Bio+A Málaga cuenta con el apoyo de 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.

MEMORIA DE EJECUCIÓN TÉCNICA

A2 Sistema avanzado de gestión forestal sostenible.

BIO+A MÁLAGA. GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE, FOMENTANDO LA BIODIVERSIDAD, PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS Y EL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA EN LA PROVINCIA DE MÁLAGA

ACCIÓN 2.6. ACCIONES PILOTO DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y APROVECHAMIENTO DE BIOMASA FORESTAL EN MONTES PÚBLICOS ORDENADOS DENTRO Y FUERA DEL PARQUE NACIONAL/NATURAL

ACCIÓN 2.6. ACCIONES PILOTO DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y APROVECHAMIENTO DE BIOMASA FORESTAL EN MONTES PÚBLICOS ORDENADOS DENTRO DEL PARQUE NACIONAL/NATURAL Y FUERA DEL PARQUE NACIONAL/NATURAL Y MONITOREO. CONSISTIRÁ EN LA PUESTA EN MARCHA DE AL MENOS 2 ACCIONES DE RETIRADA DE MADERA. LA SUPERFICIE ESTIMADA SERÁ DE AL MENOS 10 HA. LA UBICACIÓN EXACTA SERÁ CONSENSUADA CON LA JA. SE PRIORIZARÁN ACCIONES DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y EN MASAS FORESTALES AFECTADAS POR INCIDENCIA FITOSANITARIA (RETIRANDO MADERA MUERTA Y DE ALTA COMBUSTIBILIDAD) Y ZONAS NATURALES DE REGENERACIÓN DE PINSAPO Y OTRA VEGETACIÓN CUYO DESARROLLO ESTÁ IMPOSIBILITADO POR LOS PINARES. SE INCLUIRÁ MONITOREO DE LA EVOLUCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD (AVES, MARIPOSAS, ETC). LA UCO EJECUTARÁ LAS ACCIONES 2.1 A 2.5. LA DIPUTACIÓN LA 2.6. ESTA ACCIÓN APORTA AL PROYECTO TODAS LAS OPORTUNIDADES DE LA DIGITALIZACIÓN APLICADA A LA GESTIÓN FORESTAL, AL PROPORCIONAR HERRAMIENTAS Y DATOS PRECISOS PARA LA TOMA DE DECISIONES INFORMADAS Y SOSTENIBLES RELACIONADAS CON EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA Y MONITOREO DEL IMPACTO SOBRE LOS SERVICIOS AMBIENTALES. ESTA ACCIÓN AYUDARÁ A LOS GESTORES FORESTALES DEL PARQUE NACIONAL Y NATURAL DE Sª DE LAS NIEVES (JA) A MONITOREAR, PLANIFICAR Y CONSERVAR LOS BOSQUES DE MANERA MÁS EFECTIVA, PROMOVIENDO LA SOSTENIBILIDAD Y LA PROTECCIÓN DE ESTOS VALIOSOS RECURSOS NATURALES.

Bio+A Málaga cuenta con el apoyo de 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.

Bio+A Málaga cuenta con el apoyo de 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.

BIO+A MÁLAGA. GESTIÓN FORESTAL SOSTENIBLE, FOMENTANDO LA BIODIVERSIDAD, PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS Y EL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA EN LA PROVINCIA DE MÁLAGA

Dirección científica:

Rafael Mª Navarro Cerrillo y Guillermo Palacios Rodríguez

Departamento de Ingeniería Forestal, Laboratorio de Dendrocronología, Selvicultura y Cambio Climático, DendrodatLab-ERSAF (RNM 360), Universidad de Córdoba.

Autores de este informe:

Navarro-Cerrillo, RM; Varo-Martínez, M.A.; Baietto, A.; Rivas-Cobo, C.A.; Palacios-Rodríguez, G. (2025).

Colaboradores:

TRAGSA: Marta Ruiz Villén y Cristóbal Gaspar Becerra Lopez

Parque Nacional Sierra de las Nieves: Adriano Vázquez Mora, Natalia Ríos Gil, Fernando Ríos y resto del personal del Espacio Natural Protegido de Sierra de las Nieves.

Fotografías y Figuras:

Varo Martínez, MA, Navarro Cerrillo, RM; Andrés Baietto, Guillermo Palacios (salvo que se indique en el texto).

Acciones piloto de prevención de incendios y aprovechamiento de biomasa forestal en montes públicos ordenados dentro y fuera del parque nacional/natural. BIO+A Málaga © 2025 by Navarro Cerrillo, Varo Martínez, Baietto, Rivas Cobo and Palacios Rodríguez is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International. To view a copy of this license, visit https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Bio+A Málaga cuenta con el apoyo de 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.

