

LIFE AgroForAdapt

Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos

LIFE20 CCA/ES/001682

10/2021 - 09/2026

<https://agroforadapt.eu>

PROTOCOLO DE SEGUIMIENTO SISTEMAS SILVOPASTORALES EN BOSQUE



Julio 2022

Proyecto LIFE AgroForAdapt: Sistemas agroforestales para la adaptación al cambio climático de espacios agrícolas y forestales mediterráneos 10/2021 - 09/2026

Beneficiarios del proyecto: Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC; coordinador), Diputació de Barcelona (DiBa), Diputació de Girona (DiGi), Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB), Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya (DACC), Fundació Emys (Emys), Agresta S. Coop. (Agresta), Agroof, SCOP (Agroof).

Cofinanciador del proyecto: Diputació de Tarragona (DipTa)

Autores: Jaime Coello (CTFC), Marc Taüll (CTFC); Beatriz de Torre (Agresta), Pere Casals (CTFC), Mario Beltrán (CTFC), Josep Maria Gomis (DiGi).

Cita recomendada: Coello J, Taüll M, de Torre B, Casals P, Beltrán M, Gomis JM. 2022. Protocolo de seguimiento de sistemas silvopastorales en bosque. Life AgroForAdapt, 31 p.

El proyecto LIFE AgroForAdapt (LIFE20 CCA/ES/001682; 10/2021 - 09/2026) está financiado por el programa LIFE de la Unión Europea

<https://agroforadapt.eu>

Esta publicación refleja únicamente el punto de vista de los autores. La Comisión Europea/CINEA no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

Índice

1. Introducción.....	4
1.1. Contenido del documento	4
1.2. Sistemas demostrativos AgroForAdapt.....	5
1.3. Niveles de seguimiento.....	6
2. Caracterización básica silvodasométrica, vulnerabilidad a incendios potencial pascícola	9
3. Caracterización avanzada silvodasométrica, vulnerabilidad a incendios y potencial pascícola	15
3.1. Inventario dasométrico y de vegetación.....	15
3.2. Índice de Biodiversidad Potencial	17
3.3. Producción pascícola y querencia	19
4. Evaluación del balance de carbono.....	23
4.1. Objetivos, ámbito de aplicación y estructura	23
4.2. Carbono absorbido por el componente leñoso.....	23
4.3. Carbono absorbido por el componente herbáceo	23
4.4. Carbono absorbido por el componente edáfico	24
4.5. Emisiones de carbono evitadas.....	25
5. Producción a largo plazo y balance económico.....	25
6. Evaluación del microclima y vulnerabilidad hídrica	27
6.1. Objetivos, ámbito de aplicación y estructura	27
6.2. Temperatura, luz y humedad ambiental; temperatura del suelo	27
6.3. Humedad del suelo.....	29
6.4. Índices de vegetación	29
6.5. Disponibilidad relativa de luz	30

1. Introducción

1.1. Contenido del documento

Este documento presenta los protocolos de seguimiento del proyecto LIFE AgroForAdapt de los sistemas demostrativos silvopastorales en terreno de bosque.

El documento se articula en cinco tipos de seguimiento:

- a) Caracterización básica silvodasmétrica, vulnerabilidad a incendios y potencial pascícola
- b) Caracterización avanzada silvodasmétrica, vulnerabilidad a incendios y potencial pascícola
- c) Balance de carbono
- d) Producción a largo plazo y balance económico
- e) Evaluación del microclima y vulnerabilidad hídrica

En resumen, se pretende evaluar, en comparación con la no-gestión, la viabilidad de los sistemas silvopastorales como instrumento para revertir el abandono de las actividades silvo-ganaderas y su contribución en la lucha contra los incendios; dos de los retos relacionados con el cambio climático que el fomento de los sistemas silvopastorales pueden contribuir a afrontar.

Estas evaluaciones se complementan con el protocolo de seguimiento de la biodiversidad, disponible en la [web del proyecto](#).

Las conclusiones de estos seguimientos fundamentarán los manuales técnicos (C8) y otras publicaciones técnicas y divulgativas, formación y transferencia (E1).

1.2. Sistemas demostrativos AgroForAdapt

Los sistemas demostrativos objeto de este protocolo son 27 sistemas silvopastorales en terreno de bosque, en los que se incorpora ganado en la gestión forestal.

La Tabla 1 muestra las características generales de los sistemas demostrativos objeto de este protocolo.

Tabla 1. Sistemas demostrativos AgroForAdapt objeto del presente protocolo. Código 3.2: sistemas adheridos; 4: sistemas de silvopastoralismo extensivo. Área: Cat: Catalunya; CyL: Castilla y León

Responsable	Código	Área	Finca	Término Municipal	Superf (ha)
AMB	3.2A	CAT	Can Colomer	St Climent Llobregat (B)	8,0
Agresta	3.2B	CYL	MUP 82 R10-12	Muriel Viejo (So)	26,2
Agresta	3.2C	CYL	MUP 355 - MUP 366	La Póveda (So)	10,6
Agresta	3.2D	CYL	MUP 356 Rodal C1	La Póveda (So)	10,7
Agresta	3.2E	CYL	MUP 357	La Póveda (So)	14,0
DIBA	3.2F	CAT	Els Camps	Sora (B)	6,4
DIBA	3.2G	CAT	Biosca	Sant Mateu del Bages (B)	10,5
CTFC	4A	CAT	Figuera-St Seb-Solana-Forq.	Aiguamúrcia (T)	50,0
AMB	4B	CAT	Can Colomer	St Climent Llobregat (B)	50,0
DIGI	4C	CAT	Camps i Armet	Cruilles-Monells-St.Sad (Gi)	49,0
DIGI	4D	CAT	Can Vilallonga	Cassà de la Selva (Gi)	20,0
Agresta	4E	CYL	MUP 172 R102	Soria (So)	38,1
Agresta	4F	CYL	MUP 172 R83	Soria (So)	34,5
Agresta	4G	CYL	MUP 354	Sotillo del Rincón (So)	35,0
DIBA	4H	CAT	Can Baiona	Corbera de Llobregat (B)	6,0
DIBA	4I	CAT	El Revell	Castellfollit del Boix (B)	19,0
DIBA	4J	CAT	Biosca	Sant Mateu del Bages (B)	3,7
DIBA	4K	CAT	Biosca	Sant Mateu del Bages (B)	5,8
DIBA	4L	CAT	Biosca	Sant Mateu del Bages (B)	4,6
DIBA	4M	CAT	Casanova	Sora (B)	4,6
DIBA	4N	CAT	Viladevall	Sora (B)	9,6
DIBA	4O	CAT	Beví	Santa Maria de Besora (B)	21,9
DIBA	4P	CAT	Ca n'Alemany	Sta Margarida Montbui (B)	18,2
DIBA	4Q	CAT	Can Palomes	Sta Margarida Montbui (B)	3,1
DIBA	4R	CAT	Can Valls d'Olzinelles	Sant Celoni (B)	20,0
DIBA	4S	CAT	les Ribes del Pertegàs	Sant Celoni (B)	0,3
DIBA	4T	CAT	les Ribes del Pertegàs	Sant Celoni (B)	1,3
Total					481,1

1.3. Niveles de seguimiento

Para optimizar el coste-efectividad de los resultados del seguimiento, se han definido tres posibles intensidades de seguimiento de los sistemas demostrativos en cada rodal.

Seguimiento básico

Se aplica en todos los rodales demostrativos. Consiste en un seguimiento pericial a nivel de todo el rodal, o de sub-rodales si se considera necesario. El muestreo consistirá en un recorrido por el rodal, tomando los datos en diferentes puntos. Para una correcta evaluación hay que recorrer, al menos, el 15% de cada rodal o sub-rodal homogéneo.

Seguimiento avanzado

El seguimiento avanzado se aplica en una selección de 14 rodales (Tabla 1), en los que se recoge la información en base a parcelas permanentes de seguimiento. Estos rodales se seleccionan por su representatividad técnica (situaciones con un alto potencial de replicación), geográfica (representación de diferentes condiciones del área de trabajo del proyecto), y de otros factores que faciliten el seguimiento y transferencia: accesibilidad, áreas relevantes para acciones de diseminación, etc. Las parcelas se instalan en áreas del rodal especialmente accesibles para facilitar el seguimiento, y en las que la intervención vaya a tener un efecto especialmente marcado. En cada rodal de seguimiento avanzado se implementan 3 tratamientos:

A) Tratamiento general del rodal: aplicado en la totalidad del rodal (adehesamiento en rodales C3.2; clara moderada + desbroce en rodales C4), excepto en las zonas destinadas al tratamiento alternativo y control.

