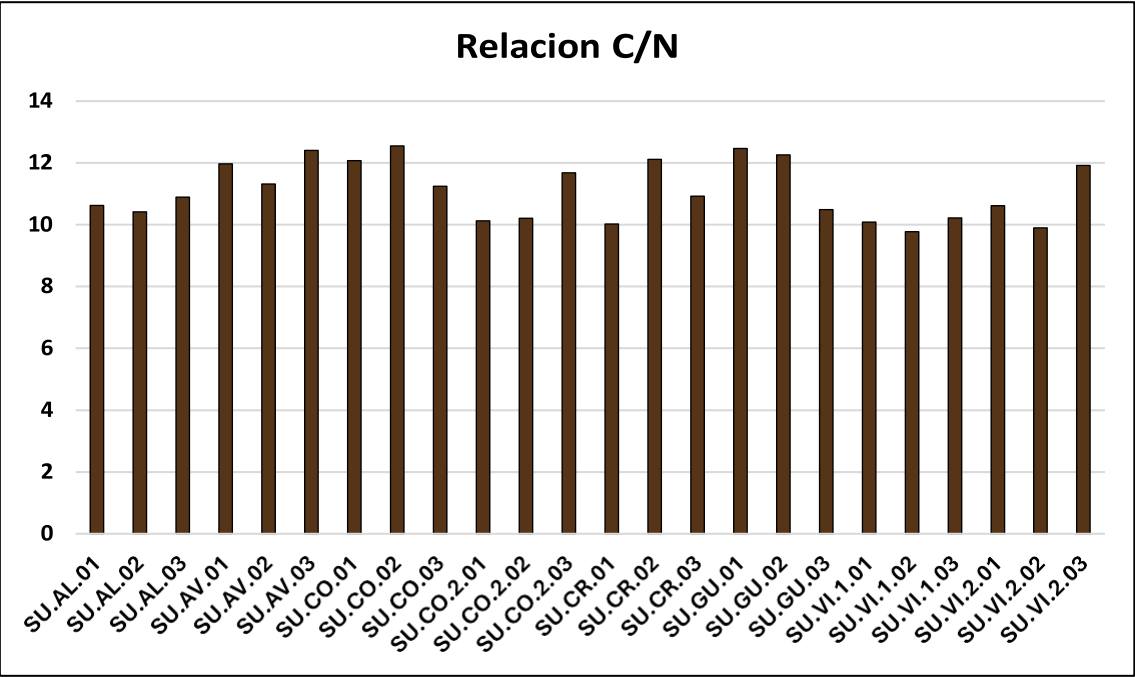


Ilustración 18. Relación C/N por muestras

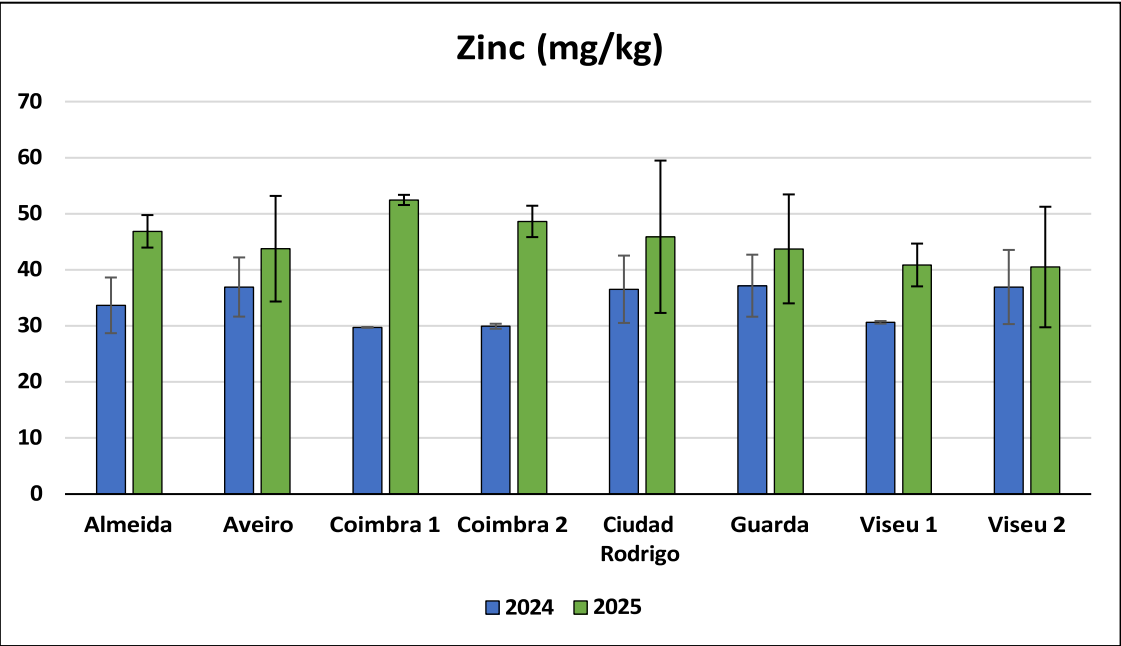


Ilustración 19. Zinc

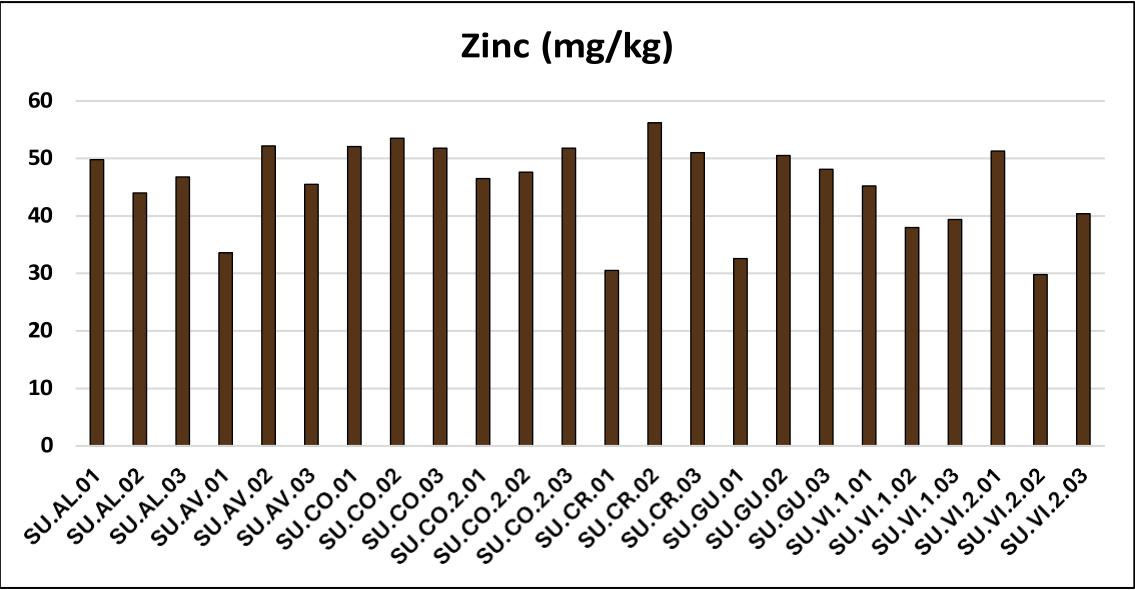


Ilustración 20. Zinc por muestra

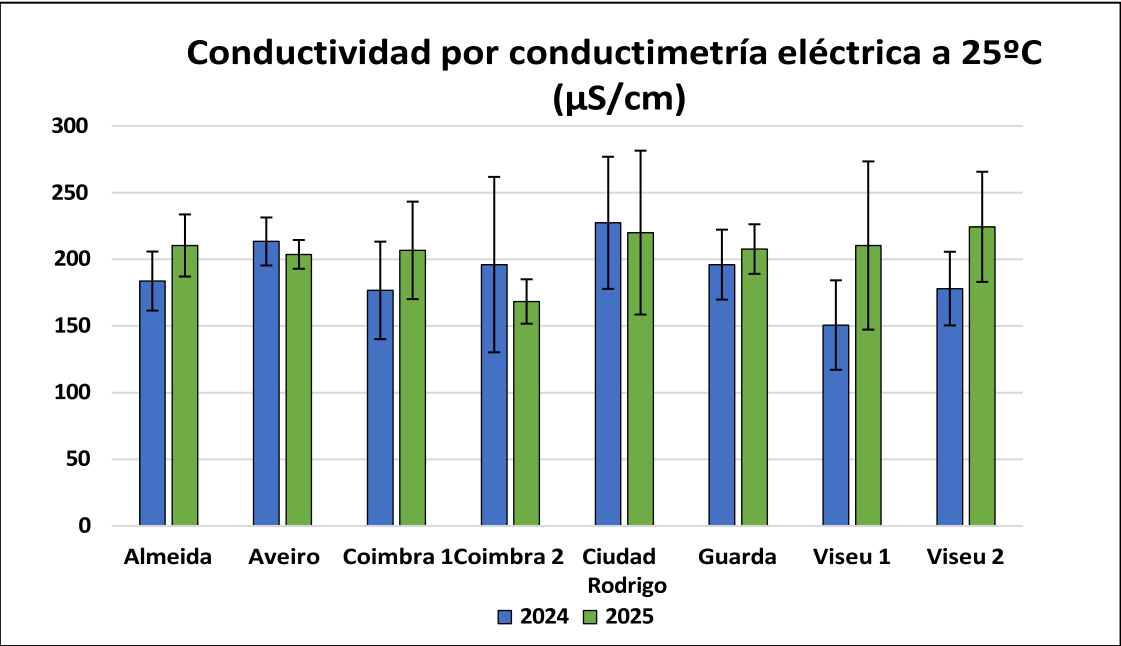