Índice

Acciones piloto de prevención de incendios y aprovechamiento de biomasa forestal en montes públicos ordenados dentro y fuera del parque nacional y parque natural 6

1. Dispositivos experimentales en selvicultura 6

1.1. Contexto científico 6

1.2. Importancia de los dispositivos experimentales 7

2. Dispositivo experimental del proyecto bio+ A 8

2.1. Red de parcelas 8

2.2. Descripción selvícola de las parcelas Bio+A Málaga 12

Índice de tablas

Tabla 1: Descripción de los sitios experimentales seleccionados, incluyendo el conjunto de especies arbóreas del dosel y los tratamientos forestales 10

Tabla 2: Monte Público "Las Palomas" (El Burgo) 13

Tabla 3: Monte Público "Pinar" (Yunquera) 13

Tabla 4: Comparativa de Parámetros Clave de ensayos de aprovechamiento. 18

Índice de figuras

Figura 1: Distribución de las parcelas experimentales en la comarca de Sierra de las Nieves. 9

Figura 2: Flujo de trabajo de las tareas de aprovechamiento de biomasa en las parcelas piloto 14

Figura 3: Resumen de los trabajos de aprovechamiento de biomasa en las parcelas piloto 17

ACCIÓN 2.6. ACCIONES PILOTO DE PREVENCIÓN DE INCENDIOS Y APROVECHAMIENTO DE BIOMASA FORESTAL EN MONTES PÚBLICOS ORDENADOS DENTRO Y FUERA DEL PARQUE NACIONAL Y PARQUE NATURAL

1. DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES EN SELVICULTURA

1.1. Contexto científico

La selvicultura, entendida como la ciencia que estudia y aplica las técnicas de manejo y aprovechamiento sostenible de los sistemas forestales, se enfrenta en la actualidad a múltiples desafíos. Entre ellos destacan el cambio climático, el manteniemiento de los flujos de bienes y servicios de los ecosistemas forestales, de la productividad, los recursos hídricos, el hábitat para la vida silvestre, y la resiliencia ante perturbaciones o la biodiversidad. Ante este escenario, la planificación de tratamientos silvícolas requiere de una base científica sólida que permita evaluar, con el mayor grado de precisión posible, los efectos de las intervenciones sobre la dinámica de los bosques.

En este contexto, los dispositivos experimentales en selvicultura, junto con su integración en programas de investigación nacionales e internacionales, constituyen herramientas indispensables. Se trata de parcelas, ensayos o áreas de referencia diseñadas con un objetivo científico y técnico, cuyo fin es observar y medir los efectos de diferentes tratamientos silvícolas sobre variables estructurales, productivas y ecológicas del bosque. A través de ellos, es posible generar conocimiento empírico que sirve de soporte a la toma de decisiones en la gestión forestal. Solo mediante este esfuerzo colectivo será posible avanzar hacia una selvicultura basada en la ciencia, capaz de responder a los retos ambientales actuales y de asegurar la conservación y aprovechamiento sostenible de los ecosistemas forestales para las generaciones futuras.

El objetivo principal de la Acción 2.6 es establecer diferentes parcelas experimentales, esquemas selvícolas y resultados relacionados con la aplicación del concepto de selvicultura adaptativa en el marco del proyecto Bio+ A Málaga. En esta Acción se presentan ejemplos concretos de coordinación entre organismos públicos (Organismo Autónomo de Parques Nacionales, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, Diputación de Málaga, TRAGSA y Universidad de Córdoba) para el establecimiento del dispostivo experimental que forme parte de una red de parcelas piloto para el aprovechamiento de biomasa.

En defnitiva, se trata de obtener series de datos a largo plazo relacionados con la selvicultura adapativa aplicable en la comarca de Sierra de las Nieves que contribuyan a aumentar el conocimiento sobre la aportación de sus bosques a la Bioeconomía forestal.

Esta Red de Parcelas piloto se incorporaría en el futuro en otras Redes similares en España, como es el caso de Red SilvAdapt[1].

[1] Molina, A. J., Navarro-Cerrillo, R. M., Pérez-Romero, J., Alejano, R., Bellot, J. F., Blanco, J. A., ... & del Campo, A. D. (2021). SilvAdapt. Net: A site-based network of adaptive forest management related to climate change in Spain. Forests, 12(12), 1807.

1.2. Importancia de los dispositivos experimentales

La selvicultura establece principios generales sobre la dinámica de crecimiento de los bosques, la competencia entre especies o los efectos de la densidad sobre la producción. Sin embargo, cada ecosistema forestal responde de forma particular a las prácticas de manejo, debido a factores edáficos, climáticos, genéticos y de historia de uso. Los dispositivos experimentales permiten contrastar hipótesis y adaptar la teoría a las condiciones locales, generando conocimiento aplicable y contextualizado.

Por ejemplo, la respuesta de una masa de *Pinus pinaster* frente a una clara puede diferir significativamente de la respuesta de *P. halepensis* o de un bosque mixto con frondosas[2],[3]. Los ensayos a largo plazo permiten cuantificar estas diferencias y establecer modelos predictivos más precisos.

En ese sentido, los dispositivos experimentales propuestos tienen los siguientes objetivos concretos:

Evaluación de tratamientos a largo plazo: El ciclo de vida de un rodal forestal puede extenderse entre varias décadas y más de un siglo. Esto hace que muchas prácticas selvícolas (clareos, claras, cortas de regeneración) tengan efectos que solo pueden evaluarse plenamente con el paso del tiempo. Los dispositivos experimentales permanentes permiten el seguimiento continuo de variables como el crecimiento diamétrico, la mortalidad, la regeneración natural, la biodiversidad asociada o la captura de carbono.

De este modo, se obtiene información fiable sobre la eficacia de los tratamientos, que difícilmente podría alcanzarse mediante observaciones puntuales o estudios de corta duración.

