

Pasado, presente y futuro del uso del abedul, *Betula celtiberica*, en el noroeste de España

Pau Cruz Ramón¹,
Ana B. Fernández-Salegui¹,
Blanca, Cortón-Gracia^{1,2},
Sergio Rodríguez-Fernández^{1,2},
Antonio Encina^{3,4},
Sandra Lobato Pérez⁵,
Ana I. Paniagua-García⁵,
Rebeca Díez-Antolínez⁵,
Miguel Ángel Blanco-Rodríguez⁶,
Carmen Acedo¹,
Estrella Alfaro-Saiz^{1,2}

¹ Área de Botánica, Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, León, España.

² Herbario LEB Jaime Andrés Rodríguez, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, León, España.

³ Área de Fisiología Vegetal, Departamento de Ingeniería y Ciencias Agrarias, Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales, Universidad de León, León, España.

⁴ Instituto de Biología Molecular, Genómica y Proteómica (INBIOMIC), Universidad de León, Campus de Vegazana, León, España.

⁵ Centro de Biocombustibles y Bioproductos, Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), Villarejo de Órbigo, León, España.

⁶ Departamento de Ciencias e Ingeniería Agrarias y Forestales, Universitat de Lleida, Lleida, España.

La savia y las hojas de abedul constituyen productos forestales no maderables con creciente interés por sus posibles aplicaciones alimentarias, cosméticas y nutraceuticas. En este trabajo se analizó el potencial de uso de *Betula celtiberica* en la Reserva de la Biosfera de los Valles de Omaña y Luna (León) desde una perspectiva etnobotánica, bioquímica, fisiológica y conservacionista. Para ello, se documentaron sus usos tradicionales, se evaluó la producción de savia y su composición, se estudió el perfil fitoquímico y la capacidad antioxidante de las hojas y se valoró el posible impacto de la extracción sobre el estado hídrico y la capacidad fotosintética de los árboles. Los resultados muestran que el abedul ha tenido una importancia destacada en la vida local y que tanto la savia como las hojas presentan interés aplicado: la savia mostró una composición comparable a la descrita para otras especies del género *Betula*, mientras que las hojas destacaron por su elevada riqueza en compuestos fenólicos y su alta capacidad antioxidante. Además, no se detectaron efectos fisiológicos negativos apreciables a corto plazo tras la extracción de savia.

Palabras clave: Abedular, savia de abedul, extractos vegetales, conservación, etnobotánica

1. INTRODUCCIÓN

Los bosques de abedul presentes en la Cordillera Cantábrica constituyen relictos de vegetación boreal que albergan una elevada diversidad biológica y un notable valor ecológico. En estas formaciones forestales domina *Betula celtiberica* Rothm. & Vasc. (Fig. 1), una especie adaptada a condiciones de montaña y suelos silíceos de la península ibérica (Ashburner & McAllister, 2016).

El uso sostenible de plantas silvestres constituye una estrategia importante para la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural, especialmente en regiones con una elevada dependencia de los recursos naturales (Convention of Biological Diversity, 2022). En este contexto, los productos forestales no maderables han adquirido un creciente interés como alternativa económica compatible con la gestión sostenible de los eco-



Fig. 1. Pliego testigo de *Betula celtiberica* depositado en la Reserva de la Biosfera de los Valles de Omaña y Luna y con duplicado en el Herbario Jaime Andrés Rodríguez (LEB) de la Universidad de León, realizado en el marco de este proyecto

sistemas forestales (United Nations, 2015).

Entre estos recursos, la savia de abedul constituye un producto tradicional en numerosos países del hemisferio norte, donde se recolecta desde hace siglos al inicio de la primavera. La savia se consume como bebida fresca o se utiliza para elaborar distintos productos derivados, como bebidas fermentadas, jarabes

o cosméticos (Svanberg *et al.*, 2012; Keita *et al.*, 2021). Su creciente popularidad en mercados internacionales se debe en parte a su composición química, caracterizada por la presencia de azúcares, minerales, aminoácidos y otros compuestos bioactivos (Łuczaj *et al.*, 2014; Sancho *et al.*, 2022).

La extracción de savia se realiza generalmente mediante pequeñas

perforaciones en el tronco que permiten canalizar el flujo de savia ascendente durante el periodo previo a la brotación. Este flujo se produce como consecuencia de procesos fisiológicos asociados a la movilización de reservas y a la actividad radicular al inicio del ciclo vegetativo (Mingaila *et al.*, 2024; Zajączkowska *et al.*, 2019).