B) Tratamiento alternativo: aplicado en una superficie de, al menos, 1.000 m² (idealmente, de unos 5.000 m²), y consistente en el tratamiento diferente al general: adehesamiento en rodales C4, clara moderada + desbroce en rodales C3.2. Los detalles de este tratamiento se ajustarán a las condiciones iniciales del rodal.

C) Tratamiento control: superficie sin intervención. Esta superficie debe tener al menos 1.000 m² (idealmente, 5.000 m²) y debe garantizarse que no será una zona de paso en la ejecución de los trabajos forestales, ni una zona de especial relevancia para la prevención de incendios.

Los tratamientos alternativo y control deben instalarse en zonas homogéneas y próximas entre sí. En el centro de las superficies destinadas a estos tratamientos, y también en una zona próxima y similar del tratamiento general, se instala un total de 3 parcelas de inventario (“**triplete**”, en lo sucesivo), descritas a continuación. La Figura 1 muestra un ejemplo de ubicación de un triplete, con los tratamientos asociados:



Figura 1. Ejemplo de distribución de los tres tratamientos y sus parcelas de seguimiento asociadas (círculos): tratamiento general del rodal (amarillo), tratamiento alternativo (azul) y control (rojo).

Para garantizar la correcta aplicación del tratamiento diseñado, la intervención se debe señalar pie a pie, en las parcelas de inventario y en el entorno de éstas, en un radio a su alrededor equivalente a, al menos, la altura media de los árboles.

El centro de las parcelas de seguimiento se marca con un cilindro de PVC gris clavado en el suelo; además, se toma la distancia reducida y rumbo desde el árbol más cercano (marcado con una T invertida) hasta el centro de parcela.

El rendimiento previsto para completar el inventario en parcelas de seguimiento avanzado es el siguiente:

- Inventario dasométrico (replanteo y medidas), 1 hora/parcela, 2 personas.
- Transectos de sotobosque (replanteo y medidas), 1 hora/2 transectos, 2 personas.
- Inventario IBP (medidas), 1 hora/parcela, 1 persona.

Total: 3 parcelas/jornada, equipo de 3 personas, excepto en el inventario post-intervención, que se puede hacer únicamente con 2 personas.

Seguimiento integral

En unos pocos sistemas de seguimiento avanzado se realiza una toma adicional de datos y se emplean simuladores y modelos para completar su evaluación.

La Tabla 2 muestra los rodales de seguimiento avanzado e integral.

Tabla 2. Características de los sistemas demostrativos de seguimiento avanzado e integral

Socio	Rodal	TM	Clima			Formación			Seg. integral
			Med seco	Med subhúm	Supram ed.	Pinar	Encinar	Robledal	
CTFC	3.2A	St Climent	X			X			sí
CTFC	3.2A+4B	St Climent	X				X		no
CTFC	3.2F	Sora		X		(X)		X	sí
CTFC	4K+3.2G	St Mateu B.	X			(X)		X	sí
CTFC	4J+3.2G	St Mateu B.	X			X			no
CTFC	4A	Aiguamúrcia				X			no
CTFC	4M/4O	Sora		X		X			no
CTFC	4T/4W	St Celoni		X			X		no
Agresta	3.2B	Muriel Viejo			X			X	probable
Agresta	4E	Soria			X	X			no
Agresta	3.2D	La Póveda			X	X			probable
DiGi	4C	Camps i Armet		X		(X)	X		no
DiGi	4D	Can Vilallonga		X		(X)	X		no
# total sistemas:			4	5	3	10	4	3	3-4

2. Caracterización básica silvomasométrica, vulnerabilidad a incendios potencial pascícola

La caracterización consiste en completar la siguiente ficha de campo a nivel de rodal (o sub-rodal, si es necesario), en tres momentos: antes de la intervención (verano-otoño 2022), justo después de la intervención (invierno 2022-23), y al cabo de 3 períodos vegetativos (otoño 2025). El Anexo 1 amplía información sobre la toma de datos.

Datos generales

Rodal/subrodal:		Equipo:	
Fecha:		¿3-4 fotos hechas?	

Descripción selvícola

Formación forestal y calidad de estación (Orgest):	
Sp principal/es (AB>20% total)	
Sp secundarias (5-20% AB total)	
Sp accesorias (<5% AB total)	
Tipología de pasto arbolado (Tauli & Baiges, 2016):	
Transitabilidad para ganado (buena, regular, mala)	
Descripción selvícola literal	
-Tipo de mezcla (si mixta):	
-Estratificación:	
-Estructura (forma principal):	
-Clases naturales (si regular):	
-Índice de espesura:	
-Vitalidad (descripción):	

Parámetros selvícolas obtenidos por estimación pericial: a nivel de masa total + especies principales

Estrato arbóreo				
Pies inventariables (>7,5Ø)	Masa en conjunto	Especie	Especie	Especie
Densidad (pies/ha)				
FCC (%)				
Altura dominante (m)				
Altura media estimada (m)				
Diámetro normal medio (cm)				
AB total (m ² /ha)				
Potencial silvicultura árbol individual				
Pies menores (2,5<Ø<7,5)	Masa en conjunto	Especie	Especie	Especie
Recubrimiento (%)				
Distribución (grupos, pie a pie)				
Vitalidad (alta, media, baja)				
Estrato matorral				
Masa en conjunto	Especie	Especie	Especie	
Cobertura (%)				
Altura (m)				
Distribución matorral (describir)				
Estrato herbáceo				
Masa en conjunto	Tipo (opcional)*	Tipo (opcional)*	Tipo (opcional)*	
Cobertura (%)				
Altura (m)				

Querencia de los animales (solo se aplica en rodales pastoreados en pre-intervención)	Marcar con una X la opción más adecuada			
Todas las zonas del rodal son frecuentadas de forma más o menos homogénea por el rebaño				
El rebaño se concentra más en zonas específicas, especialmente alrededor de puntos de agua o zonas de complemento de forraje				
El rebaño se concentra más en zonas específicas, no exclusivamente en zonas cercanas a puntos de agua o zonas de complemento de forraje				

Vulnerabilidad a incendios ([enlace](#))

Modelo de combustible (Rothermel, 1972)	
Recubrimiento combustible superficie (%)	
Recubrimiento combustible escala (RCE; %)	
Altura del combustible de superficie (m)	
Si RCE > 25%: Distancia entre combustible de superficie y de escala (m)	
Si RCE > 25%: Distancia entre combustible de escala y aéreo (m)	
Si RCE < 25%: Distancia entre combustible de superficie y aéreo (m)	

Observaciones	
----------------------	--

Tipos de tratamiento propuestos (solo en inventario pre-intervención)

- sobre el estrato arbóreo:	
- sobre el matorral:	
- sobre las herbáceas	

Para rodales ya pastoreados antes de la intervención del LIFE se propone una breve descripción del aprovechamiento pastoral actual:

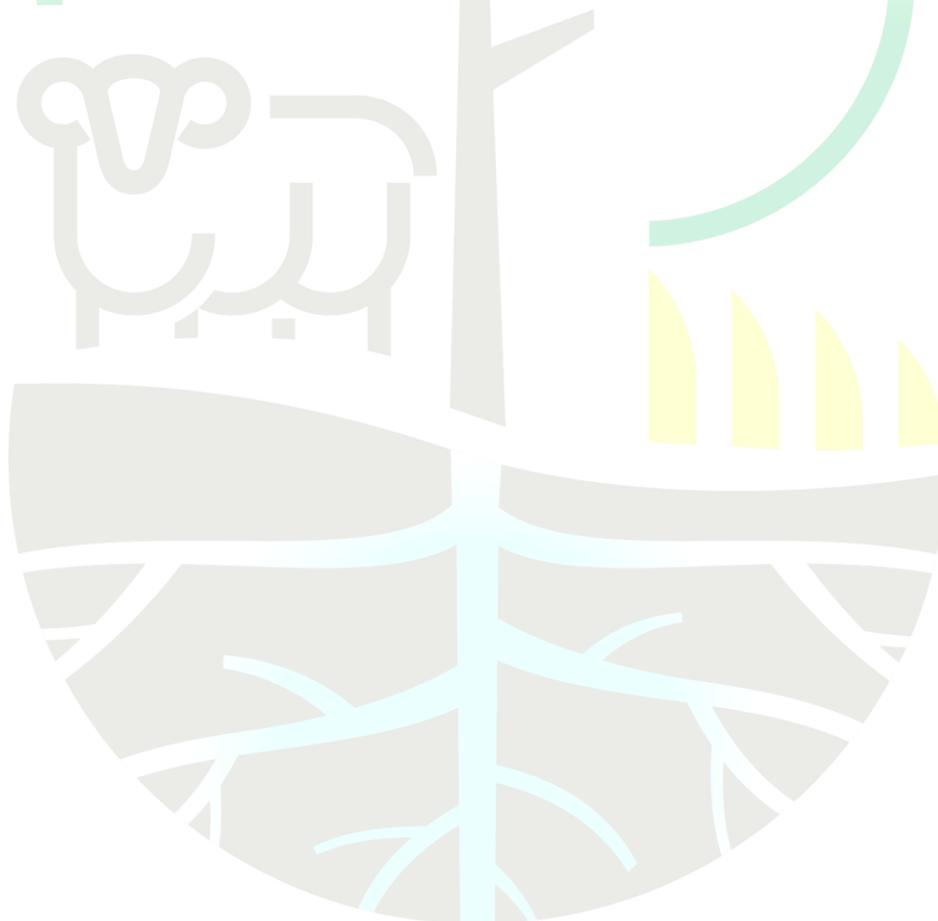
Tipo de ganado y raza/s	
Número de cabezas	
Estado fisiológico de los animales	Exponer si es: mantenimiento / gestación/ cría/ combinación de los anteriores
Meses de pastoreo al año	
Breve descripción complementaria (si se disponen de los datos requeridos se expone; si no, no pasa nada)	Exponer si el rodal se pastorea junto a otras superficies / épocas al año en que entra el rebaño / exponer si se aporta complemento forrajero al rebaño en el rodal / existencia de puntos de agua en el rodal

Además, en el inventario final (2025), se realiza una **caracterización semicuantitativa**, que pretende estimar de forma categórica el grado de consumo y ramoneo de los estratos herbáceo y arbustivo. Para ello se recorre el rodal y se establecen diversas estaciones de seguimiento para estimar visualmente la presión de los herbívoros sobre los estratos herbáceo y arbustivo.

- Estaciones de seguimiento de 20 * 20 m.

- Para los rodales de seguimiento básico se propone un mínimo de una estación de seguimiento cada 6 ha (máximo 4 estaciones por rodal), mientras que para los rodales de seguimiento avanzado se propone un mínimo de una estación cada 3 ha (máximo 6 estaciones por rodal).
- Para el estrato herbáceo, si es posible, se propone diferenciar la presión sobre las principales especies. Se propone un gradiente de intensidad de consumo (nulo / débil / moderado / intenso / muy intenso / total). En la página siguiente se caracteriza este
- Para el estrato arbustivo, la intensidad de ramoneo depende de la especie y de su abundancia. Se propone que en cada estación se seleccionen las especies dominantes (hasta un total de 3-5 especies, a ser posible las mismas en todo el rodal; cuantas más, mejor precisión) y se anote la presión de ramoneo y el porcentaje de recubrimiento aproximado de cada una de ellas. La intensidad de ramoneo sólo se estima hasta la altura accesible para los herbívoros (entre 1,5 m y 2,0 m, pudiendo llegar al máximo de este intervalo en el caso de ciervos, vacuno, o cabras de gran volumen por su capacidad para pastorear de forma bípeda).

La información se puede recopilar adaptando la tabla siguiente. Las categorías de consumo para cada estrato se indican al final de la tabla y se explican a continuación.



Datos generales

Rodal/subrodal:		Equipo:	
Fecha:			

Evaluación de la presión de herbívoros sobre los estratos herbáceo y arbustivo												
		Estaciones										Valoración global presión
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
# deyecciones cada 10 m ²												
Herbáceo	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp1</i>												
<i>Esp2</i>												
<i>Esp3</i>												
Arbustivo	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp1</i>	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp2</i>	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp3</i>	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp4</i>	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp5</i>	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp6</i>	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp7</i>	Cobertura											
	Presión											
<i>Esp8</i>	Cobertura											
	Presión											
Notación:	Presión sobre el estrato herbáceo (descripción en tabla siguiente)						Intensidad del ramoneo del estrato arbustivo (descrita en tabla siguiente)					
0	Sin pastoreo						Inapreciable					
1	Trazas de paso						Muy débil					
2	Débil						Débil					
3	Moderado						Moderado					
4	Intenso						Bastante intenso					
5	Muy intenso						Intenso					
6	Total						Muy intenso					

Las categorías visuales para apreciar la intensidad de pastoreo se describen a continuación:

Notación	Apreciación visual de la intensidad de pastoreo sobre el estrato herbáceo
IPH0	Sin pastoreo: no hay signos de consumo de las especies vegetales, ni tampoco signos de paso de los animales en las zonas de muestreo
IPH1	Trazas de paso de los animales (pisoteo, excrementos), pero sin efectos claros de consumo sobre el estrato herbáceo
IPH2	Consumo débil: las plantas consumidas generalmente están despuntadas, observándose tan solo un efecto de defoliación sobre el estrato herbáceo intenso o muy intenso de forma puntual
IPH3	Consumo moderado, pero irregular: algunas zonas del rodal presentan una defoliación muy alta del estrato herbáceo (prácticamente toda la biomasa eliminada); en otras, la defoliación es media; y en otras la biomasa solo está consumida puntualmente
IPH4	Consumo intenso: la mayor parte del rodal presenta una defoliación del estrato herbáceo alta o muy alta, aunque puedan existir zonas con una defoliación menor
IPH5	Consumo muy intenso: todo el rodal muestra una defoliación alta o muy alta
IPH6	Consumo total: pasto raso en todo el rodal, solo queda alguna parte basal de las plantas por consumir, i plantas en roseta (por ejemplo, el género <i>Hieracium</i>), que generalmente nunca llegan a ser consumidas por el rebaño

La intensidad de ramoneo visual se categoriza según los criterios siguientes:

Notación	Apreciación visual de la intensidad de ramoneo del estrato arbustivo
IRA0	Inapreciable: no se aprecia ramoneo ni pisoteo sobre el estrato arbustivo
IRA1	Ramoneo muy débil: algunos brotes ramoneados, pero el impacto es muy bajo
IRA2	Ramoneo débil: el ramoneo empieza a ser evidente, pero el crecimiento del individuo arbustivo no se ve comprometido
IRA3	Ramoneo moderado: Ramoneo evidente. Muchos brotes consumidos, Solo unos cuantos crecen por encima de las señales de ramoneo del año anterior
IRA4	Ramoneo bastante intenso: Ramoneo muy evidente. Crecimiento de los brotes por debajo de las señales de años anteriores, la mayoría en posición interna protegida por la estructura leñosa. El individuo presenta una forma recortada (silueta)
IRA5	Ramoneo intenso: Sólo los brotes inaccesibles al ramoneo están verdes. Algunos individuos muertos o claramente en decaimiento.
IRA6	Consumo muy intenso: Muchos individuos muertos o moribundos. Sólo algún brote verde en posición protegida.

La caracterización de la querencia o zonas principalmente frecuentadas por el ganado se obtiene a partir de la observación directa sobre el terreno, y también a través de una encuesta simple al ganadero. El objeto es determinar si existen algunas zonas más frecuentadas que otras y en que intensidad, y qué factores hacen que sea así (calidad forrajera, puntos de agua, puntos de complementación alimentaria, etc)

Se proponen las preguntas que recoge la siguiente tabla para formular al ganadero:

Preguntas a hacer al ganadero: situación inicial	Preguntas a hacer al ganadero: situación final
¿el rebaño frecuenta más algunas zonas que otras dentro del rodal?	¿el rebaño frecuenta más algunas zonas que otras dentro del rodal?
¿cuáles son las zonas más utilizadas por el rebaño para pastorear?	¿cuáles son las zonas más utilizadas por el rebaño para pastorear?
¿cuáles son las zonas más utilizadas por el rebaño para sestar o descansar?	¿cuáles son las zonas más utilizadas por el rebaño para sestar o descansar?

¿los puntos de agua condicionan de forma importante las zonas de pastoreo, o bien los sesteadores del rebaño?	¿los puntos de agua condicionan de forma importante las zonas de pastoreo, o bien los sesteadores del rebaño?
¿las áreas de complemento de forraje condicionan de forma importante las zonas que utiliza el rebaño para pastorear?	¿las áreas de complemento de forraje condicionan de forma importante las zonas que utiliza el rebaño para pastorear?
¿se aprecia como las zonas de mayor calidad forrajera son más frecuentadas por el rebaño?	¿se aprecia como las zonas de mayor calidad forrajera son más frecuentadas por el rebaño?
¿la transitabilidad para el rebaño es buena en el conjunto del rodal, o bien se aprecian problemas en algunas zonas?	¿la transitabilidad para el rebaño es buena en el conjunto del rodal, o bien se aprecian problemas en algunas zonas?
	Pregunta abiertas: ¿Qué mejoras se aprecian a partir de la realización de los trabajos silvícolas del proyecto?