Soporte para la modelización forestal Los modelos de crecimiento y producción forestal requieren de datos de campo consistentes y prolongados en el tiempo. Los dispositivos experimentales constituyen la base para calibrar y validar dichos modelos, garantizando que las predicciones reflejen la dinámica real de los rodales. A su vez, los modelos permiten extrapolar los resultados de las parcelas experimentales a escalas espaciales mayores, como cuencas hidrográficas o regiones forestales.

Evaluación de servicios ecosistémicos La selvicultura moderna no se centra únicamente en la producción de madera. Cada vez cobra mayor relevancia la evaluación de otros servicios ecosistémicos como la regulación hídrica, la fijación de carbono, la provisión de hábitat para fauna y flora, o el valor recreativo de los bosques. Los dispositivos experimentales permiten medir de manera simultánea variables productivas y ecológicas, generando evidencia científica para una gestión multifuncional de los ecosistemas forestales.

A pesar de su importancia, el establecimiento y mantenimiento de dispositivos experimentales enfrenta diversos retos:

[2]Rodríguez, R. J., Serrada, R., Lucas, J. A., Alejano, R., Del Río, M., Torres, E., & Cantero, A. (2008). Selvicultura de Pinus pinaster Ait. subsp. Mesogeensis fieschi & gaussen.

[3] Compendio de selvicultura aplicada en España. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, 399-430.

Montero, A. D., Camaño, M. V., Amurrio, M. R., Cantos, Á. F., Molina, E. P., Cano, M. C., ... & Cano, L. B. (2024). Selvicultura adaptativa en los bosques mediterráneos de Pinus halepensis. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (50), 185-196

1. Escasez de inversión y recursos humanos: los ensayos silvícolas requieren monitoreo continuo y financiación estable a lo largo de décadas, algo que no siempre está garantizado.

2. Representatividad limitada: muchos dispositivos se concentran en especies comerciales, mientras que formaciones de interés ecológico o mixtas permanecen subrepresentadas.

3. Adaptación al cambio climático: se requiere ampliar los dispositivos a nuevas condiciones, probando especies, procedencias y técnicas de manejo orientadas a la resiliencia frente a sequías, incendios o plagas.

4. Integración de nuevas tecnologías: el uso de sensores remotos, LIDAR, drones o estaciones meteorológicas abre la posibilidad de enriquecer el seguimiento de los dispositivos experimentales, generando series temporales de gran valor.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL DEL PROYECTO BIO+ A

2.1. Red de parcelas

En el proyecto Bio+A Málaga se han establecido un total de 6 parcelas experimentales, ubicados en un amplio rango altitudinal (640-1800 m.s.n.m.), en dos montes públicos (Tabla 1, Figura 1). Las condiciones climáticas y los tipos forestales de cada parcela se describen según la tipología forestal establecida en la Acción 2.4.

Los trabajos de tratamiento selvícola se desarrollaron en montes públicos de dos términos municipales de la provincia de Málaga.

- **Monte Público "Las Palomas" (MA-11038-AY):** Ubicado en el Término Municipal de El Burgo, donde se intervino sobre **dos parcelas**.
- **Monte Público "Pinar":** Ubicado en el Término Municipal de Yunquera, dentro de los límites del Parque Nacional Sierra de las Nieves. En esta área se trabajó sobre **tres parcelas**.