Ilustración 21. Conductividad por conductimetría eléctrica a 25°C

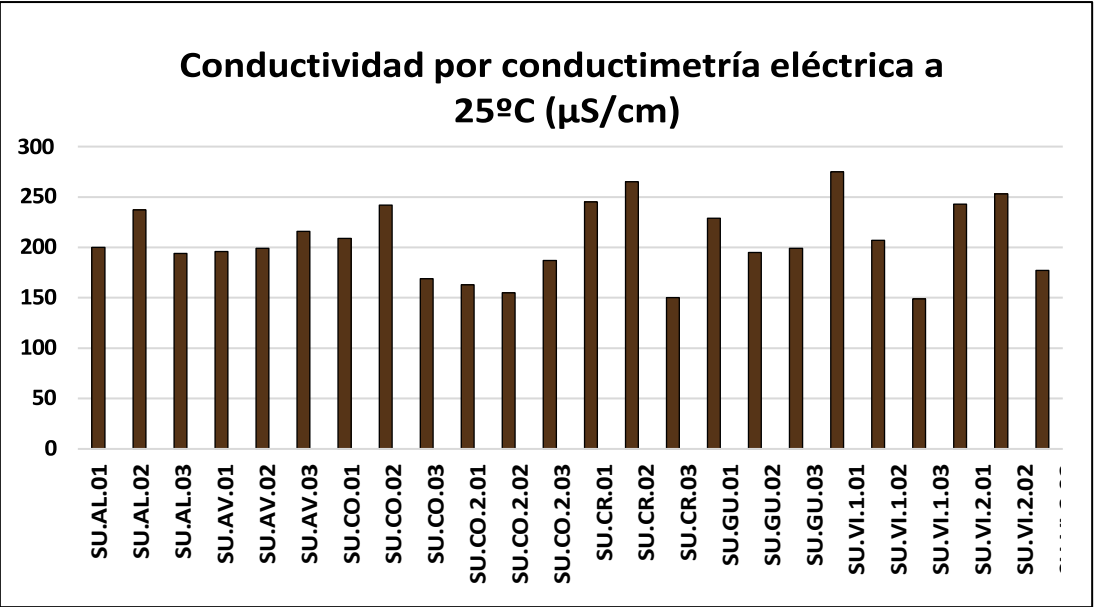


Ilustración 22. Conductividad por conductimetría eléctrica por muestra

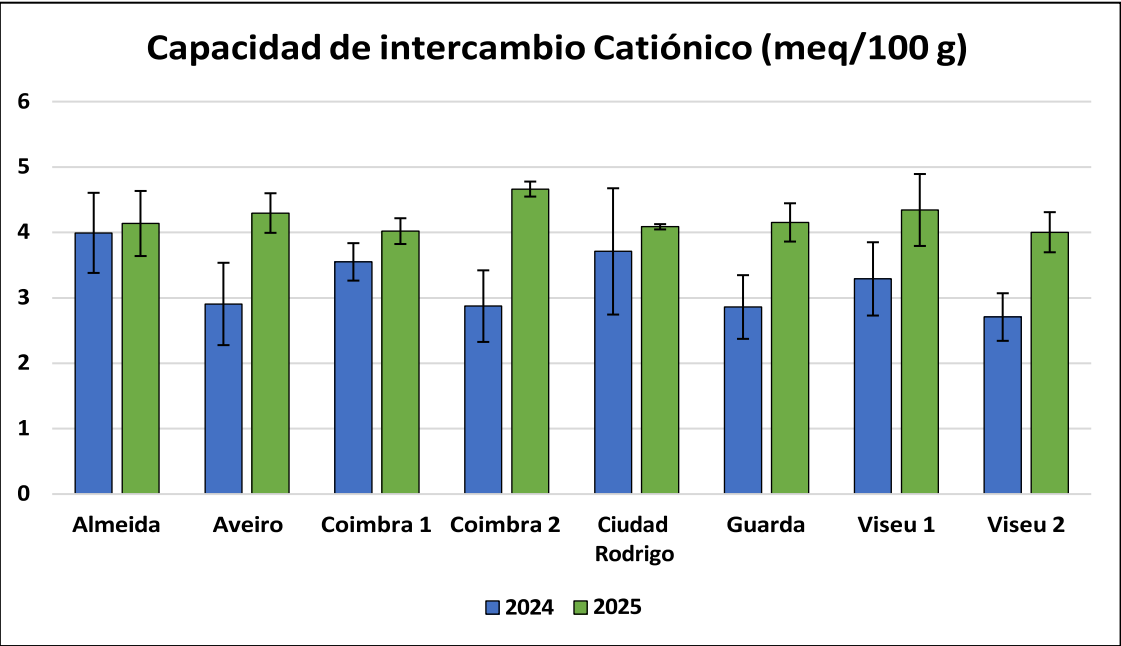


Ilustración 23.Capacidad de intercambio Catiónico

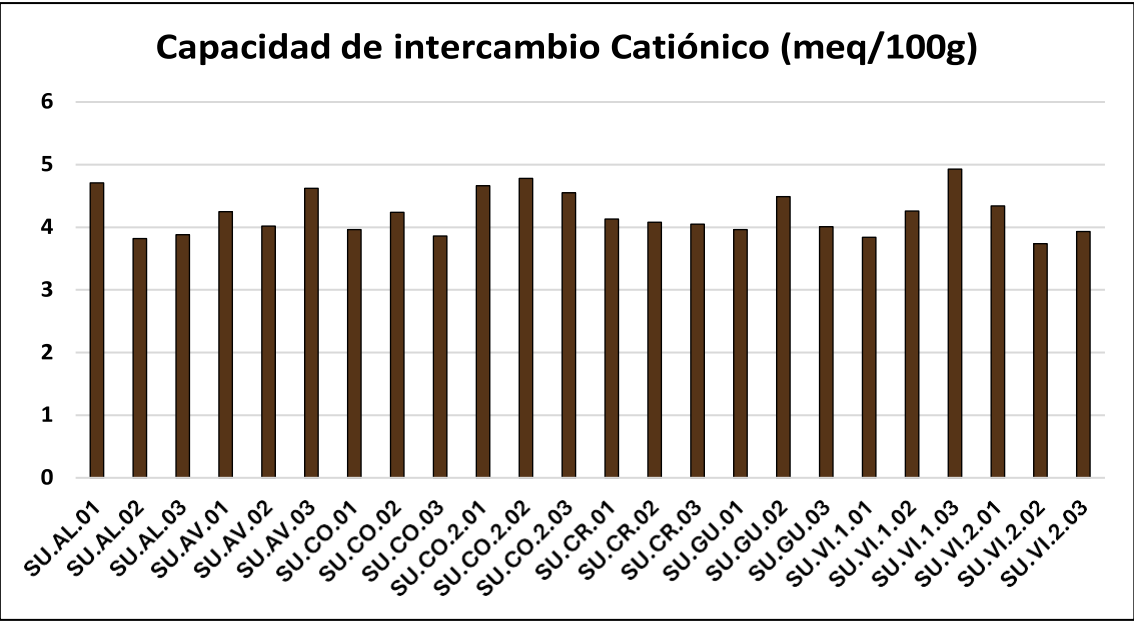