Se propone definir la transitabilidad de los animales en la zona de 20 * 20 m, y entorno de la misma. La transitabilidad se clasifica de forma categórica de la siguiente forma: transitabilidad alta / transitabilidad media / transitabilidad baja / transitabilidad muy baja o nula.

Transitabilidad del sotobosque (macar con una X donde corresponda)			
Alta	Media	Baja	Muy baja o nula

3. Caracterización avanzada silvométrica, vulnerabilidad a incendios y potencial pascícola

Al igual que en el caso anterior, esta caracterización se realiza en tres momentos: antes de la intervención (verano-otoño 2022), justo después de ésta (invierno 2022-23), y tras 3 periodos vegetativos (otoño 2025).

3.1. Inventario dasométrico y de vegetación

Establecimiento de las parcelas de inventario

Las tres parcelas de cada rodal se distribuyen según un inventario dirigido (ver Figura 1), de forma que las tres sean representativas de las características generales del rodal antes de actuación y dejando al menos 15 m de distancia entre la parcela y el borde del rodal.

Las parcelas se localizan lo más próximas entre ellas posible, manteniendo las distancias de las franjas adyacentes entre las diferentes zonas de actuación. Las parcelas se pueden localizar antes o después de realizar el marcaje de la intervención, aunque se recomienda realizar el muestreo inicial después del marcaje y así poder identificar los árboles marcados para cortar.

Las parcelas son circulares de 10 m de radio (~300 m²) en plano horizontal. El perímetro de la parcela se determina por distancia reducida al centro, y un árbol se considera dentro de la parcela si la distancia en proyección horizontal desde el centro de la parcela al centro del tronco en la base es igual o menor de 10 m. En el caso de adhesamientos, el radio inicial de 10 m se amplía si es necesario para que entren al menos 30 árboles una vez hecha la corta (a partir de la densidad objetivo propuesta en el pliego de condiciones de la actuación se puede estimar el espaciamiento entre árboles después de la corta).

Las parcelas son de carácter permanente. Se identifican con un código único, marcando el centro con un tubo de PVC de 15 cm clavado en el suelo. En el árbol más cercano al centro que no vaya a ser cortado se marca con pintura un T invertida. La raya horizontal marca el Dn y la vertical mira hacia el centro de la parcela. Para remedir los diámetros de los árboles en el futuro en el mismo punto, se pinta una línea con pintura forestal verde, a la altura del pecho (1,3 m), de todos los árboles inventariables situados dentro de la parcela (**el diámetro del árbol se mide justo por encima de la marca de pintura**).

Parámetros a medir

Parámetros de identificación de la parcela:

- Rodal y número de parcela.
- Fecha y hora.
- Distancia reducida y rumbo desde el árbol marcado T hasta el centro de la parcela.
- Radio de parcela utilizado para determinar los árboles a medir (a priori 10 m).
- Coordenadas del centro (GPS con precisión inferior a 5 m)
- Fotografías de la parcela (desde el centro de la parcela, en dirección norte y sur, y desde el sur en dirección centro). Las fotos se hacen siempre en el mismo orden, y después en gabinete se anota en el nombre de cada imagen, la ubicación de la toma y la dirección hacia donde está hecha. Se recomienda utilizar las opciones de geoposicionamiento de la cámara para facilitar la trazabilidad de ubicación y dirección.

Parámetros dasométricos y de los árboles inventariables:

- Especie y diámetro normal de todos los árboles vivos con $Dn \geq 7,5$ cm, empezando por el árbol más cercano al centro de la parcela (marcado con la T). Es necesario comprobar que la distancia reducida (distancia en proyección horizontal) de cada árbol al centro es igual o menor a 10 m para saber si está dentro de la parcela, pero esta distancia no se anota. El Dn se mide con cinta pi.
- Altura total (SH) de los 5 árboles más cercanos al centro de cada parcela, medida con hipsómetro digital. Se excluyen los árboles suprimidos. Este dato se apunta asociado a la medida de diámetro normal de cada árbol.
- Altura en la base de la copa (CBH) (punto sobre el tronco equivalente a la altura de las hojas verdes más bajas) de los mismos árboles elegidos para la altura total.
- Ancho de las copas. Medida de la distancia resultante de la proyección de los bordes de la copa (precisión decimétrica, con ayuda de una escuadra óptica). Se toman dos medidas, una siguiendo el radio de la parcela y otra perpendicular al radio, de los mismos árboles elegidos para la altura total.

Parámetros de clasificación de la vulnerabilidad estructural, estimados:

- Fracción de cabida cubierta del estrato aéreo (Fcc, %).
- Recubrimiento de los combustibles en escala (RCS, %).
- Recubrimiento de los combustibles en superficie (RCS, %).
- Altura del combustible de superficie (ACS, m).
- Distancia entre el combustible de superficie y aéreo, siempre que RCE sea $< 25\%$ ($Ds-a$, m).
- Distancia entre el combustible de escala y aéreo, siempre que RCE sea $> 25\%$ ($De-a$, m).
- Distancia entre el combustible de superficie y de escala, siempre que RCE sea $> 25\%$ ($Ds-e$, m).

Parámetros del sotobosque:

- Regeneración (pies menores de especies arbóreas): Especie y número de pies menores de $DBH < 7,5$ cm y altura mayor a 1,30 m. Se cuentan los pies menores situados dentro del perímetro de la parcela de inventario utilizado para determinar los árboles inventariables.
- Recubrimiento del estrato arbustivo y herbáceo: Dos transectos en banda de 10 m x 1 m en sentido descendente, siguiendo la máxima pendiente, uno junto al centro de la parcela y otro paralelo a 10 m de distancia. La posición de los transectos puede variarse si ésta no es adecuada para representar las condiciones medias del rodal. En cualquier caso, se describe la posición relativa de los transectos respecto al centro de parcela y el sentido de progreso dentro del transecto (derecha o izquierda respecto a la línea de estacas). Tienen un ancho de 1 m, creando un polígono de 10 x 1 m que se divide en 10 cuadrados de 1x1 m. En cada cuadrado se anota para cada especie de matorral y de regenerado el recubrimiento en % y la altura máxima, así como el % de recubrimiento de hierbas, musgo, restos leñosos y suelo desnudo o roca. Se coloca una estaca de madera en su punto de inicio y en su punto final, que quedan en la parcela, o bien se utiliza un árbol que no será cortado como punto inicial de referencia o con un tubo de pvc clavado en el suelo. Es conveniente geolocalizar las estacas o medir su distancia y rumbo al centro por si es necesario reubicarlas.

Medida de la edad del arbolado

A realizar en gabinete mediante una estimación basada en ortofotos históricas.

3.2. Índice de Biodiversidad Potencial

Este parámetro es parte del protocolo de seguimiento de la biodiversidad (Acción D5). Sin embargo, se describe en este protocolo ya que la toma de datos se realiza de manera coordinada con los seguimientos C2.2 + C3. La evaluación IBP se hará en superficies circulares de 33 m de radio en proyección vertical y con centro en la parcela de inventario. En el caso de los Tratamientos Alternativo y Control, si no es posible alcanzar esta superficie, se hará en la máxima posible, que debe ser cuantificada durante su evaluación, expresando el valor de cada indicador IBP en relación a una superficie de 33 m de radio.

Parámetros a medir antes de las actuaciones y al cabo de 3 periodos vegetativos:

Factores asociados a la gestión:

- Factor A (Especies arbóreas autóctonas): anotar la presencia de los diferentes géneros observados presentes en la lista de géneros (ver información complementaria en Teams, carpeta D2.2+D3). Se incluye la presencia de cualquier individuo, vivo o muerto, de > 50 cm de altura. También se tiene en cuenta la proporción de especies autóctonas.

Puntuación:

0: 0 o 1 género

1: 2 géneros

2: 3 o 4 géneros

5: 5 géneros o más

Si Fcc autóctonas < 50% puntuación = 2

- Factor B (Estructura vertical): anotar la ocupación por vegetación de los diferentes estratos verticales definidos, en recubrimiento (herbáceo; < 1,5m; 1,5-5m; 5-15m; >15m). Solo se anotan como presentes los estratos que ocupen un mínimo del 20% en el rodal. En el caso de ocupación por ramas, no se tienen en cuenta las ramas muertas, y si el cálculo del porcentaje mínimo se hace en invierno, hace falta considerar las hojas.