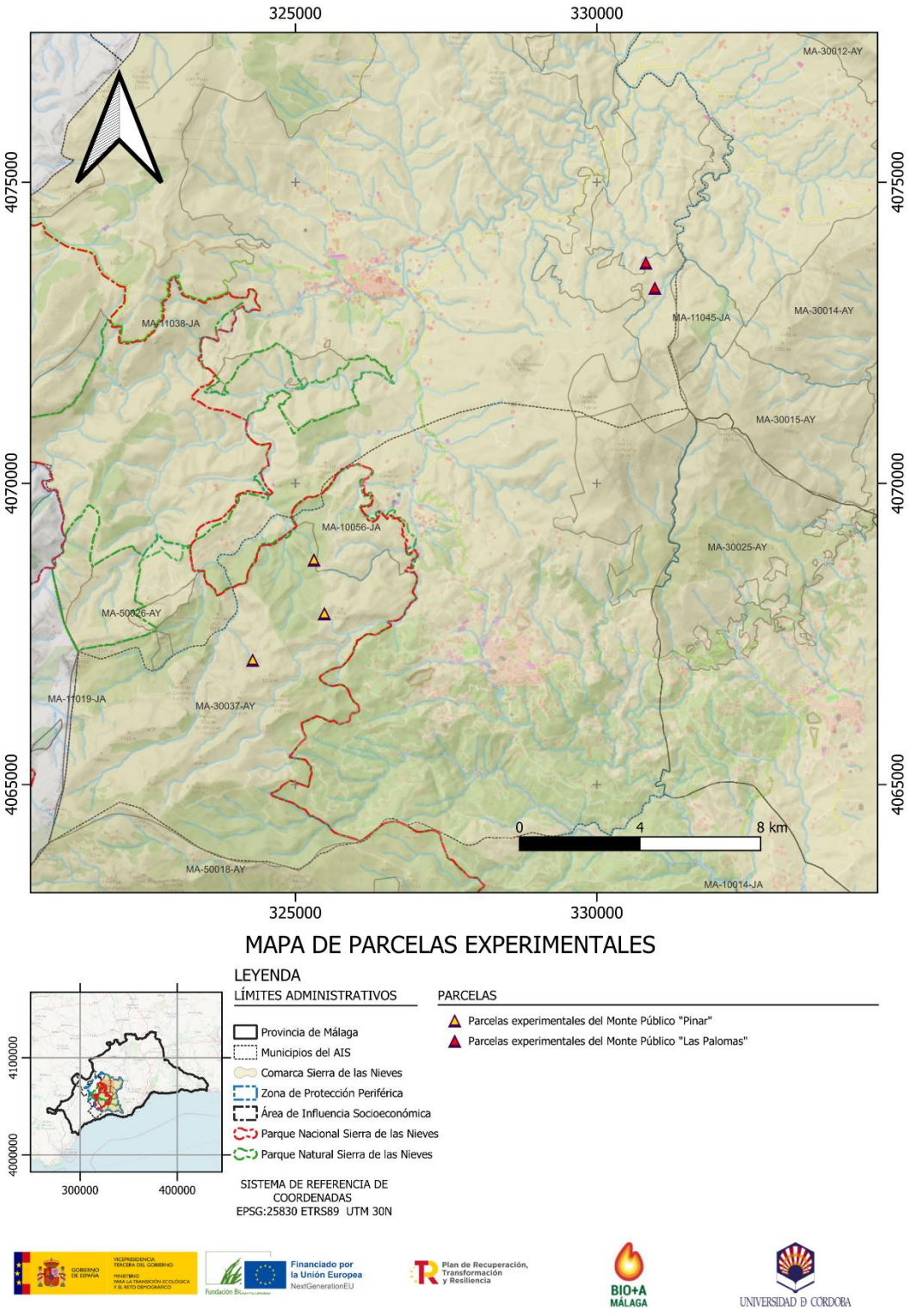


Figura 1: Distribución de las parcelas experimentales en la comarca de Sierra de las Nieves.

Bio+A Málaga cuenta con el apoyo de 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.

Tabla 1: Descripción de los sitios experimentales seleccionados, incluyendo el conjunto de especies arbóreas del dosel y los tratamientos forestales.

Parcela	Tipo de parcela	Especie	Tratamiento	Actuaciones
Las Palomas 1	Control	*P. halepensis*	-	-
		Quercus faginea	-	-
	Tratamiento	*P. halepensis*	Clara fuerte por lo bajo	Apeo y desembosque Saca de madera con autocargador hasta punto de acopio Carga y transporte Preparación de madera, tronzado y apilado Astillado
		Quercus faginea	-	-
Las Palomas 2	Control	*P. halepensis*	-	-
		Quercus faginea	-	-
	Tratamiento	*P. halepensis*	Clara fuerte por lo bajo	Apeo y desembosque Saca de madera con autocargador hasta punto de acopio Carga y transporte Preparación de madera, tronzado y apilado Astillado
		Quercus faginea	-	-
El Pinar 1	Control	*P.halepensis*	-	-
		P.pinaster	-	-
	Tratamiento	*P.halepensis*	Clara media por lo bajo	Apeo y desembosque Saca de madera con autocargador hasta punto de acopio Carga y transporte Preparación de madera, tronzado y apilado Astillado
		P.pinaster	Clara media por lo bajo	Apeo y desembosque Saca de madera con autocargador hasta punto de acopio Carga y transporte Preparación de madera, tronzado y apilado Astillado
El Pinar 2	Control	*P.pinaster*	-	-
	Tratamiento	*P.pinaster*	Clara media por lo bajo	Apeo y desembosque Saca de madera con autocargador hasta punto de acopio Carga y transporte Preparación de madera, tronzado y apilado Astillado

Parcela	Tipo de parcela	Especie	Tratamiento	Actuaciones
El Pinar Cueva del Agua	Control	*P.pinaster*	-	-
		Abies pinsapo	-	-
		Quercus ilex	-	-
	Tratamiento	*P.pinaster*	Clara fuerte por lo bajo	Apeo y desembosque Saca de madera con autocargador hasta punto de acopio Carga y transpote Preparación de madera, tronzado y apilado Astillad
		Abies pinsapo	-	-
		Quercus ilex	-	-

2.2. Descripción selvícola de las parcelas Bio+A Málaga

En este epígrafe se detallan los tratamientos selvícolas realizados por Grupo Tragsa en las parcelas piloto de la Comarca de la Sierra de las Nieves con el doble objetivo de mejorar el estado de las masas forestales y aprovechar la biomasa resultante para uso energético. Las actuaciones se centraron en cinco parcelas distribuidas en los montes públicos "Las Palomas" (El Burgo) y "Pinar" (Yunquera), este último dentro del Parque Nacional (ver Fig. 1).

Objetivos de los trabajos

Los trabajos consistieron en claras para reducir la competencia entre árboles, favorecer el crecimiento de ejemplares dominantes y promover la regeneración natural, con especial atención a la protección de especies autóctonas como el pinsapo, el quejigo y la encina.

El propósito central de los trabajos fue la ejecución de tareas de gestión forestal sostenible en varios rodales de la Sierra de las Nieves. La finalidad principal de estas actuaciones fue el aprovechamiento de biomasa forestal para su uso como fuente de energía en edificios públicos de la comarca.