Ilustración 24. Capacidad de intercambio catiónico por muestra

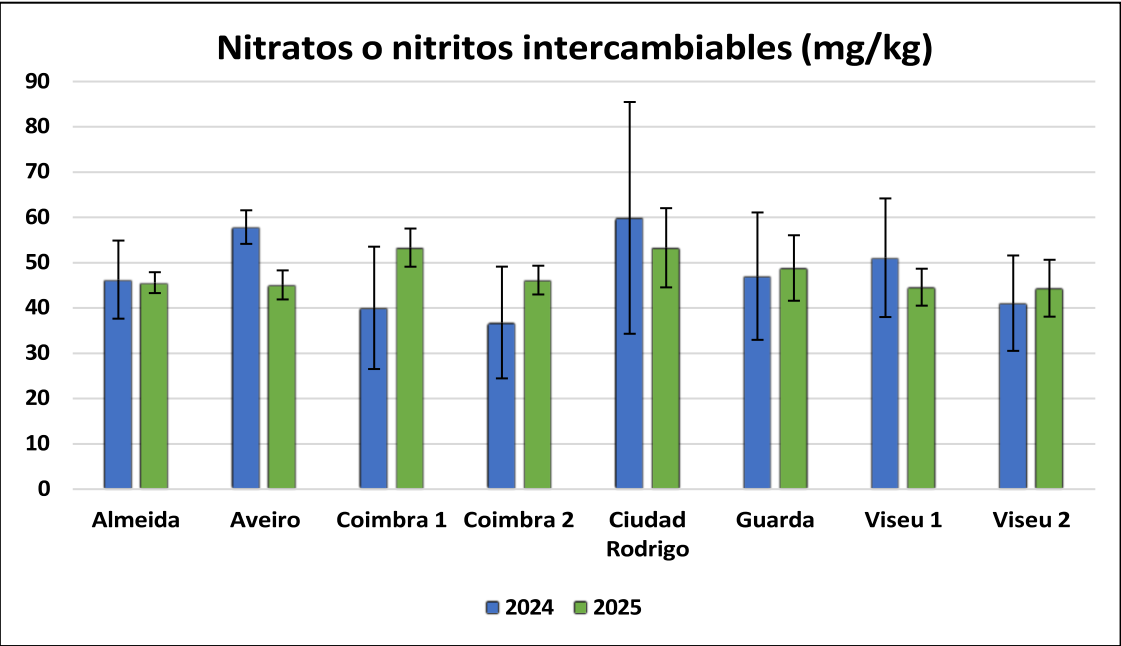


Ilustración 25.Nitratos o nitritos intercambiables

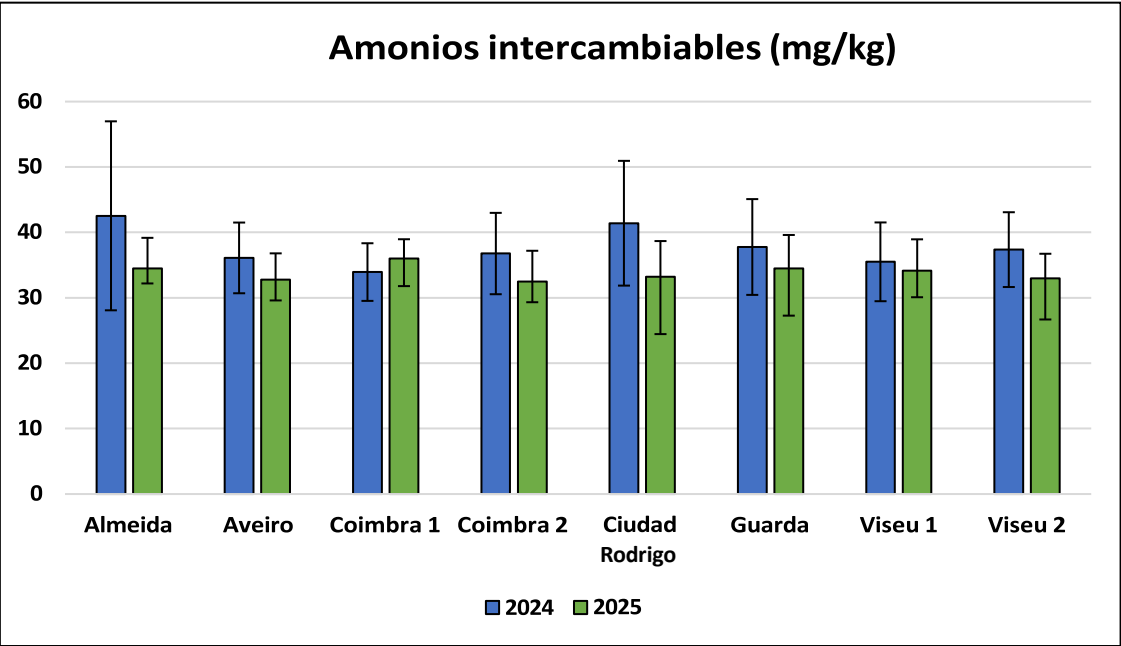


Ilustración 26. Amonios intercambiables

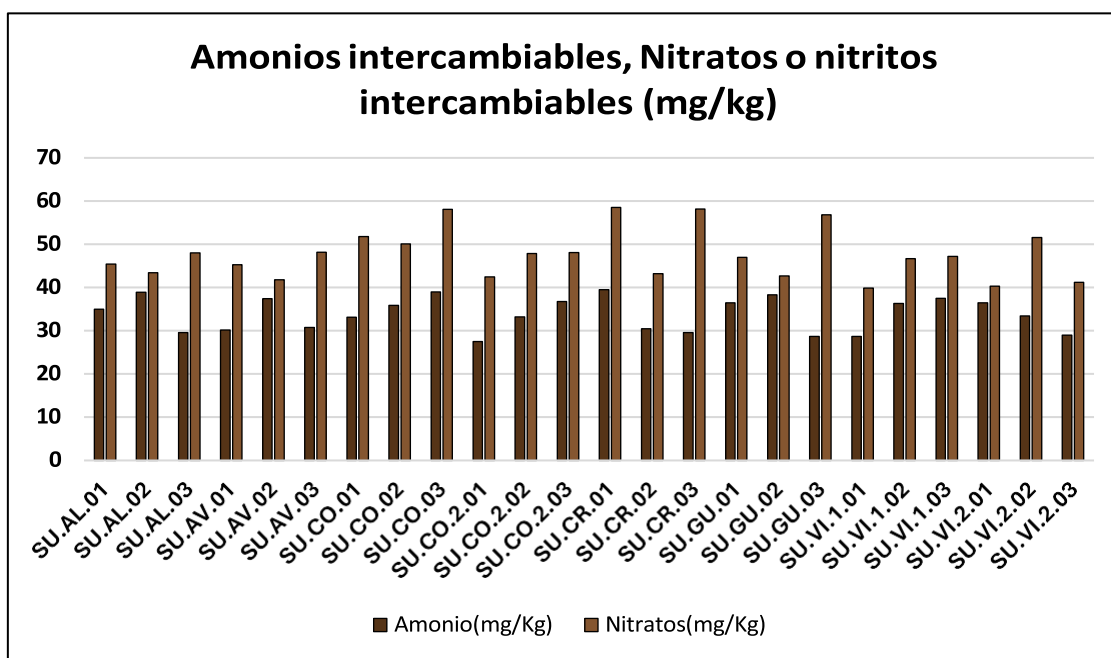