En algunas zonas del noroeste de España se han iniciado recientemente experiencias de extracción de savia de abedul vinculadas a proyectos de desarrollo rural y bioeconomía; sin embargo, para garantizar la sostenibilidad de este aprovechamiento, resulta necesario evaluar sus posibles efectos sobre la fisiología de los árboles y la dinámica de los ecosistemas forestales, ya que apenas existe información sobre el daño o estrés que se provoca en los abedules durante la extracción. Para analizar este posible estrés se pueden emplear diversos parámetros fisiológicos, como el potencial hídrico del xilema y la fluorescencia de la clorofila *a* del fotosistema II (Juenger & Verslues, 2023; Maxwell & Johnson, 2000).

En este contexto, el presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

- Conocer los usos tradicionales del abedul por las comunidades locales.
- Analizar la composición de azúcares y compuestos orgánicos de la savia de abedul y la composición química, la actividad antioxidante y la capacidad de captación de radicales libres de las hojas del abedul.
- Evaluar el impacto de la extracción de savia sobre el estado fisiológico de los árboles de abedul, monitoreando el potencial hídrico y la fluorescencia de la clorofila *a* como indicadores de estrés.
- Realizar una propuesta de buenas prácticas para el uso de recursos en los abedulares.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Reserva de la Biosfera de los Valles de Omaña y Luna (RBVOyL), en la provincia de León. Se seleccionaron árboles en tres localidades pertenecientes a Montes de Utilidad Pública

