

Hacia un marco metodológico común para el muestreo, extracción y análisis isotópico del agua en la Zona Crítica para estudiar el uso del agua de la vegetación

El análisis de la composición isotópica estable del hidrógeno y el oxígeno en muestras de agua procedentes de suelos y plantas se puede usar para identificar las fuentes de agua de la vegetación. Los compartimentos hídricos de plantas y suelos son heterogéneos. Por lo tanto, a la hora de aplicar técnicas isotópicas es necesario tener en cuenta esta heterogeneidad durante el diseño experimental, la recogida de muestras, la extracción de agua y la determinación isotópica. A pesar de la extensa literatura científica sobre los distintos métodos de extracción de agua y análisis de la composición isotópica, la comunidad sigue careciendo de una hoja de ruta para guiar la recogida de muestras, la extracción y los análisis isotópicos. Hay cuestiones prácticas para los usuarios potenciales que siguen sin resolverse: por ejemplo, ¿qué reserva(s) de agua (del suelo o de las plantas) representa el agua extraída? Esto es un obstáculo para la aplicación del método por parte de usuarios sin experiencia previa. Aquí resumimos los debates que tuvieron lugar en el marco de la COST action WATSON ("WATer isotopeS in the critical zONe: from groundwater recharge to plant transpiration"-CA19120). En esta revisión damos directrices para (1) el muestreo de suelo y material vegetal para el análisis isotópico, (2) los métodos de extracción de agua en laboratorio o in situ, y (3) las mediciones de la composición isotópica. Destacamos la importancia de considerar la aproximación metodológica en su conjunto, desde el diseño experimental hasta el análisis isotópico, para minimizar las estimaciones sesgadas de la contribución relativa de las diferentes fuentes de agua de las plantas. Finalmente, señalamos las limitaciones de esta metodología y hacemos recomendaciones sobre la recogida de parámetros ambientales que es necesario hacer antes de la recogida de muestras para análisis isotópicos.

Uso de isótopos estables para la gestión de los recursos hídricos en ecosistemas forestales y agrícolas

Está previsto que las tendencias climáticas actuales y futuras alteren notablemente los flujos de agua y los compartimentos del ciclo hidrológico. Además, la demanda de agua sigue creciendo debido al mayor uso de agua de la sociedad y el aumento de población. La gestión sostenible de los recursos hídricos requiere un conocimiento profundo del almacenamiento y el flujo de agua en los ecosistemas naturales, agrícolas y urbanos. Las mediciones de isótopos estables del agua (hidrógeno y oxígeno) en el ciclo del agua (atmósfera, suelos, plantas, aguas superficiales y subterráneas) pueden proporcionar información sobre las vías de transporte, el origen, la dinámica, la edad y las reservas de almacenamiento del agua que es difícil de obtener con otras técnicas. Sin embargo, aún no se ha explotado plenamente el potencial de estas técnicas para cuestiones prácticas. En este estudio se describen las ventajas y limitaciones de las posibles aplicaciones de los métodos de isótopos estables útiles para los gestores del agua, los agricultores y otras partes interesadas. También describimos varios casos de estudio que demuestran cómo los isótopos estables del agua pueden ayudar a la toma de decisiones en la gestión del agua. Por último, proponemos un flujo de trabajo que guía a los usuarios a través de una secuencia de decisiones necesarias para aplicar métodos de isótopos estables a ejemplos de problemas de gestión del agua. Hacemos un llamamiento al diálogo permanente y a una mayor conexión entre las partes interesadas en la gestión del agua y los profesionales de los isótopos estables del agua para identificar los problemas más acuciantes y elaborar directrices sobre las mejores prácticas para aplicar estas técnicas.

Composición isotópica del agua del suelo y del xilema de la rama de árboles durante dos campañas de muestreo paneuropeas

Las relaciones isotópicas estables del hidrógeno ($\delta^2\text{H}$) y el oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$) son cruciales para estudiar la dinámica ecohidrológica de los bosques. Sin embargo, la mayoría de los estudios se limitan a lugares concretos, por lo que se carece de datos isotópicos a gran escala para comprender la captación de agua de los árboles. En este estudio presentamos una primera base de datos isotópicos sistemáticos del agua del suelo y del xilema de la rama de árboles recogidos durante dos campañas de muestreo paneuropeas en 40 bosques de hayas (*Fagus sylvatica*), píceas (*Picea abies*) o en bosques mixtos de hayas y píceas en primavera y verano del 2023 (Lehmann et al., 2024). La base de datos se complementa con metadatos adicionales específicos del lugar, el suelo y el árbol. Las muestras y los metadatos fueron recogidos por diferentes investigadores de toda Europa siguiendo un protocolo estandarizado. Se tomaron muestras de suelo hasta 5 profundidades (de 0 a 90 cm) y muestras del xilema del tronco de tres hayas y/o abetos por lugar. Todas las muestras se enviaron a un único laboratorio, donde se realizó todo el trabajo analítico. El agua se extrajo mediante destilación criogénica al vacío y se analizó con un espectrómetro láser de isótopos. Además, un subconjunto de las muestras se analizó con un espectrómetro de masas de relación isotópica. Las comprobaciones de la calidad de los datos revelaron una alta eficiencia media total de extracción, una cantidad media absoluta de agua relativamente alta (> 1 mL), así como una buena exactitud y precisión analíticas. La señal isotópica del agua del suelo y del xilema de la rama varió en función del origen geográfico y cambió de primavera a verano en todos los sitios. Mientras que los valores $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ estaban fuertemente correlacionados, los datos del agua del suelo se situaron más cerca de la Línea Global de Agua Meteórica (GMWL) que el agua del xilema de la rama. En concreto, los valores $\delta^2\text{H}$ del xilema de la rama resultaron estar más enriquecidos que los del agua del suelo, lo que provocó una desviación sistemática respecto la GMWL. El enriquecimiento isotópico del agua del xilema de la rama fue mayor para la picea que para el haya en bosques mixtos. Esta base de datos es especialmente útil para estudios a gran escala sobre el uso del agua por las plantas, pruebas de modelos ecohidrológicos y cartografía isotópica en toda Europa.

Avances recientes en los modelos de mezcla asistidos por trazadores de los flujos de agua de la Zona Crítica

La Zona Crítica es la capa de la superficie terrestre donde interactúan el aire, el agua, las plantas, el suelo y las rocas. Entender cómo se mueve el agua por esta zona es esencial para gestionar los recursos hídricos y mantener unos ecosistemas sanos, sobre todo porque las condiciones pueden cambiar en el futuro. Una forma en que los investigadores estudian el movimiento del agua en la Zona Crítica es utilizando modelos de mezcla asistidos por trazadores. Estos modelos combinan marcadores naturales, denominados "trazadores", para seguir la trayectoria del agua a medida que se desplaza desde las precipitaciones al subsuelo y a través de los acuíferos profundos. Esta revisión destaca los avances recientes en estos modelos asistidos por trazadores y cómo mejoran nuestra comprensión del flujo de agua en la Zona Crítica.