Ilustración 27.Amonios, nitritos o nitratos intercambiables por muestra

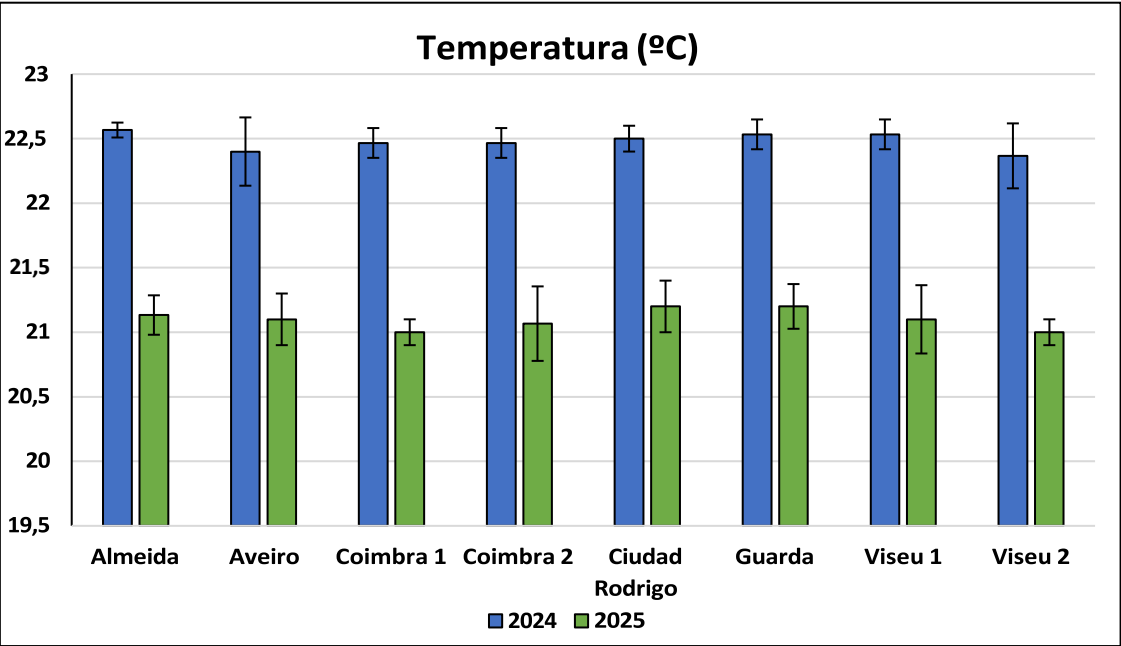


Ilustración 28. Temperatura

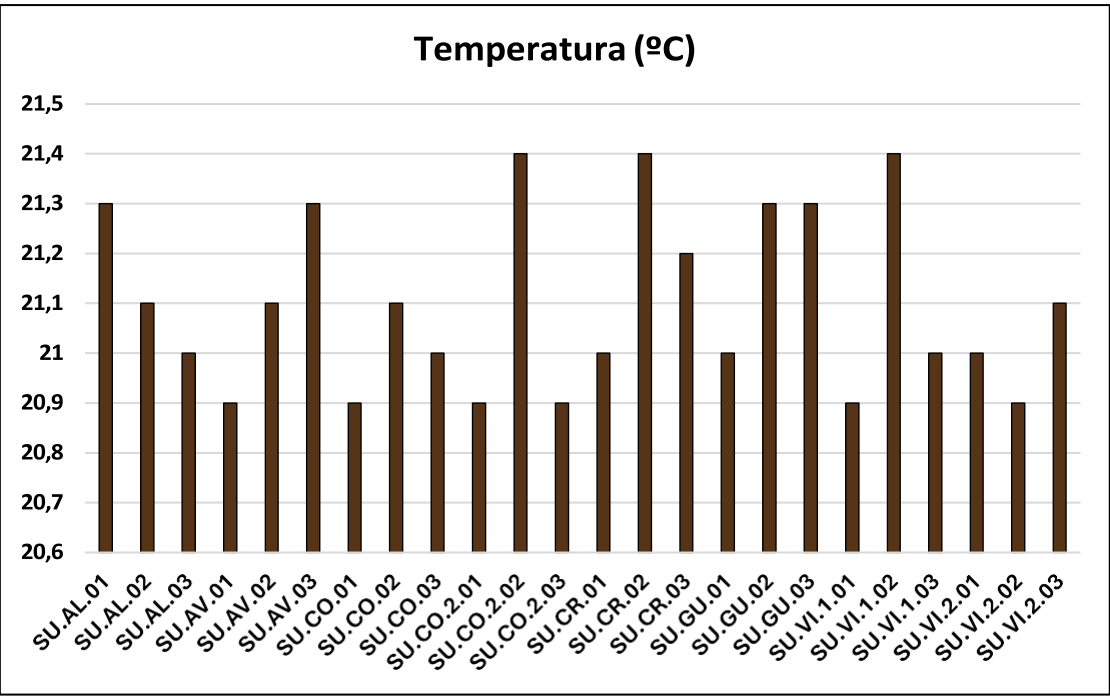


Ilustración 29. Temperatura por muestra

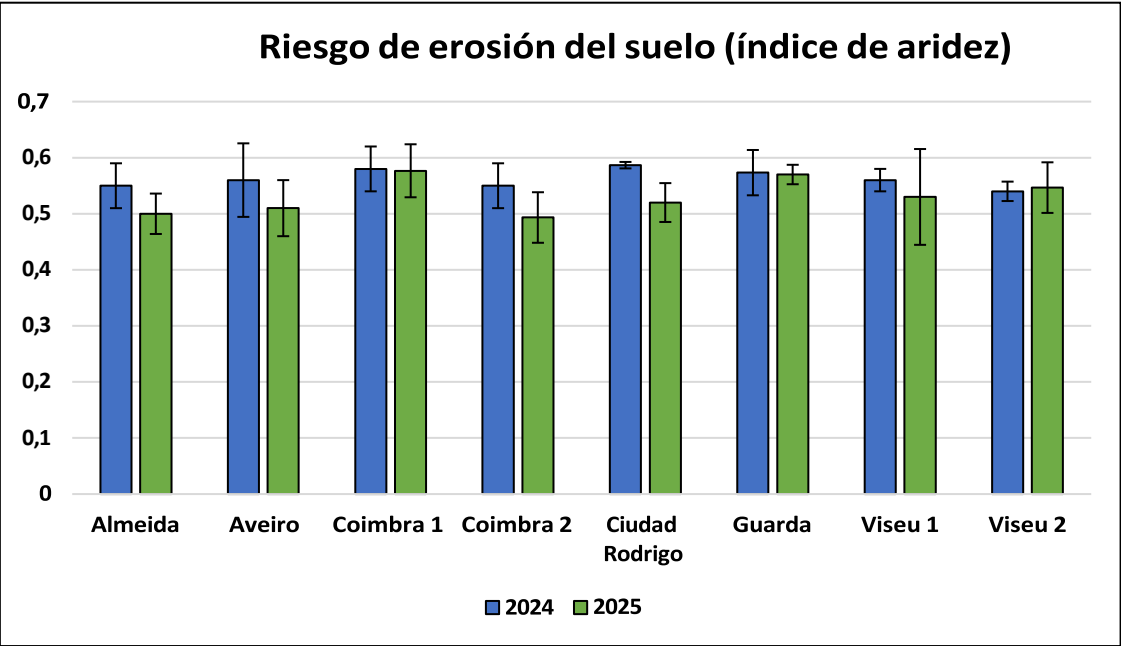


Ilustración 30. Riesgo de erosión del suelo (índice de aridez)