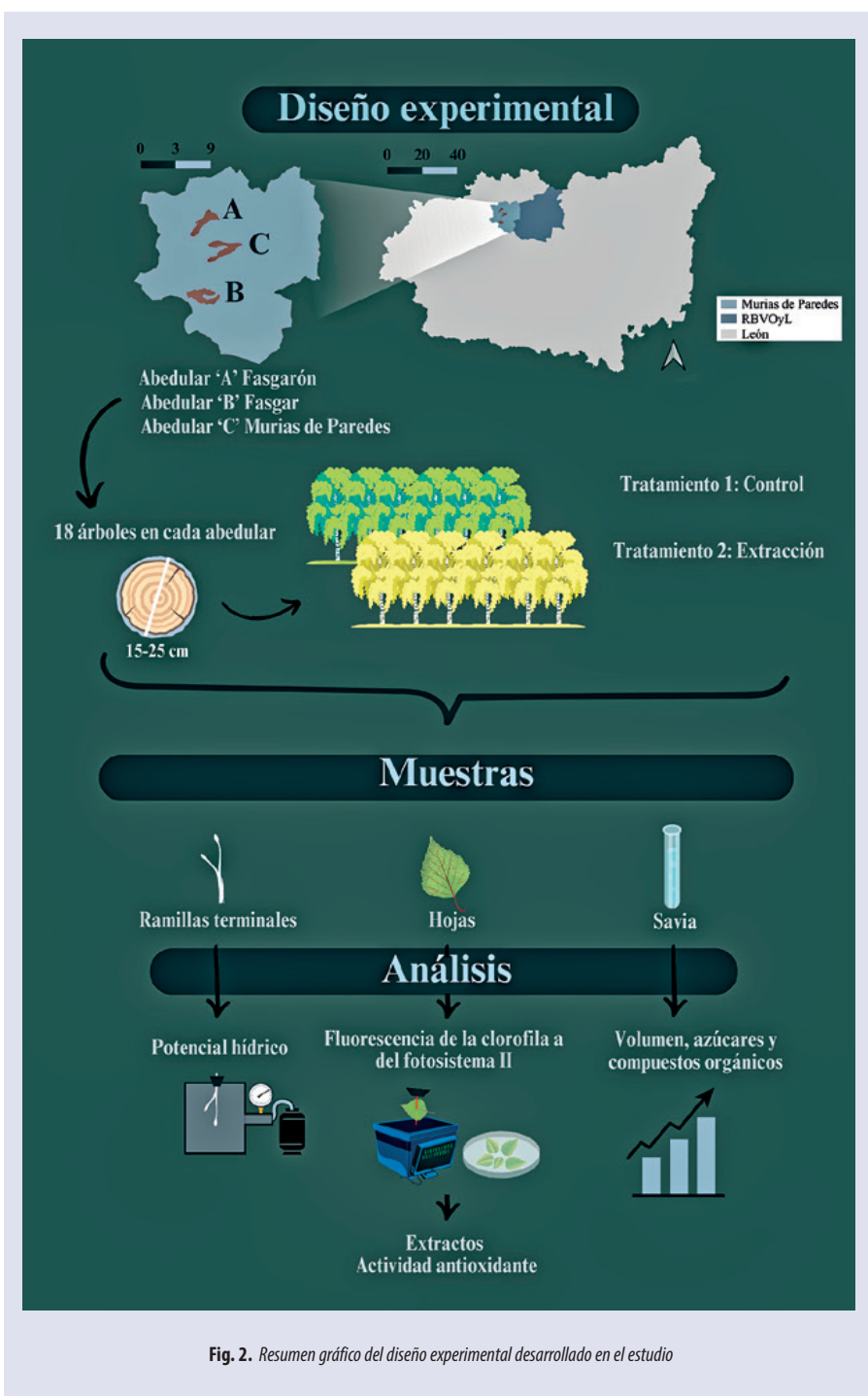


Fig. 2. Resumen gráfico del diseño experimental desarrollado en el estudio

(MUP), en el municipio de Murias de Paredes, accesibles y de características homogéneas: el abedular "A", ubicado en la localidad de Vivero de Omaña, el abedular "B" en Fasgar y el abedular "C" en Murias de Paredes (Fig.2). Los tres abedulares se localizan a altitudes comprendidas aproximadamente entre 1300 y 1480 metros sobre el nivel del mar y presentan orientaciones predominantes hacia el noroeste.

Las formaciones estudiadas corresponden a bosques naturales,

con individuos adultos de diferentes diámetros y una estructura forestal heterogénea.

Para la realización de este estudio se solicitó autorización a la administración pública para la extracción de muestras.

Entrevistas etnobotánicas

El trabajo metodológico se fundamentó principalmente en la realización de entrevistas semiestructuradas a población local, complementadas con grabaciones de audio y material

fotográfico. La selección de las personas informantes se llevó a cabo mediante visitas preliminares a las distintas localidades de estudio, así como a través de los contactos facilitados por la gestora de la RBVOyL. El trabajo de campo se desarrolló durante los veranos de 2020 y 2021.

Extracción y análisis de savia

La extracción de savia se realizó siguiendo la metodología descrita en el trabajo previo desarrollado por parte de los autores (Alfaro-Saiz *et al.*, 2026). Para la realización del estudio de la savia se seleccionaron 18 abedules con características similares de diámetro a la altura del pecho (DAP, 14-20 cm), rectitud del tronco y bajo grado de ramificación. La extracción de savia se llevó a cabo entre el 8 y el 16 de abril de 2024. En cada abedular se seleccionaron seis árboles control y se perforaron 12. En cada orificio se introdujo una manguera de PVC de grado alimentario de 10 mm de diámetro, conectada a un depósito previamente etiquetado y fijado al árbol. La tapa del depósito tenía un orificio que facilitaba la entrada de aire para permitir el flujo continuo de savia. El periodo total de extracción fue de 10 días. Durante este tiempo se registró el volumen de savia obtenido en cada árbol, lo que permitió estimar la productividad potencial del recurso bajo las condiciones del área de estudio. Finalizado el periodo de extracción las perforaciones realizadas en el tronco se sellaron.

Las muestras de savia obtenidas fueron analizadas, para determinar su contenido en azúcares y ácidos orgánicos, mediante un equipo HPLC Agilent 1200 (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, EE. UU.) equipado con un detector de índice de refracción (RID, G1362A, Agilent Technologies). La separación se realizó con la columna Aminex HPX-87H (300 mm x 7.8 mm) de intercambio catiónico (Biorad, Hercules, CA, USA) que se mantuvo a 60 °C durante el análisis. Como fase móvil se utilizó una disolución 5 mM de ácido sulfúrico a un flujo de 0,6 mL/min. Todas las muestras fueron filtradas a través de filtros de jeringa de nylon de 0,22 µm antes de su análisis.