Puntuación:

0: 1 estrato

1: 2 estratos

2: 3 o 4 estratos

5: 5 estratos

- Factores C y D* (Madera muerta grande en pie y en suelo): debe anotarse el número de individuos observados (de > 1 m de longitud o altura) de madera muerta en pie y en tierra, de tamaño medio (FMM; $\emptyset > 17,5$ cm) y grande (FMG; $\emptyset > 27,5$ cm). Solo se considera madera muerta en suelo si la mayor parte del tronco está en contacto con el suelo. Puntuación:

0: <1 FMG/ha y < 1 FMM/ha

1: < 1FMG/ha y ≥ 1 FMM/ha

2: ≥ 1 y < 3 FMG/ha

5: ≥ 3 FMG ha

- Factor E* (Árboles grandes): Debe anotarse el nombre de individuos observados de árboles vivos grandes (AG > $\emptyset 37,5$ cm) y muy grandes (AMG > $\emptyset 57,5$ cm). Puntuación:

0: <1 AMG/ha y < 1 AG/ha

1: < 1 AMG/ha y ≥ 1 AG/ha

2: ≥ 1 y < 5 AMG/ha*

5: ≥ 5 AMG ha*

* en alguna de las versiones del IBP pone erróneamente AG en vez de AMG

- Factor F (Dendromicrohábitats): Anotar todos los árboles con algún tipo de dendromicrohábitat (DMH) según el catálogo europeo adjunto. Si no interesa el nombre real, se puede anotar hasta llegar al umbral máximo por hectárea considerado para cada grupo (2 árboles/parcela). Si se opta por esta opción, cabe tener en cuenta que si se muestra una superficie mayor a 1 ha el número de observaciones necesarias para llegar a 2/ha aumenta. Si un árbol tiene 2 tipos de DMH diferentes, se consideran los 2 por separado. Si, en un mismo árbol, se repite el mismo subtipo, se considera sólo 1 vez. Puntuación:
 - 0: < 1 DMH/ha
 - 1: ≥ 1 y < 2 DMH/ha
 - 2: ≥ 2 y < 6 DMH/ha
 - 5: 6 DMH/ha o más

- Factor G (Espacios abiertos): Anotar superficie de claros y zonas poco densas, restringida sólo a aquella superficie con presencia de vegetación florícola, ya sean claros permanentes o temporales, naturales o debido a la gestión. Los espacios abiertos de borde (de caminos, pastos, líneas eléctricas/telefónicas, etc.) no se anotan a nivel de parcela sino a nivel de todo el rodal (ver apartado siguiente).. Puntuación:
 - 0: 0%
 - 2: < 1% o > 5%
 - 5: de 1 a 5%

Factores asociados al contexto:

- Factor H (Continuidad temporal del bosque): Se evalúa la continuidad del suelo forestal a partir de la síntesis de una serie de informaciones: a) en gabinete, a partir de la ortofoto de 1945-56, para comprobar la presencia de bosque anterior a esa fecha; b) a partir de los conocimientos de la propiedad, escrituras, etc. que informen de la fecha de origen del monte y si ha tenido continuidad, con posterioridad a la fecha de la ortofoto; c) a partir de la observación de signos de discontinuidad temporal (muros, terrazas) que confirman o contradicen la información obtenida en las ortofotos. Si en zonas roturadas, hay elementos de continuidad (árboles muy viejos mantenidos en terrazas o márgenes, zonas rocosas que se han mantenido con arbolado), se otorga una puntuación de 2, al considerarse la discontinuidad forestal solamente como parcial. Puntuación:
 - 0: bosque reciente (>1945)
 - 1: bosque reciente limitando con bosques antiguos.
 - 2: bosque antiguo (< 1945) pero replantado, o solo conservado parcialmente (al margen de fajas o roquedales)
 - 5: bosque antiguo (< 1945)
- Factores I y J (Ambientes acuáticos y rocosos): anotar la presencia de un máximo de 2 tipos de medios acuáticos y de medios rocosos según listados adjuntos. Para los medios rocosos, cada elemento debe ocupar más de 20 m². Los medios acuáticos y rocosos también se anotan a nivel de rodal. Puntuación:
 - 0: ningún tipo
 - 2: 1 tipo
 - 5: 2 tipos o más

3.3. Producción pascícola y querencia

En las parcelas **adehesadas (tratamiento C3.2)** el recurso forrajero se caracteriza diferenciando la situación bajo copa de árbol en posición norte y sur, vs. zona abierta. Si el seguimiento tiene lugar en parcelas distintas a las de inventario, los árboles a cortar se diferenciarán de los árboles reservados para garantizar la correcta aplicación del tratamiento.

En las parcelas en las que se aplica **silvopastoralismo extensivo (tratamiento C4)**, las parcelas de seguimiento del recurso forrajero coincidirán con las de inventario forestal. En caso de que se contemple la recuperación en una zona donde exista una especie con carácter invasor (p.ej., zarzamora o *Ampelodesmos mauritanica*) en función del tratamiento selvícola y ganadero, las parcelas de seguimiento se localizarán en zonas específicas, donde se garantizará que el tratamiento sea el diseñado.

En las parcelas en las que se realice siembra posterior, se propone recoger sobre el terreno datos básicos como el establecimiento del tapiz herbáceo, y a través de encuesta al ganadero determinar si ha existido una buena producción y los resultados son los esperados.

3.3.1. Encuestas a realizar en todas las parcelas

Se hará una encuesta al ganadero (en 2022 si el terreno ya está pastoreado, y en 2025 en todos los casos) para determinar:

- i) número de animales y tipo de ganado (bovino, ovino, caprino, u otro)
- ii) estado fisiológico del lote de animales que aprovechan la parcela (mantenimiento; gestación; cría; una mezcla de los anteriores)
- iii) manejo pastoral en el rodal (p.ej., si se aprovecha conjuntamente con otra zona; número de aprovechamientos al año y época); anotar si el aprovechamiento se realiza en algunas épocas del año en concreto, o bien no existe ningún criterio en este sentido.

3.3.2. Muestreo en parcelas de seguimiento en zonas adehesadas

Inventarios: post-intervención y final.

El seguimiento busca entender el papel del árbol en la composición, fenología y producción herbácea bajo la copa en comparación con una zona de pasto abierta.

En cada parcela se localizarán 5 árboles dominantes por especie arbórea. Se ubicarán dos transectos bajo la copa, uno en orientación norte y otro en orientación sur. El centro del transecto se localizará aproximadamente en la mitad del radio entre el centro y el perímetro de la copa. Idealmente cada transecto tendrá una longitud de 5 m. Si los extremos rebasan la proyección de la copa, se realizarán dos transectos por orientación, separados 2 m entre ellos. En las inmediaciones de cada árbol, y en una situación topográfica similar a la de los transectos bajo copa, se harán 2 transectos en zona de pasto sin influencia de los árboles (por sombra u hojarasca). Los transectos de 5 m se harán separados un mínimo de 5 m.

En cada transecto, cada 20 cm, se anota el número de contactos por especie herbácea y arbustiva y el tipo de suelo (hojarasca, materia orgánica descompuesta, suelo mineral, piedra, musgo, restos de corta...). Los contactos se refieren al número de intercepciones de una misma especie con una varilla fina (diámetro < 2,5 mm) dejada caer

verticalmente. En total se muestrean 50 puntos por condición experimental y árbol. Para cada especie herbácea y punto de transecto se anota el estado fenológico dominante (vegetativo; floración- inicio-plena-pasada; fructificación -inicio-plena-pasada; senescente). Para cada especie arbustiva y punto de transecto se anota la especie y su estado fenológico (despliegue de brotes y hojas, hojas verdes, fructificación, hojas marcescentes). En cada contacto se anota también el grado de consumo de las especies herbáceas y arbustivas siguiendo la propuesta de las tablas del protocolo P2. También se anotan los contactos con el regenerado de especies arbóreas.

En zona pastoreada por ganado mayor, se contará el número de excrementos en una superficie de 10 x 10 m centrada en el árbol y en una superficie equivalente en zona abierta. También se anotará el porcentaje de hierba no consumida. La hierba no consumida puede ser o bien especies concretas que no son palatables y el ganado las rechaza de forma constante en pastoreo libre, o bien pequeñas manchas de hierba que el ganado rechaza y las deja completamente en pie sin morder la hierba porque tiene un exceso de N o parásitos.