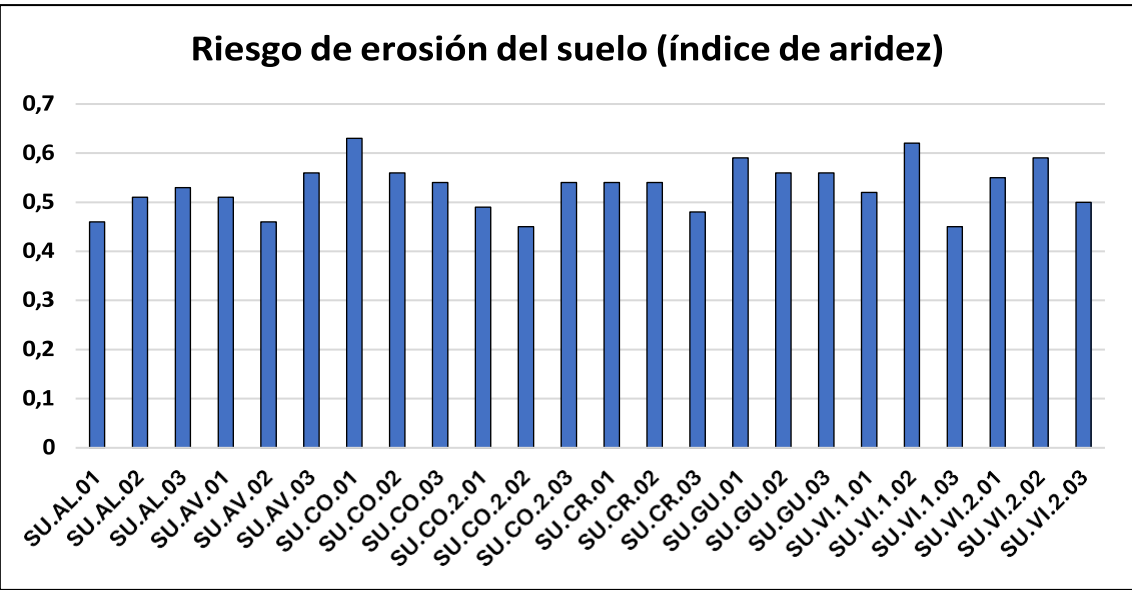


Ilustración 31. Riesgo de erosión del suelo por muestra

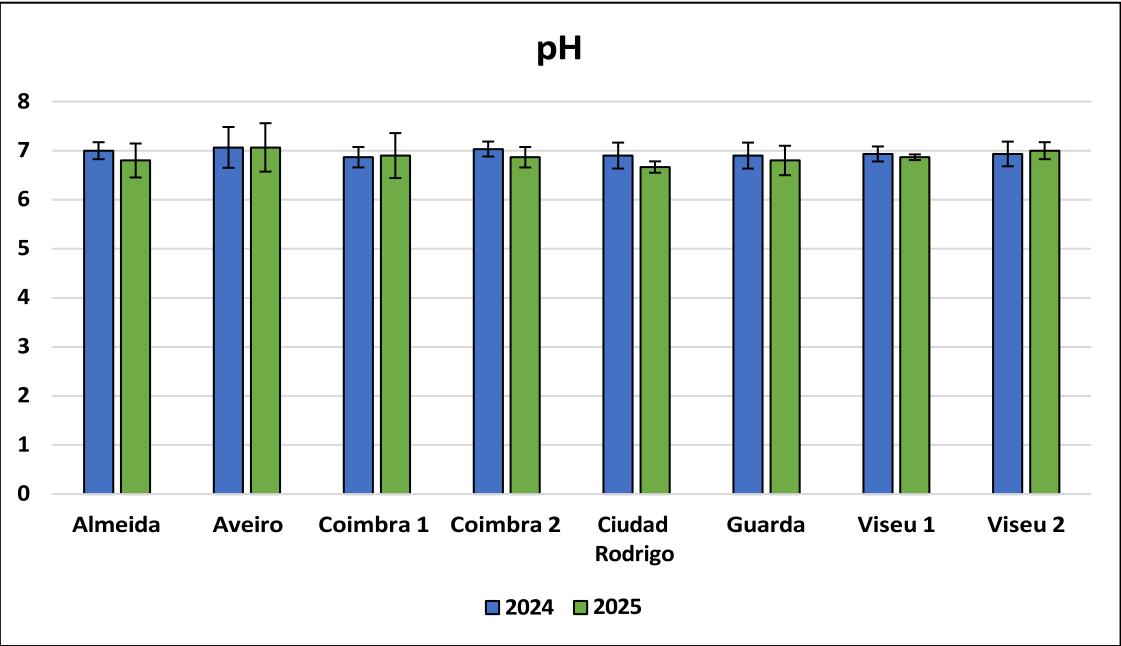


Ilustración 32. pH

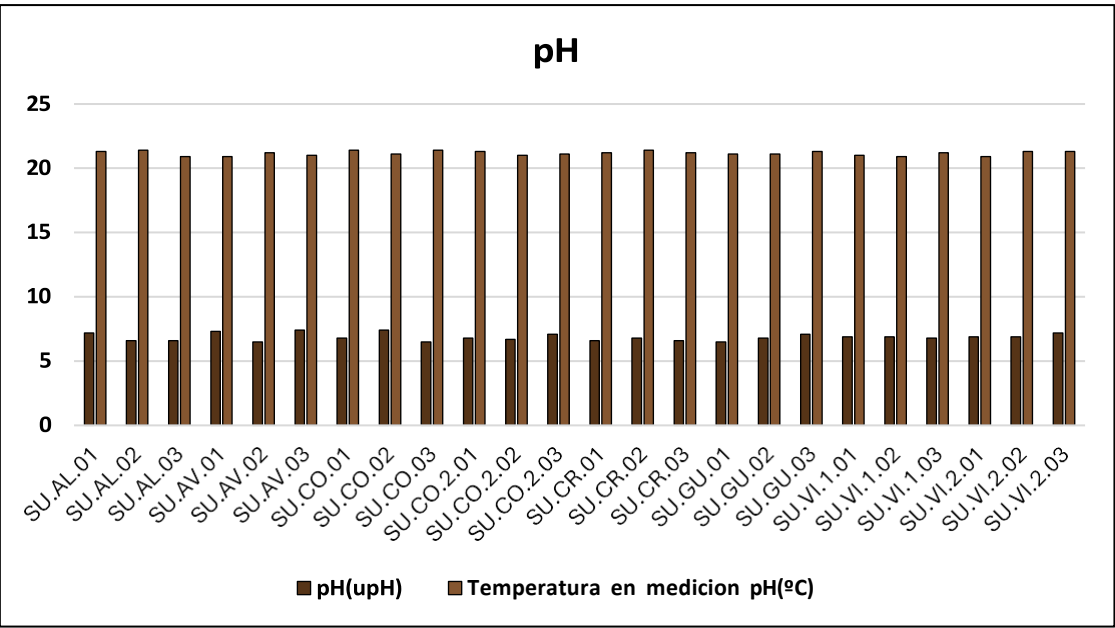


Ilustración 33.pH por muestra

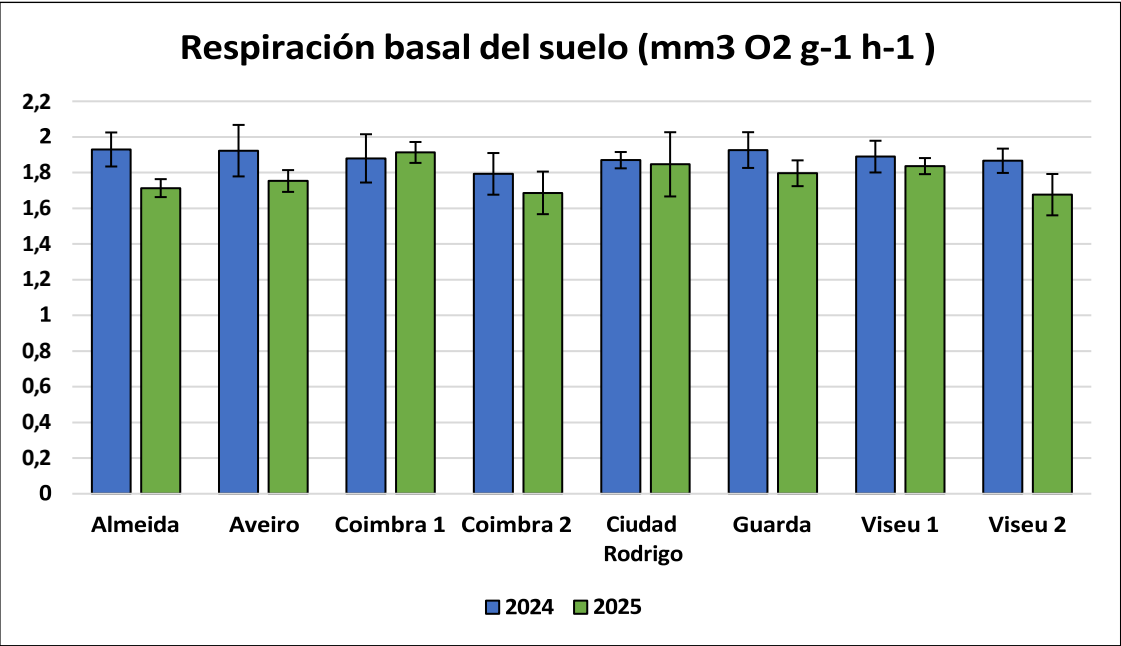


Ilustración 34.Respiración basal del suelo

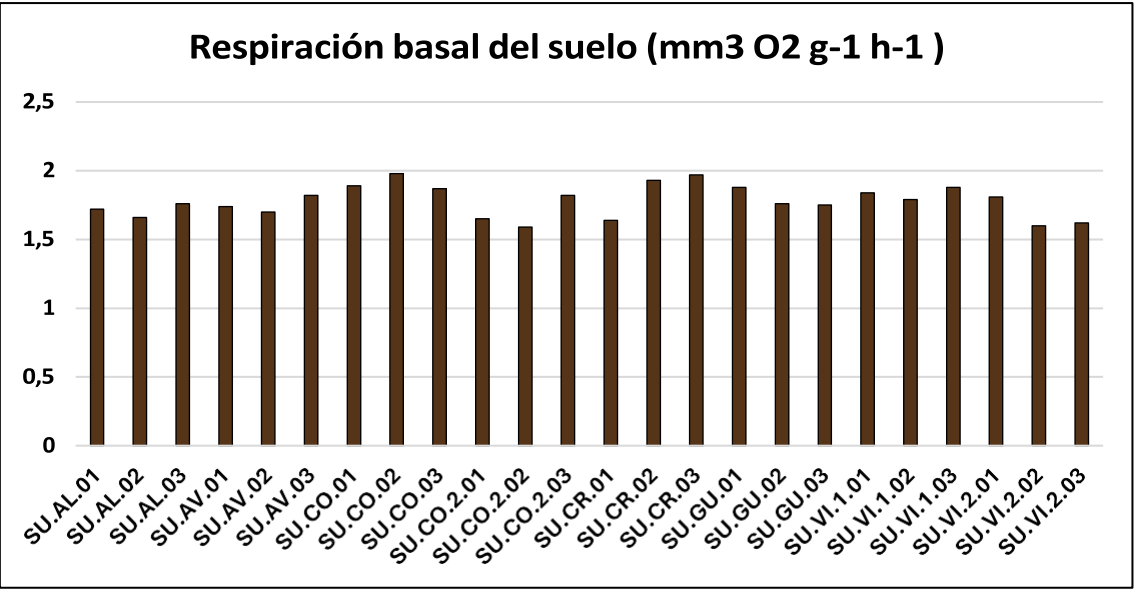


Ilustración 35. Respiración basal del suelo por muestra

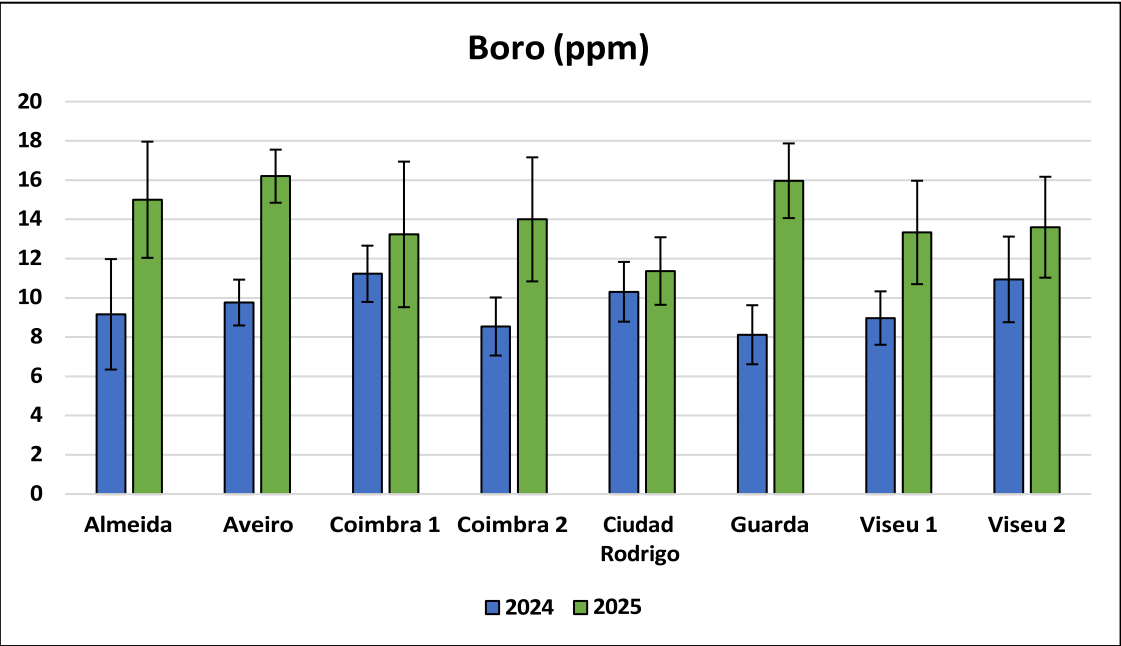


Ilustración 36.Boro

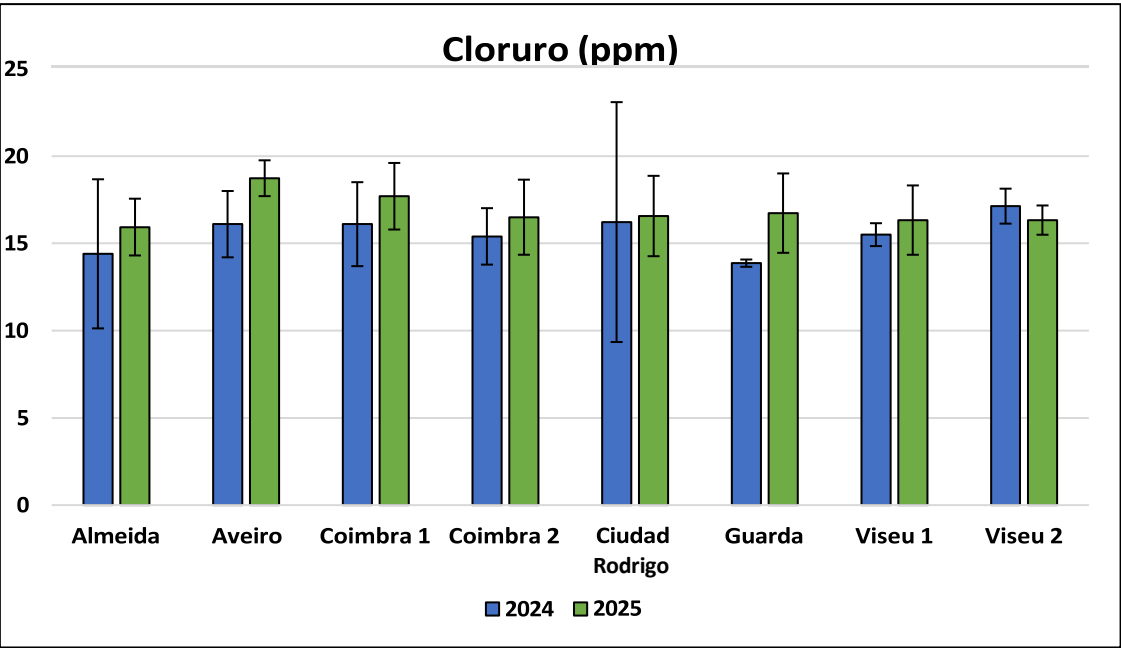


Ilustración 37.Cloruro

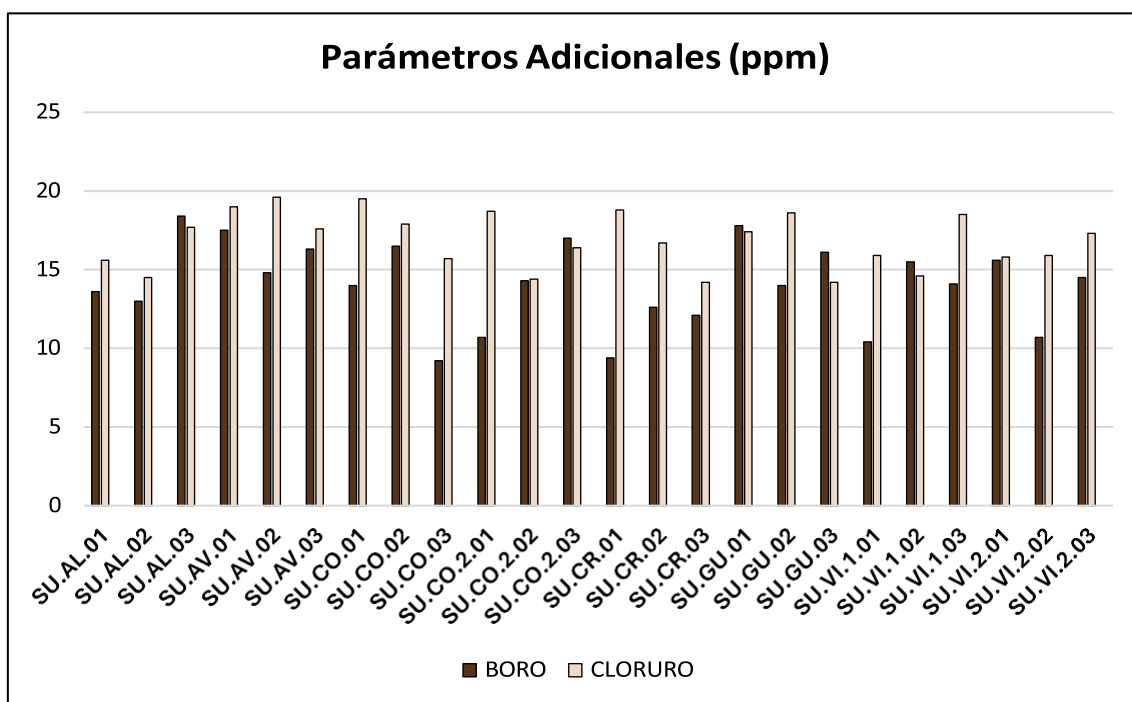


Ilustración 38. Parámetros adicionales por muestra

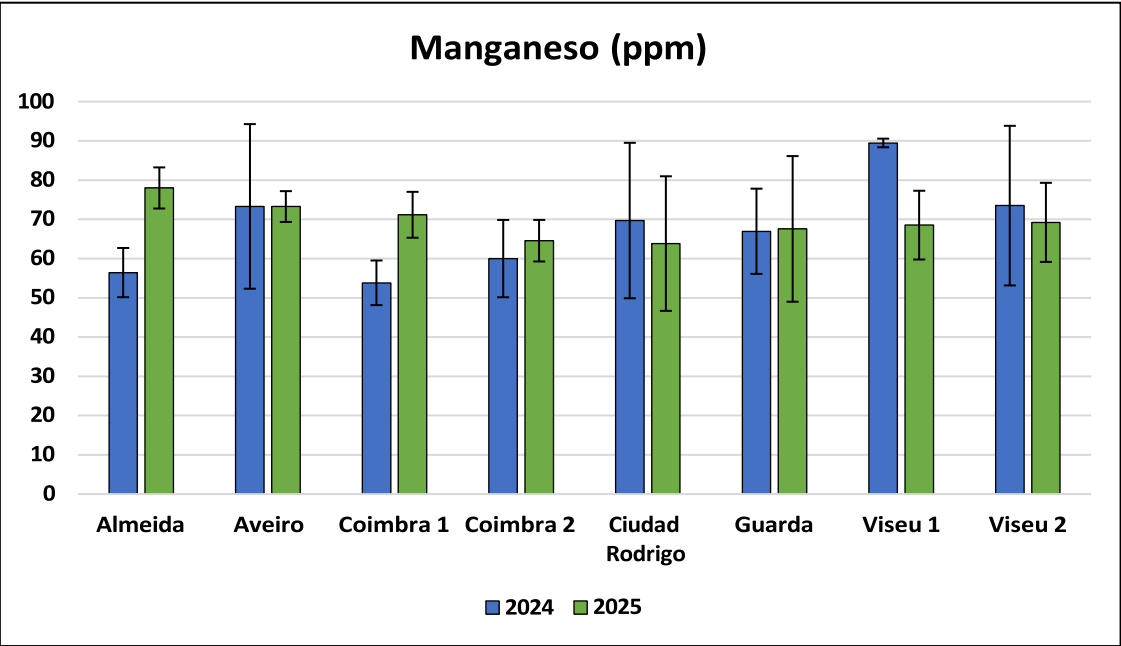


Ilustración 39. Manganeso

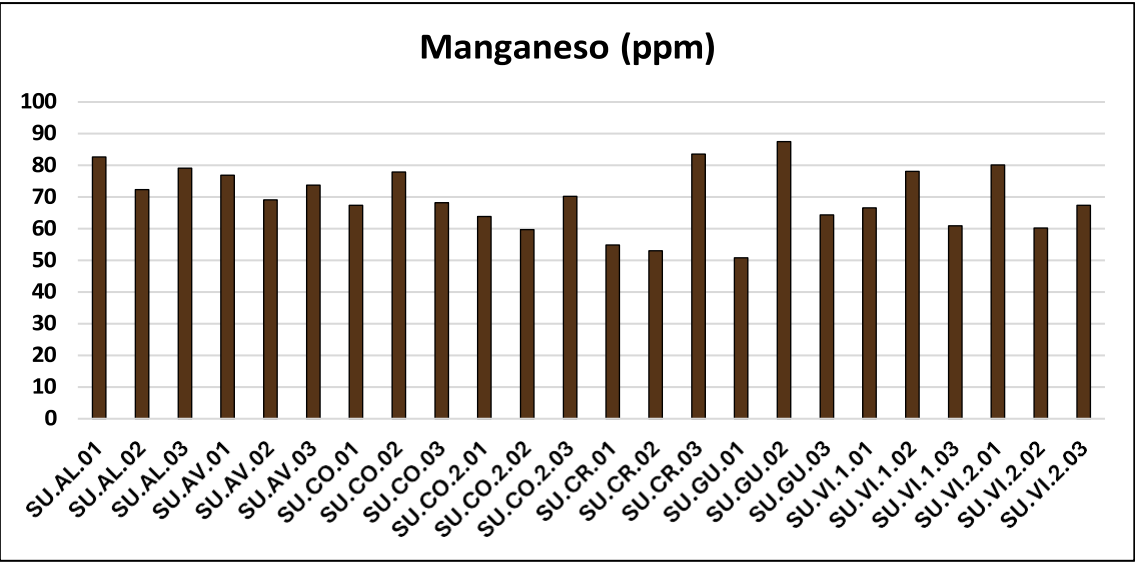


Ilustración 40. Manganeso por muestra

ANEXO II

RESULTADOS. TABLA DE RESULTADOS POR CIUDADES

ALMEIDA
Parque Merendas Mizuela
Coordenadas: Longitud 06º59'08,34"W/-; Latitud 40º29'14,22'N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	32,73%	0,04	11,73	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de escorrentía del suelo	0,1			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	16,27%	0,00651	4,0	
arena%	56,20%	0,00	1,47	
limo%	27,53%	0,05	9,86	
Densidad aparente (g/cm³)	1,40	0,26	18,74	<1,80
Carbono total	0,69%	0,00	22,39	
N(mg/g)	0,71	0,17	23,03	
P (mg/Kg)	14,53	1,85	12,73	El «valor máximo» será establecido por el Estado miembro dentro del rango de 30-50 mg kg-1
K (meq/100g)	0,40	0,08	21,04	
Ca (meq/100g)	3,52	0,32	8,97	
Mg (meq/100g)	1,41	0,19	13,59	
Relación C/N	10,64	0,24	2,22	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0,01			