Análisis de hojas de abedul

Se generaron extractos de hojas de *Betula celtiberica*, los cuales fueron analizados para la identificación y cuantificación de distintos fitocompuestos, así como para la evaluación de su capacidad antioxidante. Los extractos fueron preparados mediante un equipo de extracción con solventes a presión (Dionex ASE 350, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA), bajo condiciones que fueron previamente optimizadas maximizando el rendimiento de extracción de los compuestos fenólicos. Se partió de 1 g de hojas de abedul que fueron previamente secadas a 45 °C durante 48 horas y picadas en un molino rotativo (SM100 Comfort, Restsch GmbH, Haan, Alemania). A continuación, 1 g del material picado fue extraído en una celda de extracción de acero inoxidable de 34 ml utilizando una mezcla hidroalcohólica con un 50 % de etanol, a 200 °C durante 30 minutos.

El contenido en compuestos fenólicos totales (TPC), taninos totales (TTC), proantocianidinas totales o taninos condensados o proantocianidinas totales (TPrC) y taninos hidrolizables totales (THTC) se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu, mientras que el contenido en flavonoides totales (TFC) se evaluó por espectrofotometría UV-Vis. Los resultados se expresaron como gramos de equivalentes de ácido gálico (g GAE)/100 g de muestra vegetal para TPC, TTC, TPrC y THTC, y como gramos de equivalentes de catequina (g CE)/100 g de muestra vegetal para TFC. La actividad antioxidante se determinó mediante el ensayo de reducción del hierro (FRAP), por espectrofotometría UV-Vis, y los resultados se expresaron como gramos de equivalentes de ácido ascórbico (g AAE)/100 g de muestra vegetal. Asimismo, se evaluó la capacidad de captación de radicales libres DPPH (RSA) mediante espectrofotometría UV-Vis, obteniéndose como resultados la RSA máxima, expresada en porcentaje (%), la concentración de antioxidante necesaria para alcanzar dicha RSAmáx (C RSAmáx) y la concentración de antioxidante necesaria para alcanzar el 50 % de la RSAmáx (IC50), ambos

expresados en mg de material vegetal/mL de extracto. Todos los procedimientos analíticos han sido descritos previamente en detalle por Paniagua-García et al. (2026).

Potencial hídrico y fluorescencia de la clorofila

El estudio evaluó posibles daños de la extracción de savia mediante dos indicadores fisiológicos clave: su balance hídrico y su capacidad fotosintética. El potencial hídrico, que informa sobre el estado de hidratación del árbol y la fluorescencia de la clorofila, que permite estimar cómo está funcionando su aparato fotosintético.

El potencial hídrico de los árboles se evaluó mediante la medición del

potencial hídrico del xilema utilizando una cámara de presión o cámara de Scholander (Scholander *et al.*, 1965).

La eficiencia del aparato fotosintético se evaluó mediante mediciones de fluorescencia de la clorofila *a* asociada al fotosistema II, utilizando un fluorómetro (Teaching PAM 210, Walz).

La metodología en detalle de ambos procesos experimentales puede consultarse en Alfaro-Saiz *et al.* (2026).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Betula celtiberica en Omaña, llamado bidul, bedul y abedul, fue nombrado por 11 de 46 informantes locales. Este árbol se empleó como

Existimos en lo que nos rodea



Restauración fluvial del río Guadiana - Fase I (Villagonzalo, Badajoz)