Se registrará la presencia en porcentaje de especies no deseadas, invasoras o no palatables (*Senecio inaquidens*, *Urtica sp.*, *Ampelodesmos mauritanica*, *Rumex sp.*, *Chenopodium sp.*, *Euphorbia sp.*, *Eryngium sp.*, *Cirsium sp.*, *Hordeum sp.*, *Bromus sp.*, etc).

Para las parcelas de **seguimiento integral en rodales adhesionados se prevé la colocación de jaulas de exclusión para determinar la producción herbácea. Se propone realizar un seguimiento en estas parcelas los años 2024 y 2025**, con el objetivo de obtener la producción anual de materia seca herbácea, tanto bajo cubierta arbórea como fuera de cubierta arbórea. Para cada rodal se prevé la colocación de 4 jaulas bajo cubierta arbórea y 4 jaulas fuera de cubierta arbórea, realizando cortes de 0,50 * 0,50 m. En la zona donde se coloquen las jaulas se cortaría la hierba previamente a su colocación (en el momento de la colocación se considera producción = 0; la colocación de las jaulas se debe realizar antes del inicio del período vegetativo), y a final de temporada se cortaría de nuevo para determinar el crecimiento anual. La producción se determinaría después de secar la hierba en estufa a 60°C durante 48 horas.

El valor de producción puede ayudar a realizar la valoración económica de la autosuficiencia forrajera aportada por los rodales adhesionados. El escenario ideal para medir la producción sería esperar varios años para que el tapiz herbáceo se consolide en el rodal, y entonces medir la producción. Dado que el proyecto LIFE se desarrolla en los años posteriores a las intervenciones y la producción herbácea será heterogénea a escala de rodal, se prevé centrar los esfuerzos de la toma de datos de producción herbácea solo en los rodales destinados a seguimiento integral, y tan solo en los dos últimos años de muestreo.

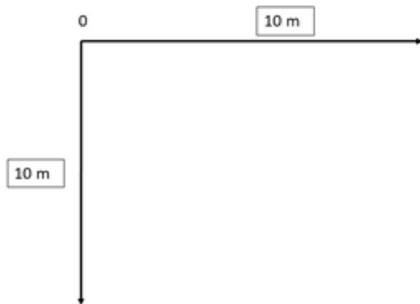
3.3.3. Muestreo en parcelas de seguimiento en zonas de silvopastoralismo extensivo

Inventarios: pre-intervención y final.

El recubrimiento herbáceo es un buen indicador del potencial pastoral de una masa arbolada. Aun así, la diferenciación entre especies permite poder definir si alguna parte de este recubrimiento es difícil de controlar por parte de los animales, bien porqué sea rechazada por el rebaño; o bien porqué se hayan instalado plantas con un carácter invasor en la parcela que son difíciles de controlar con rebaños.

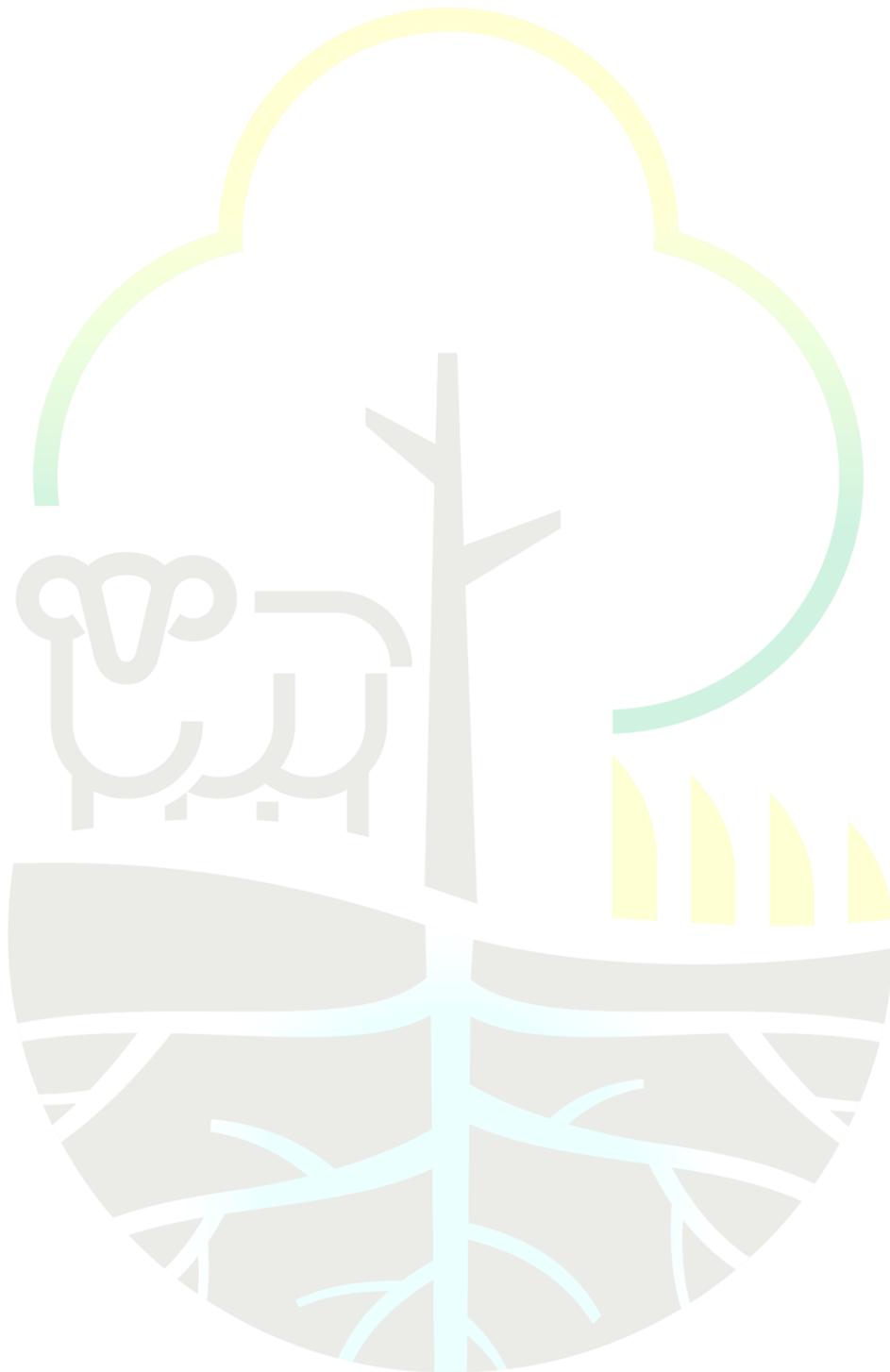
Para el estrato arbustivo, la determinación de especies permite clasificar a éstas según su grado de palatabilidad, aspecto clave para conocer si el sotobosque tiene o no una buena aptitud pastoral.

El muestreo se realizará con transectos que se deben establecer en zonas representativas de las condiciones de sotobosque de la parcela (1 estación de muestreo por parcela). Una estación de muestreo se señalará como un punto que se georreferenciará, o bien se marcará con alguna estaca que permanezca de forma fija (punto 0 de la imagen adjunta); a partir de este punto central de la estación de muestreo se plantearán dos transectos lineales, uno de 10 m siguiendo la curva de nivel, y otro de 10 m siguiendo la línea de máxima pendiente. Cada 20 cm de transecto lineal se realizará un contacto vertical con el suelo empleando una varilla fina acabada en punta de 2,5 mm de grosor, de forma que para cada transecto de 10 m habrá 50 puntos de contacto, y para una estación de muestreo (formada por los dos transectos de 10 m) habrá un total de 100 puntos de contacto.



Estación de muestreo con un transecto de 10 m que sigue la curva de nivel, y otro de 10 m que sigue la línea de máxima pendiente

Para cada punto de contacto de la varilla fina con el suelo se anotará el número de intercepciones con las diferentes especies, tanto herbáceas como arbustivas, así como el tipo de suelo de suelo (hojarasca, materia orgánica descompuesta, suelo mineral, piedra, musgo...). Se considerará el estado fenológico (solo de las especies más abundantes, tanto herbáceas como leñosas); en los puntos que no exista contacto con especies vegetales se anotará siempre el tipo de suelo que contacta con varilla fina (suelo desnudo, piedra, hojarasca, restos silvícolas, musgo, etc). Para las especies herbáceas se considerarán los siguientes estadios fenológicos: **vegetativo; floración- inicio-plena-pasada; fructificación -inicio-plena-pasada; senescente**. Para las especies leñosas se considerarán los siguientes estadios fenológicos: **despliegue de brotes y hojas, hojas verdes, fructificación, hojas marcescentes, sin hojas**. Tanto para los contactos con especies herbáceas como para los contactos con especies leñosas se anotará el grado de consumo por parte del ganado siguiendo las tablas propuestas en el protocolo básico.