Boro	15	3,95	19,73	
Cloruro	15,93	1,60	10,20	
Manganeso	78,00	5,24	6,71	
Zn	46,87	2,90	6,19	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guia Técnico)
Conductividad electrica	210,33	23,29	11,07	< 4 dS m-1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	34,50	4,67	13,54	
Nitratos(mg/Kg)	45,60	2,31	5,06	
Temperatura	21,13	0,15	0,72	
Riesgo de erosión	0,5	0,03	7,21	
pH(upH)	6,8	0,34	5,09	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,2	0,26	1,24	
Capacidad de intercambio Catiónico	4,1	0,49	12,02	
Respiración basal	1,71	0,05	2,94	

AVEIRO
Ribeira de Vilar
Coordenadas: Longitud: 8º38'21,256''W/- Latitud: 40º38'15,904''N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	32,50%	0,02	5,61	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de escorrentía del suelo	0,3			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	16,93%	0,03	19,25	
arena%	56,87%	0,04	15,55	
limo%	26,20%	0,04	7,76	
Densidad aparente (g/cm³)	1,49	0,26	17,49	<1,80
Carbono total	0,76%	0,00	3,31	
N(mg/g)	0,49	0,24	49,42	
P (mg/Kg)	14,70	2,42	16,50	< «valor máximo»; El «valor máximo» será establecido por el Estado miembro dentro del rango de 30-50 mg kg-1
K (meq/100g)	0,48	0,12	24,36	
Ca (meq/100g)	3,24	0,11	3,40	
Mg (meq/100g)	1,40	0,23	16,24	
Relación C/N	11,9	0,55	4,61	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0.01			
Boro	16,2	1,35	8,35	
Cloruro	18,73	1,02	5,48	
Manganeso	73,27	3,93	5,36	
Zn	43,77	9,42	21,52	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guia Técnico)