Matinsá

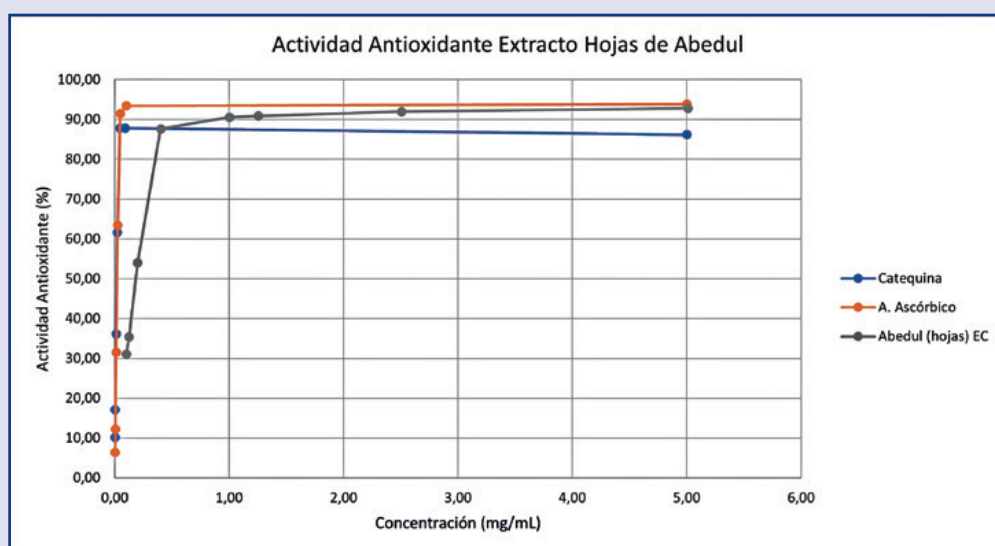


Fig. 3. Gráfica de actividad antioxidante frente a radicales libres de DPPH (%) del ácido ascórbico, la catequina y del extracto de las hojas de *Betula celtiberica* preparado mediante equipo de extracción con solventes a presión (ASE) con una mezcla hidroalcohólica que contiene un 50 % de etanol, a 200 °C durante 30 min, frente a la concentración de la planta (mg/ml) a partir de la cual se ha preparado el extracto.

medicinal (recogida de la hoja como diurético y reumático), combustible (su madera para leñas principalmente), además de para alimentación animal (las hojas en fresco como forraje para el ganado durante el invierno), artesanía e industria (su madera para la elaboración de los baleos, las madreñas, el entremisu) y construcción (para hacer el armazón del carro, llamado brazuelo). El uso medicinal de las hojas estaba tan extendido, que los informantes han registrado que, en el herbolario de Villanueva de Omaña, se gestionaron hasta cinco toneladas de hojas de abedul por temporada.

Es importante destacar que los habitantes de Omaña Alta reconocen el valor medioambiental de los bidulares para el refugio de especies emblemáticas como el urogallo.

Algunos informantes locales, durante las entrevistas, hicieron alusión a un fenómeno de recuperación del bosque, relacionado con el cambio de uso y la recuperación del mismo.

“Antes apenas había, pero de poco para acá hay cada vez más” (Lazado).

“Había zonas que casi no se tocaban, donde queda el urogallo, era un abedular viejo y se usaba para hacer una pieza para un arado, madreñas... pero poco más” (Fasgar).

“Ahora empieza a haber, antes no había nada. Lo cortaban

para balear cuando majaban el centeno” (Manzaneda de Omaña).

La recuperación del bosque autóctono es cuantificable y ha sido recogida en estudios locales (García de Celis *et al.*, 2004). Este hecho representa una oportunidad para que los habitantes locales utilicen sus recursos no maderables desde el conocimiento, el respeto y la conservación.

Producción y análisis de la savia

En total, se recolectaron 323,4 litros de savia de los 34 abedules: 162,25 litros en el abedular “A”, siendo la mayor cantidad; 85,65 litros en el abedular “C” y 75,5 litros en el abedular “B”. Cada abedul produjo una media de 9,5 litros en 7 días, lo que equivale a 1,3 litros por árbol y día.

En las muestras de savia de *Betula celtiberica* se detectaron sobre todo azúcares y, en menor proporción, ácidos orgánicos. La glucosa presentó una concentración media de $1,83 \pm 0,86$ g/l y la fructosa de $3,46 \pm 1,1$ g/l, mientras que entre los ácidos orgánicos destacó el ácido cítrico, con 0,052 g/l; el ácido málico apareció en cantidades bajas y los ácidos succínico y acético fueron muy escasos. En conjunto, estos resultados indican que la savia de abedul es un líquido muy acuoso, con un claro predominio de compuestos azucarados, algo que coincide con lo descrito en otros estudios sobre savia de distintas es-

pecies de *Betula*, donde los azúcares y los ácidos orgánicos se consideran sus componentes más relevantes desde el punto de vista nutricional y tecnológico (Kallio y Ahtonen, 1987; Łuczaj *et al.*, 2014). Además, los valores obtenidos para glucosa, fructosa y ácido cítrico se sitúan dentro de los rangos publicados para otros abedules europeos y asiáticos, lo que sugiere que *B. celtiberica* comparte un perfil composicional semejante al del resto del género (Jeong *et al.*, 2013; Kūka *et al.*, 2013; Semjonovs *et al.*, 2014; Grabek-Lejko *et al.*, 2017). Por ello, la savia estudiada refuerza su interés como recurso natural con posible aprovechamiento alimentario y cosmético, aunque su composición puede variar según las condiciones ambientales, el momento de recolección y el método de extracción.