4. Evaluación del balance de carbono

4.1. Objetivos, ámbito de aplicación y estructura

El objetivo de esta evaluación es estimar el secuestro neto de carbono (C) y las emisiones evitadas por la reducción de insumos, sustitución de combustibles por biomasa o la reducción del riesgo de incendios. Esta metodología se desarrolla a partir de los protocolos elaborados en el proyecto LIFE CLIMARK (CTFC 2018). Esta acción es realizada por CTFC.

La metodología, descrita a continuación, se aplica en todos los rodales de seguimiento **avanzado** (Tabla 2). El balance de carbono se realiza comparando el contenido final, al cabo de 3 años de la implementación del sistema, en relación con la situación inicial o con las áreas control. También contempla una proyección a largo plazo (25-40 años) mediante simulación.

Los datos a recopilar se organizan en 3 bloques:

- Carbono absorbido por el componente leñoso (4.2)
- Carbono absorbido por el componente herbáceo (4.3)
- Carbono absorbido por el componente edáfico (4.4)
- Emisiones de carbono evitadas (4.5)

4.2. Carbono absorbido por el componente leñoso

A partir de los datos silvodosométricos obtenidos en los inventarios forestales, descritos en D2, se hará el cálculo del carbono contenido por fracciones a escala de árbol individual y estrato arbustivo, incluyendo raíces. Para ello, se emplearán ecuaciones alométricas individuales por especie, grupos de especie y alométricas / tasas a nivel de masa, todas obtenidas de publicaciones existentes (recopilación medfate como referencia inicial). Los análisis se harán para cada inventario (Pre, post, final), con un cálculo de tasas de incremento entre post y final.

La proyección a largo plazo, el C absorbido se obtendrá de curvas y modelos de crecimiento de árbol individual o masa forestal.

4.3. Carbono absorbido por el componente herbáceo

El C absorbido en la biomasa aérea se estimará a partir de la producción pascícola medida en D2, asumiendo un contenido de 0.5 unidades de C respecto a la biomasa. El C de las raíces no se incluye en el cálculo puesto que se contempla que se estabiliza en el suelo a corto plazo.

Para la estimación a largo plazo del C absorbido por los sistemas herbáceos se aplicará el modelo ForageSAFE en los rodales de seguimiento integral y se extrapolará, si es posible, a los rodales de seguimiento avanzado no incluidos en el seguimiento integral. La producción pascícola a largo plazo de los sistemas se basará en modelos de producción silvopastoral mediterráneos (Taüll et al, 2016).

4.4. Carbono absorbido por el componente edáfico

Esta variable sólo se mide en los rodales en los que se espera un mayor impacto sobre la dinámica de C del suelo: silvopastorales adeshados en terreno forestal (C3.2). No se contempla en sistemas silvopastorales extensivos (C4) si su gestión no conlleva un cambio importante en las entradas o salidas de C del suelo.

Para cuantificar el C edáfico se tomará una muestra representativa del horizonte orgánico y de los primeros 30 cm del suelo mineral según se detalla en el apartado siguiente. Debido a la alta variabilidad del suelo y la lentitud de los procesos de estabilización del C edáfico no es posible detectar cambios debidos a la gestión a corto plazo (Smith et al. 2004). Sin embargo, disponer de esta información inicial permitirá evaluar los cambios a medio plazo, unos 10 años después de gestiones donde exista un cambio importante en los aportes de materia orgánica o en las condiciones microclimáticas.

La proyección a largo plazo se hará aplicando tasas de descomposición existentes en la literatura que permiten estimar a lo largo del tiempo el C remanente en el suelo, como se ha realizado, entre otros, en el proyecto LIFE CLIMARK, o mediante modelos de dinámica de la materia orgánica edáfica como CENTURY (Metherell et al, 1993), una metodología ampliamente adoptada (McConkey et al. 2014; Tupek et al. 2019). Las medidas de respiración realizadas en D5 para estimar la diversidad funcional del suelo complementan estas proyecciones y permiten estimar de manera relativa la emisión de C.

4.4.1 Toma de muestras de suelo en horizontes orgánicos

Este muestreo se realiza solo en los rodales en los que existe una cobertura continua de hojarasca, de al menos 1 cm de espesor. En estas condiciones, se tomarán en cada condición experimental 16 muestras de horizontes orgánicos distribuidas regularmente y separadas un mínimo de 5 m. En cada punto se recogerán por separado las siguientes fracciones: L, hojas y ramillas <6mm y piñas, descartando ramas o troncos; Musgo; F, hojarasca parcialmente descompuesta; H, horizonte orgánico. Para ello se usará un cilindro metálico, de unos 25 cm de diámetro. Cada muestra se dispondrá en una bolsa correspondientemente etiquetada.



Figura. Muestreo de horizontes orgánicos con cilindro metálico de 25 cm de diámetro

4.4.2 Toma de muestras de suelo en horizonte mineral

En cada uno de los puntos de muestreo de los horizontes orgánicos, se tomará una muestra de suelo mineral, de 0 a 5 cm de profundidad mediante un cilindro metálico de 5 cm de diámetro.

En un mínimo de 5 puntos, escogidos al azar, se tomarán dos muestras de suelo de 5-15 cm y de 15 a 30 cm con una sonda de superficie conocida

4.4.3. Tratamiento de las muestras en laboratorio y análisis

Las muestras se guardarán hasta secarse, abiertas en un espacio ventilado y fuera de luz directa para facilitar el secado. Es posible secarlas en estufa a -60°C . Se obtendrá el peso seco de cada fracción orgánica y el peso seco de las fracciones superior a 2 mm e inferior del suelo mineral. El C edáfico se analizará en un laboratorio acreditado. En caso de que el suelo contenga carbonatos, el método recomendado es el de oxidación del dicromato según el método Mebius (1960) modificado por Nelson y Sommers (1996).

4.5. Emisiones de carbono evitadas

4.5.1. Reducción de las emisiones gracias a la sustitución de combustibles fósiles por biomasa vegetal

La reducción de las emisiones derivadas de la madera extraída en las intervenciones selvícolas, asociadas a las acciones C3.2 y C4, se estimará a partir del cálculo del volumen de madera extraído realizado en D2 y la estimación del volumen destinado a finalidad energética o a otros usos (madera de sierra para embalajes).

Las proyecciones a largo plazo de la madera extraída en el mantenimiento del uso silvopastoral se estimará considerando los modelos ORGEST (Piqué et al, 2014).

El cálculo de la energía generada por la madera destinada a biomasa se obtendrá con la fórmula simplificada: 1 t madera seca = 4.000 Kwh (Vericat et al, 2011). Por último, relacionaremos la producción de energía renovable con las emisiones asociadas a producir la misma energía con gasoil.