Conductividad electrica	203,67	10,79	5,30	< 4 dS m-1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	32,8	3,99	12,18	
Nitratos(mg/Kg)	45,10	3,20	7,11	
Temperatura	21,1	0,20	0,94	
Riesgo de erosión	0,51	0,05	9,80	
pH(upH)	7,07	0,49	6,98	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,20	0,15	0,72	
Capacidad de intercambio Catiónico	4,29	0,30	7,04	
Respiración basal	1,75	0,06	3,48	

COIMBRA P1
Punto de muestreo 1: Jardim da Sereia
Coordenadas: Longitud: 08°25'08,7"W/-; Latitud: 40°12'34,4"N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	32,07%	0,03	9,86	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de escorrentía del suelo	0,25			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	17,63%	0,02	8,66	
arena%	58,40%	0,02	6,50	
limo%	23,97%	0,02	2,86	
Densidad aparente (g/cm³)	1,45	0,29	20,15	<1,80
Carbono total	0,71%	0,00	20,61	
N(mg/g)	0,75	0,02	3,09	
P (mg/Kg)	12,97	1,30	10,04	
K (meq/100g)	0,35	0,06	17,83	
Ca (meq/100g)	3,05	0,11	3,45	
Mg (meq/100g)	1,35	0,25	18,36	
Relación C/N	11,96	0,66	5,50	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0.01			
Boro	13,23	3,70	28,03	
Cloruro	17,7	1,90	10,78	
Manganeso	71,17	5,84	8,21	
Zn	52,47	0,91	1,73	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guia Técnico)
Conductividad electrica	206,67	36,56	17,69	< 4 dS m–1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	36,00	2,95	8,20	
Nitratos(mg/Kg)	53,33	4,21	7,90	
Temperatura	21	0,1	0,47	
Riesgo de erosión	0,58	0,04	6,90	
pH(upH)	6,9	0,49	6,64	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,3	0,17	0,81	
Capacidad de intercambio cationico	4,0	0,19	4,89	
Respiración basal	1,913333333	0,06	3,06	