Análisis de las hojas de abedul

Respecto a la composición de las hojas de abedul recogidas, el análisis de sus extractos reveló altas concentraciones de compuestos bioactivos y elevadas actividades antioxidantes. Así, se observaron los siguientes resultados: $10,35 \pm 0,12$ g GAE/100 g de TPC, $3,08 \pm 0,01$ g CE/100 g de TFC, $6,94 \pm 0,12$ g GAE/100 g de TTC, $0,34 \pm 0,01$ g GAE/100 g de THTC y $6,59 \pm 0,01$ g GAE/100 g de TPrC.

En cuanto a la actividad antioxidante del extracto generado a partir

de las hojas de abedul, éste mostró un valor de $9,92 \pm 0,10$ g AAE/100 g en el análisis del FRAP. Además, se alcanzó un valor de RSAmáx de $89,5 \pm 0,2$ % para los extractos de hojas de abedul preparados a partir de 1,00 mg/ml y un valor de IC50 de $0,14 \pm 0,02$ mg/ml. Si comparamos estos resultados con los determinados para compuestos antioxidantes puros, como el ácido ascórbico y la catequina queda de manifiesto la elevada capacidad antioxidante que presentan los extractos generados a partir de las hojas de abedul (Fig.3). De este modo, los extractos de las hojas de abedul se presentan como una alternativa a las sustancias antioxidantes sintéticas para uso en alimentación humana y animal, cosmética y nutracéutica.

Potencial hídrico y fluorescencia de la clorofila a

Los valores de potencial hídrico se situaron entre $-0,08$ y $-1,05$ MPa, un rango que corresponde a árboles bien hidratados y alejado de situaciones de estrés hídrico severo. Aunque a la semana se observó un descenso, al cabo de un mes los árboles mostraron una recuperación de este parámetro.

En el caso de la capacidad fotosintética, los rendimientos cuánticos máximo y efectivo se situaron entre $0,61-0,79$ y $0,66-0,77$, respectivamente, valores compatibles con plantas sin síntomas claros de estrés.

En conjunto, ambos indicadores apuntan a que, en las condiciones de este estudio, la extracción de savia no provocó daños fisiológicos apreciables a corto plazo, por lo que podría considerarse una práctica compatible con un aprovechamiento responsable. No obstante, es necesario seguir investigando sus efectos a más largo plazo para confirmar su sostenibilidad (Alfaro-Saiz *et al.*, 2026).

4. BUENAS PRÁCTICAS Y RECOMENDACIONES PARA LA EXTRACCIÓN DEL ABEDUL Y SU COMPATIBILIDAD CON LA CONSERVACIÓN Y RESPETO DEL BOSQUE.

1. Extraer savia únicamente en zonas con buen acceso y baja sensi-

bilidad ecológica, de manera que el tránsito de personas y el uso del equipo no dañen la vegetación del sotobosque ni provoquen compactación del suelo.

2. Debe evitarse la extracción en áreas maduras del bosque y/o en la zona núcleo (*core area*), así como en enclaves de alto valor para la conservación. Existen abedulares en áreas cercanas a los pueblos, de fácil acceso y áreas de recolonización y expansión que son áreas privadas o montes de Utilidad Pública, susceptibles de ser utilizadas para obtener estos recursos.
3. Debe existir una autorización expresa y una evaluación previa de

compatibilidad con los objetivos de conservación.

4. El momento para extraer savia varía según la ubicación y el año, depende principalmente de las condiciones climatológicas; en el noroeste de la Península Ibérica, generalmente ocurre desde finales de marzo a principios de abril, debiendo adaptarse el momento exacto a cada año.
5. Extraer savia solo de árboles saludables con un diámetro mínimo de 20 cm a la altura del pecho.
6. Realizar solo una perforación por árbol y año. En caso de extraer savia de un abedul dos años consecutivos, realizar el orificio a un lado del existente.