El objetivo particular de las parcelas fue la realización de claras orientadas a la mejora estructural y funcional de las masas forestales. Los objetivos específicos perseguidos fueron:

- Favorecer el crecimiento de los pies de árbol dominantes.
- Reducir la competencia por recursos hídricos, luz y nutritientes.
- Mejorar la estabilidad mecánica del conjunto del rodal.
- Eliminar individuos dominados y suprimidos.
- Promover la regeneración natural e incrementar el crecimiento de especies dominadas o con escasa representación.

Flujo de trabajo de los aprovechamientos

La ejecución de las tareas de aprovechamiento de biomasa siguió un proceso operativo estructurado en las siguientes fases (Fig. 2):

1. **Apeo y desembosque:** Corte de los árboles en pie seleccionados.
2. **Saca de madera:** Utilización de un autocargador para trasladar la madera hasta un punto de acopio designado.
3. **Transporte:** Carga y transporte de la madera desde el punto de acopio hasta una parcela de procesamiento ubicada en una zona urbana en el término municipal de Yunquera.
4. **Preparación:** Tronzado y apilado de la madera para su posterior tratamiento.
5. **Astillado:** Transformación de la madera en astillas forestales para su uso como biocombustible.

Los resultados de las claras y de la superficie tratada se detallan en las Tablas 2 y 3, desglosados por monte público y parcela.

Tabla 2: Monte Público "Las Palomas" (El Burgo).

Parcela	Nº de pies cortados	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Tn media (por pie)	Superficie (ha)
Las Palomas 1	421	30	15	0,6	4.62
Las Palomas 2	36	20	12	0,48	0.5

Tabla 3: Monte Público "Pinar" (Yunquera)

Parcela	Nº de pies cortados	Diámetro medio (cm)	Altura media (m)	Tn media por pie	Superficie (ha)
El Pinar 1	81	30	12	0,65	3,4
El Pinar 2	264	25	16	0.63	1.3
El Pinar Cueva del agua	34	30	15	1,3	0.42

Bio+A Málaga cuenta con el apoyo de 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.