COIMBRA P2
Punto de muestreo 2: Mata da Geria
Coordenadas: Longitud: 08°29'58,6''W/-; Latitud: 40°13'58,2''N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	30,87%	0,03	8,29	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de escorrentía del suelo	0,1			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	17,50%	0,02	13,32	
arena%	57,60%	0,03	12,87	
limo%	24,90%	0,03	5,91	
Densidad aparente (g/cm³)	1,60	0,14	8,55	<1,80
Carbono total	0,81%	0,00	0,75	
N(mg/g)	0,51	0,15	29,89	
P (mg/Kg)	16,23	1,16	7,11	
K (meq/100g)	0,40	0,57	14,18	
Ca (meq/100g)	3,28	0,29	8,89	
Mg (meq/100g)	1,57	0,06	3,74	
Relación C/N	10,67	0,87	8,18	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0.01			
Boro	14	3,16	22,58	
Cloruro	16,50	2,15	13,04	
Manganeso	64,57	5,29	8,20	
Zn	48,63	2,80	5,75	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guia Técnico)
Conductividad electrica	168,33333	16,65	9,89	< 4 dS m–1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	32,50	4,68	14,43	
Nitratos(mg/Kg)	46,17	3,18	6,88	
Temperatura	21,06	0,28	1,37	
Riesgo de erosión	0,49	0,04	9,14	
pH(upH)	6,9	0,21	3,03	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,13	0,15	0,72	
Capacidad de intercambio cationico	4,66	0,11	2,46	
Respiración basal	1,69	0,12	7,07	

CIUDAD RODRIGO

La Moretona

Coordenadas: Longitud: 6°32'58,1"W/- Latitud: 40°35'47,1"N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	34,53%	0,012	3,45	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de escorrentía del suelo	0,1			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	13,77%	0,016	11,584	
arena%	61,93%	0,008	8,797	
limo%	24,30%	0,021	1,315	
Densidad aparente (g/cm³)	1,39	0,100	7,224	<1,80
Carbono total	0,75%	0,001	13,471	
N(mg/g)	0,70	0,081	11,58	
P (mg/Kg)	13,90	0,800	5,755	
K (meq/100g)	4,50	1,378	30,656	
Ca (meq/100g)	3,31	0,411	12,435	
Mg (meq/100g)	1,58	0,180	11,440	
Relación C/N	11,02	1,054	9,560	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0.01			
Boro	11,36	1,72	15,14	
Cloruro	16,56	2,30	13,90	
Manganeso	63,83	17,14	26,86	
Zn	45,90	13,59	29,60	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guía Técnico)
Conductividad electrica	220,00	61,44	27,93	< 4 dS m–1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	33,20	5,10	14,79	
Nitratos(mg/Kg)	53,30	8,75	1641302563,00	
Temperatura	21,2	0,20	0,94	
Riesgo de erosión	0,52	0,03	6,66	
pH(upH)	6,7	0,12	1,73	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,26	0,12	0,54	
Capacidad de intercambio cationico	4,08	0,04	0,98	
Respiración basal	1,85	0,18	9,75	

GUARDA
Parque Urbano do Rio Diz
Coordenadas: Longitud 7°14'30.78"W/-; latitud 40°32'54.13"N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	32,57%	0,02	7,33	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de escorrentía del suelo	0,30			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	17,93%	0,03	18,04	
arena%	54,43%	0,05	7,63	
limo%	27,63%	0,02	9,74	
Densidad aparente (g/cm³)	1,64	0,05	2,88	<1,80
Carbono total	0,67%	0,00	12,90	
N(mg/g)	0,71	0,30	42,60	
P (mg/Kg)	14,57	3,04	20,85	
K (meq/100g)	0,45	0,71	15,46	
Ca (meq/100g)	3,62	0,19	5,19	
Mg (meq/100g)	1,41	0,20	13,94	
Relación C/N	11,74	1,09	9,26	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0.01			
Boro	15,96	1,90	11,92	
Cloruro	16,73	2,27	13,59	
Manganeso	67,57	18,55	27,46	
Zn	43,73	9,72	22,22	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guia Técnico)
Conductividad electrica	208	18,58	8,95	< 4 dS m–1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	34,50	5,10	14,79	
Nitratos(mg/Kg)	48,83	7,23	14,80	
Temperatura	21,2	0,17	0,81	
Riesgo de erosión	0,57	0,02	3,04	
pH(upH)	6,8	0,30	4,41	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,17	0,12	0,55	
Capacidad de intercambio cationico	4,15	0,09	7,04	
Respiración basal	1,80	0,07	4,03	

WISEU P1
Separador de trânsito Avenida Dom Afonso Henriques
Coordenadas: Longitud: 7°54'36.32"W/-; latitud: 40°38'36.06"N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	33,20%	0,02	5,50	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de escorrentía del suelo	0,1			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	17,00%	0,02	12,07	
arena%	56,93%	0,05	10,80	
limo%	26,07%	0,03	8,54	
Densidad aparente (g/cm³)	1,52	0,11	16,21	<1,80
Carbono total	0,66%	0,00	5,16	
N(mg/g)	0,55	0,19	34,34	
P (mg/Kg)	13,43	2,44	18,19	
K (meq/100g)	0,46	0,55	11,94	
Ca (meq/100g)	3,09	0,24	7,63	
Mg (meq/100g)	1,40	0,17	12,14	
Relación C/N	10,03	0,23	2,31	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0.01			
Boro	13,33	2,63	19,76	
Cloruro	16,33	1,98	12,16	
Manganeso	68,53	8,76	12,78	
Zn	40,87	3,82	9,34	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guia Técnico)
Conductividad electrica	210,33	63,07	29,98	< 4 dS m–1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	34,16	4,77	19,76	
Nitratos(mg/Kg)	44,60	4,07	12,16	
Temperatura	21,1	0,26	1,25	
Riesgo de erosión	0,53	0,09	16,12	
pH(upH)	6,87	0,06	0,84	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,03	0,15	0,73	
Capacidad de intercambio cationico	4,34	0,54	12,65	
Respiración basal	1,84	0,05	2,46	

WISEU P2
Caldeiras Avenida Cidade Politénica
Coordenadas: Longitud: 7°55'6.93"W/-; latitud: 40°38'28.81"N/+

Parámetro	Resultado	Desv. Estandar	Coef. de variación	Criterios de salud del suelo
Capacidad retención agua	31%	0,02	6,97	El valor estimado para la capacidad de retención de agua total de un distrito edáfico por cuenca o subcuenca hidrográfica se sitúa por encima del umbral mínimo. El umbral mínimo será establecido (en toneladas) por el Estado miembro a nivel de distrito edáfico y cuenca o subcuenca hidrográfica en un valor tal que se mitiguen los efectos de las inundaciones después de episodios de lluvia intensa o de períodos de baja humedad del suelo debido a episodios de sequía.
Coeficiente de esorrentía del suelo	0,15			
textura	Franco Arenoso Arcilloso			
arcilla%	13,30%	0,01	4,70	
arena%	61,83%	0,02	11,33	
limo%	24,87%	0,23	3,69	
Densidad aparente (g/cm³)	1,39	0,02	16,21	1,80
Carbono total	0,75%	0,00	18,88	
N(mg/g)	0,52	0,16	31,56	
P (mg/Kg)	13,43	1,07	7,96	
K (meq/100g)	0,41	1,38	33,61	
Ca (meq/100g)	3,65	0,24	6,59	
Mg (meq/100g)	1,47	0,23	15,66	
Relación C/N	10,81	1,02	9,48	
Metales pesados(As, Sb, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Tl, V)	<0.01			
Boro	13,60	2,57	18,90	
Cloruro	16,33	0,83	5,13	
Manganeso	69,23	10,08	14,55	
Zn	40,50	10,75	26,54	Castilla león (250 mg/kg uso residencial según Ley 8/2019, de 19 de febrero; 200 mg/kg para ecosistemas según Decreto 60/2009, de 26 de febrero y 150 mg/kg ms (ph<7) 200 mg/kg sms (ph≥7) para suelos agrarios según Real Decreto 1051/2022), Portugal (290 mg/kg peso seco según Solos Contaminados – Guia Técnico)
Conductividad electrica	224,33	41,30	18,41	< 4 dS m–1 cuando se utiliza el método de medición del extracto de pasta saturada (CEe), o un criterio equivalente si se utiliza otro método de medición
Amonio(mg/Kg)	32,96	3,77	11,43	
Nitratos(mg/Kg)	44,37	6,28	14,16	
Temperatura	21,00	0,1	0,48	
Riesgo de erosión	0,54	0,05	8,25	
pH(upH)	7,00	0,17	2,47	
Temperatura en medicion pH(°C)	21,16	0,23	1,09	
Capacidad de intercambio cationico	4,00	0,30	7,65	
Respiración basal	1,68	0,12	6,91	