Gesnature Ingeniería

Consultoría ambiental y forestal.
Gestión del medio natural.






 info@gesnature.es



Fig. 2. Trabajo en equipo durante el muestreo nocturno de hojas y ramillas de *Betula celtiberica* para evaluar la capacidad fotosintética y el potencial hídrico, dos indicadores clave del estado funcional de los árboles y de su respuesta al estrés ambiental

7. Ubicación del orificio: 50 - 130 cm de altura en la cara norte del árbol, ya que se sabe que se extrae mayor cantidad de savia en esta cara.
8. Orificios de extracción: profundidad de 2-3 cm, con un ligero ángulo ascendente, utilizando una broca de 8 - 12 mm. No introducir el equipo demasiado profundo, ya que la madera puede agrietarse y causar filtraciones.
9. Esterilizar el equipo de extracción antes de usarlo (tubos, brocas...); también esterilizar entre árboles y entre zonas.
10. Retirar el equipo de extracción al finalizar la temporada. Es necesario tapar el orificio con resina o ungüento de poda comercial.
11. Recoger la savia diariamente, con el fin de evitar posibles contaminaciones y fermentaciones no deseadas. Suspender la recolección cuando aparezca levadura en los tubos o se vuelva turbia. La savia que ha comenzado a fermentar ya no debe usarse para alimentación.
12. Extraer savia solo cuando el flujo de esta sea continuo y suspender la extracción si se observan daños en la corteza, exudados anómalos o cualquier signo de deterioro del árbol.

5. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra que *Betula celtiberica* constituye un recurso forestal de interés, tanto desde el punto de vista ecológico y cultural como por su posible aprovechamiento aplicado. Las entrevistas etnobotánicas confirman la relevancia histórica del abedul en Omaña y ponen de manifiesto que el conocimiento local puede seguir siendo una base valiosa para orientar usos sostenibles del bosque e interpretar la recuperación de los abedules como una oportunidad.

En relación con la savia, los resultados obtenidos indican que su composición química es comparable a la

Los abedulares cantábricos, en cualquier caso, deben entenderse en primer lugar como espacios de alto valor ecológico, por lo que su aprovechamiento ha de basarse en la prudencia, la evidencia científica y el respeto

descrita en otras regiones donde este recurso se aprovecha tradicionalmente, lo que refuerza su potencial alimentario y cosmético. Además, el seguimiento fisiológico realizado no detectó indicios de estrés hídrico ni alteraciones en la capacidad fotosintética durante el primer mes tras la extracción, lo que sugiere que, bajo las condiciones estudiadas, este aprovechamiento puede realizarse sin efectos negativos apreciables a corto plazo. No obstante, estos resultados deben interpretarse con prudencia. El estudio se desarrolló en una única campaña y en una escala temporal limitada, por lo que serán necesarios seguimientos plurianuales para evaluar posibles efectos acumulativos de la extracción repetida.

Por su parte, los extractos de hojas de abedul mostraron una elevada concentración de compuestos fenólicos y una notable capacidad antioxidante, lo que amplía el interés del recurso más allá de la savia y abre posibilidades de valorización en los ámbitos alimentario, cosmético y nutracéutico.

Los abedulares cantábricos, en cualquier caso, deben entenderse en primer lugar como espacios de alto valor ecológico, por lo que su aprovechamiento ha de basarse en la prudencia, la evidencia científica y el respeto. En este sentido, la propuesta de buenas prácticas presentada constituye una primera base para compatibilizar el aprovechamiento del abedul con la conservación de los abedulares cantábricos.

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos a Ana Paula Melero Castellet y Clara Rubio Reinares su ayuda durante el trabajo de campo. A Javier Sánchez, de “Esencias de Luna”, por acompañarnos en nuestros primeros pasos. Al personal del

Ayuntamiento de Murias de Paredes, M.^a del Carmen Mallo Álvarez, Pilar Álvarez y Antonio Sabugo Valcarce. Al personal de la Junta Vecinal de Fasgar, Félix García Rubio y Rosa María Fernández. Al equipo de la RBVOyL, nuestros compañeros en el proyecto Somos Agua II, especialmente a Natalia Castro Nicolás, Estela González Román y Haidée Sariego.

A la Consejería de Medio Ambiente, Vivienda y Ordenación del Territorio de la Junta de Castilla y León por facilitar los permisos necesarios para la realización del estudio.