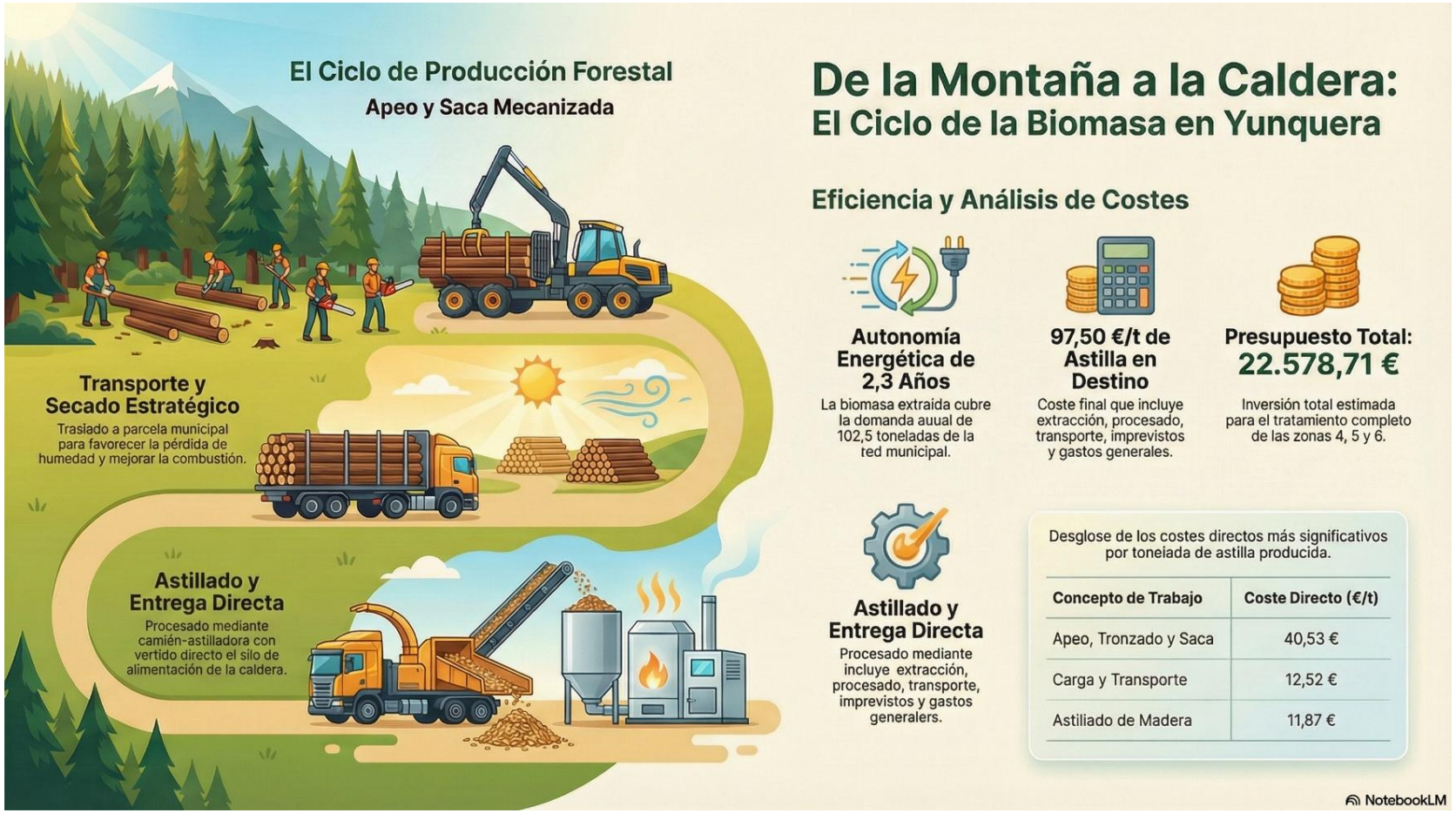


Figura 2: Flujo de trabajo de las tareas de aprovechamiento de biomasa en las parcelas piloto

Las claras se ejecutaron con el criterio de mejorar la diversidad específica y estructural de las masas forestales. Se dio preferencia a la conservación y fomento de especies autóctonas y frondosas sobre las coníferas cuando la composición del rodal lo permitía.

- **En el Monte Las Palomas**, se favoreció especialmente la presencia y desarrollo de las siguientes especies:
    - Quejigo (*Quercus faginea*)
- **En el Monte Pinar**, se priorizó la conservación y mejora de las poblaciones de:
    - Pinsapo (*Abies pinsapo*)
    - Encina (*Quercus ilex*)

Propuestas de aprovechamiento de la biomasa

La demanda anual de la red de calor se establece en 102,5 toneladas de astilla (al 25% de humedad). Considerando las mermas en los procesos de extracción, transporte y transformación (estimadas en un 10% en saca, 5% en transporte, 5% en astillado y 5% en alimentación), se determina que para satisfacer la demanda anual es necesario extraer 217,6 toneladas de árbol entero en pie (al 55% bh) cada año. Basándose en 1.100 horas de funcionamiento anual a una potencia de 300 kW y un rendimiento del 90%.

A continuación, se presentan las dos alternativas evaluadas (tabla 4):

1. **Propuesta A** (Extracción Convencional con Autocargador): Este plan se centra en las zonas 4, 5 y 6 (4,7 ha). Propone un método de extracción mecanizado estándar, resultando en un coste significativamente menor. Se estima una producción total de 231,6 toneladas de astilla, suficiente para abastecer la red durante 2,3 años a un coste final de 97,50 € por tonelada.

2. **Propuesta B** (Extracción con Teleférico): Este plan aborda las zonas 1, 2 y 4 (5,2 ha), caracterizadas por su mayor complejidad orográfica. El uso de un teleférico permite el acceso a estas áreas, aumentando ligeramente el volumen de biomasa extraída, pero a un coste operativo mucho mayor. Se prevé una producción de 257,4 toneladas de astilla, garantizando el suministro por 2,5 años, pero con un coste final de 193,00 € por tonelada, casi el doble que la Propuesta A.

Ambos estudios confirman la viabilidad técnica de aprovechar los recursos forestales locales para la red de calor. La decisión entre las propuestas representa un equilibrio entre la inversión económica y la capacidad de intervenir en zonas de mayor dificultad técnica. La Propuesta A ofrece una solución más económica, mientras que la Propuesta B, a pesar de su elevado coste, posibilita la gestión forestal en áreas de acceso complicado y genera un ahorro en la factura energética municipal superior al 20%.

Análisis Comparativo de las Propuestas de Extracción

La diferencia principal entre los tipos de aprovechamiento radica en la tecnología de extracción empleada, lo que impacta directamente en la productividad, el coste y las zonas susceptibles de ser intervenidas (Fig. 3).

Propuesta A: Extracción Convencional (Zonas 4, 5 y 6)

En estas parcelas el estudio piloto se centró en un enfoque mecanizado estándar utilizando un autocargador.

Área de Actuación: 4,7 ha, correspondientes a las zonas 4, 5 y 6.

Recursos Forestales: La masa presenta unas existencias de 391,6 Mg ha^{-1}, con un potencial de extracción estimada de 104,6 Mg ha^{-1}.

Metodología de Extracción:

- El apeo y tronzado se realiza manualmente por motoserristas. No se contempla el desramado en el monte.
- El desembosque de los árboles enteros se realiza directamente con un autocargador de gama media.

Producción y Duración del Suministro:

- Biomasa Total a Extraer: 491,6 Mg en pie (al 55% bh).
- Astilla Útil Generada: 231,6 Mg de astilla valorizable (al 25% bh).
- Duración del Suministro: 2,3 años.

Análisis de Costes:

- Coste Total del Proyecto: 22.578,71 €
- Coste Final de la Astilla (en destino): 97,50 € Mg^{-1} (al 25% bh).
- El coste directo de las operaciones de apeo, tronzado, desembosque y saca a acopio es de 40,53 € Mg^{-1}.

Propuesta B: Extracción con Teleférico (Zonas 1, 2 y 4)

En este segundo bloque de parcelas se planteó una solución tecnológicamente más compleja (teleférico) para acceder a zonas de orografía difícil.

Área de Actuación: 5,2 hectáreas, correspondientes a las zonas 1, 2 y 4.