Parte de este trabajo fue financiado por el proyecto Somos Agua II: Investigación aplicada al desarrollo y diversificación de la bioeconomía asociada al conocimiento tradicional y otros recursos endógenos de la Reserva de la Biosfera de los Valles de Omaña y Luna (RBVOyL), apoyado por la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea-NextGenerationEU.

REFERENCIAS

- Alfaro-Saiz E, Cruz Ramón P, Cortón-Gracia B et al. 2026. Birch sap extraction and short-term physiological responses in *Betula celtiberica* forests of north-western Spain. *Front For Glob Change* 9: 1715128.
- Ashburner K, McAllister HA. 2016. The Genus *Betula*: A taxonomic revision of birches. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Convention of Biological Diversity. 2022. Kunming-Montreal Global biodiversity framework. <https://www.cbd.int/doc/c/e6d3/cd1d/daf663719a03902a9b116c34/cop-15-l-25-en.pdf> (15.7.2025).
- García de Celis A, Guerra Velasco JC, Martínez Fernández LC. 2004. Los abedulares de la Omaña Alta (León): notas sobre dinámica vegetal y cambios en el aprovechamiento de los montes. *Bol Asoc Geogr Esp* 38: 245-260.
- Grabek-Lejko D, Kasprzyk I, Zagula G, Puchalski C. 2017. The bioactive and mineral compounds in birch sap collected in different types of habitats. *Balt For* 23: 394-401.
- Jeong SJ, Jeong HS, Woo SH, Shin CS. 2013. Consequences of ultrafiltration and ultraviolet on the quality of white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) sap during storage. *Aust J Crop Sci* 7: 1072-1077.
- Juenger TE, Verslues PE. 2023. Time for a drought experiment: do you know your plants' water status? *Plant Cell* 35: 10-23.
- Kallio H, Ahtonen S. 1987. Seasonal variations of the acids in birch sap. *Food Chem* 25: 285-292.
- Keita D, Léger G, Bordenave N. 2021. Rheological and water binding properties of xanthan, guar and ultra-finely milled oatmeal in white birch sap: influence of sap minor constituents. *Food Res Int* 147: 110478.
- Kūka M, Čakste I, Geršebeka E. 2013. Determination of bioactive compounds and mineral substances in Latvian birch and maple saps. *Proc Latvian Acad Sci Sect B Nat Exact Appl Sci* 67: 437-441.
- Łuczaj Ł, Bilek M, Stawarczyk K. 2014. Sugar content in the sap of birches, hornbeams and maples in south eastern Poland. *Cent Eur J Biol* 9: 410-416.
- Maxwell K, Johnson GN. 2000. Chlorophyll fluorescence—a practical guide. *J Exp Bot* 51: 659-668.
- Mingaila J, Čiuldienė D, Viškelis P et al. 2020. The quantity and biochemical composition of sap collected from silver birch (*Betula pendula* Roth) trees growing in different soils. *Forests* 11: 365.
- Mingaila J, Vilimas V, Viškelis P et al. 2024. Qualitative changes in birch sap after freezing and thawing. *Forests* 15: 809.
- Paniagua-García AI, Gómez-González L, González-Rojas S, Díez-Antolínez R. 2026. Accelerated Solvent Extraction as an Alternative for the Recovery of Phenolic Compounds from Chestnut Bur: Optimization of Extraction Conditions. *Antioxidants* 15: 207.
- Sancho AI, Birk T, Gregersen JM et al. 2022. Microbial safety and protein composition of birch sap. *J Food Compos Anal* 107: 104347.
- Scholander PF, Bradstreet ED, Hemmingsen EA, Hammel HT. 1965. Sap pressure in vascular plants: negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 148: 339-346.
- Semjonovs P, Denina I, Fomina A et al. 2014. Development of birch (*Betula pendula* Roth.) sap based probiotic fermented beverage. *Int Food Res J* 21: 1763-1767.
- Svanberg I, Söukand R, Łuczaj Ł et al. 2012. Uses of tree saps in northern and eastern parts of Europe. *Acta Soc Bot Pol* 81: 343-357.
- United Nations. 2015. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations General Assembly. <https://sdgs.un.org/2030agenda> (30.7.2025).
- Zajackowska U, Kaczmarczyk K, Liana J. 2019. Birch sap exudation: influence of tree position in a forest stand on birch sap production, trunk wood anatomy and radial bending strength. *Silva Fenn* 53: 1-17.