Recursos Forestales: Las existencias en esta área son de 386,6 Mg ha^{-1}, con una cortabilidad de 105,1 Mg ha^{-1}.

Metodología de Extracción:

- Se utiliza un teleférico tricable de corta distancia para el desembosque en las zonas 1 y 2 (las de mayor pendiente).
- En la zona 4 se utiliza un autocargador, que también sirve de apoyo logístico para retirar la madera acumulada por el teleférico.

Producción y Duración del Suministro:

- Biomasa Total a Extraer: 546,5 Mg en pie (al 55% bh).
- Astilla Útil Generada: 257,4 Mg de astilla valorizable (al 25% bh).
- Duración del Suministro: 2,5 años.

Análisis de Costes:

- Coste Total del Proyecto: 49.685,35 €
- Coste Final de la Astilla (en destino): 193,00 € Mg^{-1} (al 25% bh).
- El coste directo de la operación de extracción se eleva a 114,23 € Mg^{-1}, siendo casi tres veces superior al del método convencional.

Consideraciones Adicionales: El presupuesto total no incluye el coste de formación especializada para los operarios del teleférico (una semana de refresco para personal experimentado o al menos dos para personal nuevo).

Bio+A Málaga cuenta con el apoyo de 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.

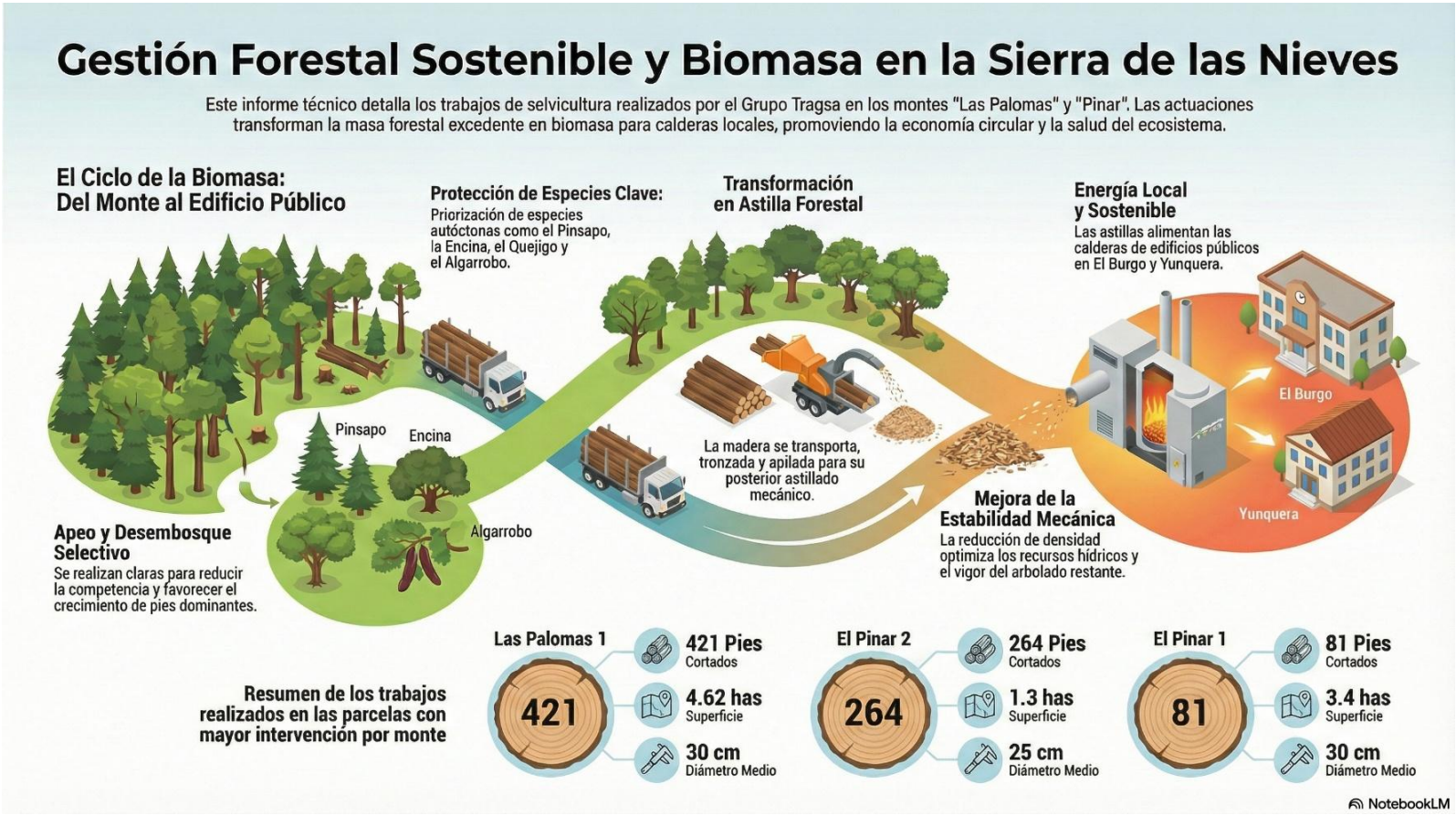


Figura 3: Resumen de los trabajos de aprovechamiento de biomasa en las parcelas piloto

Tabla 4: Comparativa de Parámetros Clave de ensayos de aprovechamiento.

Parámetro	Propuesta A (Autocargador)	Propuesta B (Teleférico)*
Zonas de Actuación	Zonas 4, 5 y 6	Zonas 1, 2 y 4
Superficie	4,7 ha	5,2 ha
Biomasa Extraída (55% bh)	491,6 t	546,5 t
Astilla Generada (25% bh)	231,6 t	257,4 t
Duración del Suministro	2,3 años	2,5 años
Coste Directo Extracción (€ Mg^{-1})	40,53 €	114,23 €
Coste Total Directos (€ Mg^{-1})	77,43 €	152,43 €
Coste Final Astilla (€ Mg^{-1})	97,50 €	193,00 €
Coste Total Proyecto (€)	22.578,71 €	49.685,35 €

Fases Operativas Comunes Post-Extracción

Una vez la madera es extraída del monte y llevada a la zona de acopio, ambos proyectos siguen un proceso logístico idéntico para su transformación en astilla.

1. Apertura de Accesos: En ambos casos, se requiere el uso de un angledozer (tipo CAT D4) para la apertura y repaso de 760 metros lineales de jorros y cortafuegos, garantizando el acceso seguro de la maquinaria.

2. Transporte y Secado: La madera se carga en camiones y se transporta desde el acopio en monte hasta una parcela propiedad del Ayuntamiento. Este paso es crucial, ya que las autoridades forestales pueden requerir su retirada inmediata para prevenir riesgos de incendios o plagas. En esta parcela, la madera (en forma de troncos) se apila para un secado natural que reduce la humedad y facilita la pérdida de acículas.

3. Astillado por Fases: El Ayuntamiento dispone de una capacidad de almacenamiento de astilla de 300 m^3, equivalente a 75 Mg (al 30% bh). Debido a esta limitación, el astillado de la madera extraída se planifica en varias fases (aproximadamente 4 a lo largo de los más de 2 años de suministro). Se utiliza una astilladora autónoma montada sobre camión con grúa.

4. Transporte y Almacenamiento Final: La astilla se vierte directamente desde la astilladora a dos equipos de transporte (tractores con remolque) que la llevan y descargan en el silo de alimentación de la caldera y en una nave municipal utilizada como almacén principal.

Contribución de las parcelas al proyecto Bio+A

La intervención ha resultado en una serie de mejoras significativas tanto para el ecosistema forestal como para la comunidad local.

- **Mejora estructural:** Las claras han reducido la competencia interna en las masas forestales, lo que mejorará significativamente la estructura, estabilidad y vigor del arbolado restante.
- **Ejecución segura:** La retirada de la madera se realizó sin incidencias y garantizando el respeto a las especies de mayor valor ecológico y protección.
- **Fomento de la biodiversidad:** Las actuaciones promueven activamente la regeneración natural

y favorecen la presencia de especies con menor representación, enriqueciendo la diversidad del monte.

- **Sostenibilidad integral:** El uso energético de la biomasa extraída refuerza la sostenibilidad ambiental y socioeconómica en la Sierra de las Nieves, alineando la gestión forestal con la producción de energía limpia y local.
- **Cumplimiento de objetivos:** La reducción de la densidad del arbolado, reflejada en los datos cuantitativos, es coherente con los objetivos selvícolas definidos para la intervención.
- La **totalidad de la biomasa forestal** obtenida a raíz de los tratamientos fue transformada en astillas. Este material se destina al suministro energético de edificios públicos en los municipios de El Burgo y Yunquera, utilizándose para rellenar los silos de sus respectivas calderas de biomasa.
- Este **modelo de aprovechamiento** fomenta la economía circular, contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y permite la valorización de los recursos forestales locales, generando un impacto positivo en la sostenibilidad de la comarca.

Las acciones piloto de aprovechamiento de biomasa forestal en Montes Públicos Ordenados dentro y fuera del Parque Nacional ofrece un análisis detallado de dos estrategias viables para el autoabastecimiento energético de los municipios de la Comarca de Sierra de las Nieves a partir de sus propios recursos forestales (Fig. 4):

Viabilidad del Suministro: Se confirma que el monte Pinar puede proveer el combustible necesario para la red de calor por un periodo de 2,3 a 2,5 años con una sola intervención.

Factor Coste: La metodología de extracción es el factor más determinante en el coste final del combustible. El uso de un teleférico, necesario para zonas de difícil acceso, casi duplica el precio por tonelada de la astilla (de 97,50 € a 193,00 €).

Beneficios Económicos y Ambientales: A pesar de la diferencia de costes, ambos proyectos generan un "ahorro económico" en la factura energética del Ayuntamiento. El estudio del teleférico lo cuantifica en "más de un 20%", incluso con el alto coste de la biomasa. Adicionalmente, se promueve la gestión forestal sostenible y la economía circular en el municipio.

Complejidad Logística: La ejecución exitosa de cualquiera de los planes depende de una cuidadosa planificación logística que coordine el secado, el astillado por fases y el almacenamiento, adaptándose a la demanda de la caldera y a las normativas forestales.



Figura 4.- Resumen de las acciones piloto de aprovechamiento de biomasa forestal en Montes Públicos Ordenados dentro y fuera del Parque Nacional para el autoabastecimiento energético de los municipios de la Comarca de Sierra de las Nieves.