4.5.2. Reducción de las emisiones asociadas a incendios forestales

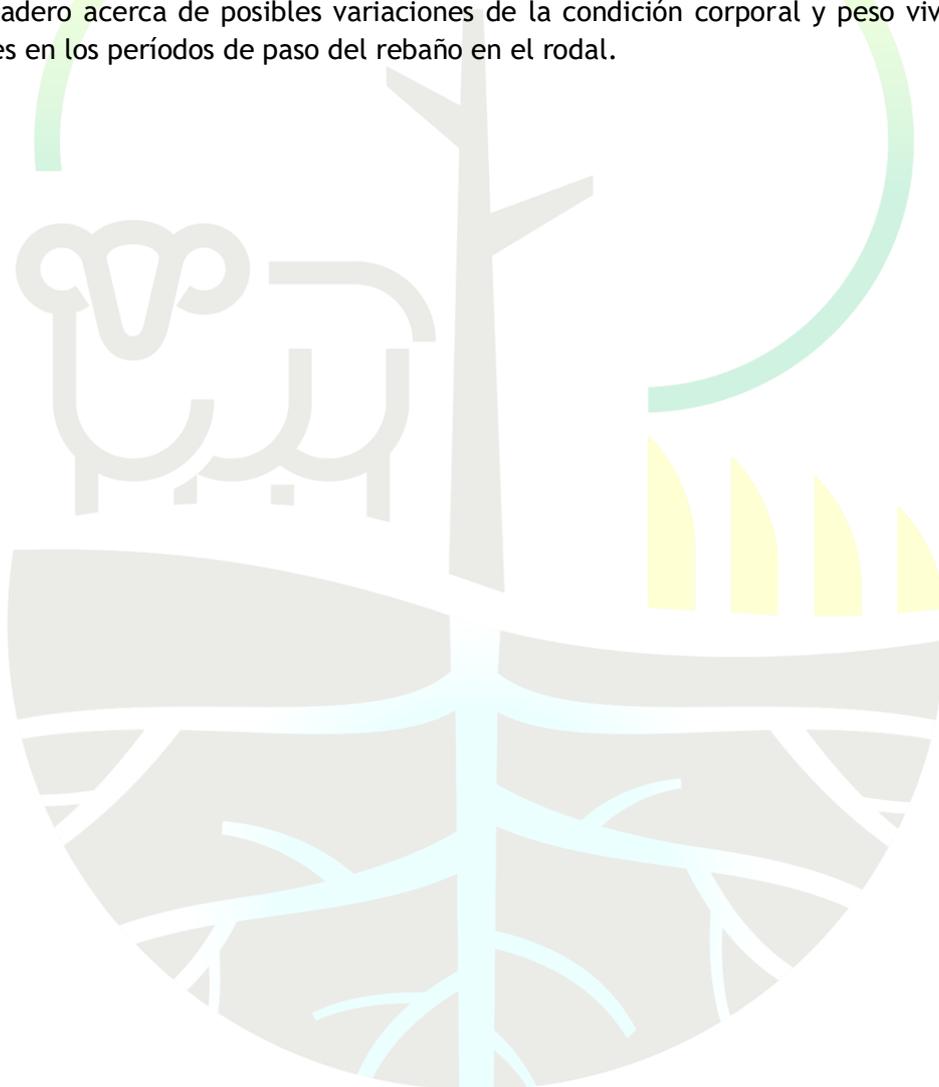
Los sistemas silvopastorales permiten reducir la acumulación de combustible de superficie y la cantidad y continuidad de la biomasa arbórea, considerándose una forma eficiente de reducir el riesgo de incendio (Damianidis et al 2020). Los estudios previos han mostrado cómo, bien diseñada, la aplicación de estos sistemas en un 10% de la superficie pueden proteger frente a incendios más del 50% de la superficie a escala de paisaje (Finney, 2001). Esta mejora es adicional a la facilitación de los trabajos de extinción y a la posibilidad de modificar el comportamiento del fuego, que pasaría de un incendio activo de copas (alta intensidad - superior a la capacidad de extinción; altas emisiones) a convertirse en incendio de superficie (baja intensidad - puede extinguirse; bajas emisiones y rápida recuperación de la vegetación tras el incendio). Se utilizarán simuladores de incendios forestales (ej: BEHAVE, FLAMMAP) para calcular las emisiones potenciales en caso de incendio forestal en las áreas demostrativas, comparando los resultados con y sin la implementación de sistemas silvopastorales. Así, calcularemos, para nuestras condiciones, la relación entre el porcentaje de área gestionada y el porcentaje de emisiones evitadas, así como las emisiones evitadas en caso de “incendios tipo” o de referencia. La toma de datos de base para las modelizaciones se realiza en D3.

5. Producción a largo plazo y balance económico

Este seguimiento solo se realiza en rodales de seguimiento integral (ver Tabla 2). La producción a largo plazo y el balance económico se calcularán en base a modelos de

crecimiento y a los flujos de producto calculados previamente, y asignando un valor económico.

Para la determinación del balance económico de la parte pascícola se trabajará con los ganaderos para realizar un calendario pastoral con fechas de entrada y salida del rebaño en cada rodal (para todos los períodos de pastoreo que se realicen al año), llegando a considerar fracciones de medio día. Se debe tener en cuenta el número de animales que pastorean el rodal. Para los animales adultos se debe considerar: número de hembras según estado fisiológico (mantenimiento, gestación, lactación), y número de machos; para animales de reposición: número de cabezas en reposición y edad; para crías: número de cabezas y su edad. Se debe tener en cuenta la aportación de complemento, realizando una aproximación a la cantidad de forraje aportado al rebaño para cada período de paso en el rodal (por ejemplo, en el caso complemento con forraje: número de bolos aportados al rebaño, aproximando el peso medio de los mismos). También se debe obtener la opinión del ganadero acerca de posibles variaciones de la condición corporal y peso vivo de los animales en los períodos de paso del rebaño en el rodal.



6. Evaluación del microclima y vulnerabilidad hídrica

6.1. Objetivos, ámbito de aplicación y estructura

Objetivo: evaluar el microclima y la vulnerabilidad al déficit hídrico de los sistemas demostrativos, como indicadores clave de adaptación al cambio climático. Los sistemas evaluados corresponden a los seleccionados como de seguimiento avanzado o integral (Tabla 2), centrándose en comparar los tripletes de parcelas permanentes: una adhesionada, una con silvopastoralismo extensivo y otra no intervenida (control).

- **Índices de vegetación:** mediante técnicas de teledetección satelital
- **microclima aéreo:** temperatura, luz y humedad ambiental
- **microcondiciones edáficas:** temperatura y humedad del suelo, balance hídrico

Los datos a recopilar se organizan en 3 bloques:

- Temperatura, luz y humedad ambiental; temperatura del suelo (6.2)
- Humedad del suelo (6.3)
- Índices de vegetación (6.4)
- Disponibilidad relativa de luz (6.5)

6.2. Temperatura, luz y humedad ambiental; temperatura del suelo

- **Importancia de estas variables:** describir el efecto de la gestión del arbolado y el sotobosque sobre las condiciones microambientales en las que crece el pasto.

- **Equipo de medida:** cada equipo de medida consta de 5 sensores:

- Un sensor PCE-HT71N de temperatura y humedad ambiental con datalogger incorporado
- Un sensor HOBO Pendant Temperature/Light Data Logger de temperatura e intensidad de luz con datalogger integrado.
- Tres sensores HOBO Pendant Temperatura, enterrados y con el punto de medida a 10 cm de profundidad. Instalados (3 sensores por punto) próximos a los otros dos sensores, y con una cinta de color llamativo para facilitar su localización.

- **Instalación de cada equipo:** sensores aéreos instalados a 1,5 m de altura, protegidos de la radiación directa. El sensor de temperatura y humedad se instala bajo una protección de la insolación directa y de la lluvia pero sin alterar el microclima, y sin estar en contacto con las paredes de la protección. El sensor de intensidad de luz se dispone horizontalmente, con el sensor (cara del aparato con letras) hacia arriba. Las siguientes imágenes muestran una propuesta de disposición:



Arriba izquierda: aspecto general de la instalación de un equipo (las cintas rojas indican la ubicación de los termómetros del suelo); arriba derecha: sensor de temperatura + humedad ambiental dentro del protector, suspendido en una brida; abajo: sensor de luz, dispuesto sobre el protector con las letras hacia arriba y evitando que la brida tape el receptor de luz. Se ha escogido una varilla metálica resistente que permita conseguir una buena resistencia al viento y también un clavado al suelo sencillo, incluso en suelos secos.

- **Tipo de medida y diseño experimental:** estos equipos recogen datos en continuo. El número y ubicación de los equipos de medida se adapta al tratamiento de cada parcela:
 - Silvopastorales adhesados: dos equipos completos por parcela de inventario: uno bajo la copa de un árbol y otro en zona de pasto abierto.
 - Silvopastorales extensivos: un equipo en una zona representativa de la parcela
 - Control: un equipo en una zona representativa de la parcela

En total, se instalan 4 equipos por rodal.

6.3. Humedad del suelo

- **Importancia de esta variable:** la humedad del suelo es un factor crítico para la producción pastoral en el mediterráneo.

6.3.1. Toma de datos en rodales de seguimiento avanzado

- **Tipo de medida:** puntual: 25 puntos de muestreo en condiciones similares a las de instalación de los 4 equipos del protocolo D4.2P1: parcela adhesionada: zona abierta + zona bajo copa; parcela silvopastoral extensiva y control: zonas representativas.

- **Equipo de medida:** toma de datos puntuales con HOBO MX2306. Modelización con el programa MedFate (realizada por CTFC).

Además, se realizará una simulación con MedFate para cada parcela D2.2, en base a los datos de humedad del suelo y al inventario selvícola.

- **Fechas de medida:** a lo largo del proyecto: en 2 – 3 momentos en que se espere que los árboles tengan un efecto sobre el pasto (época agostamiento estival) y/o aprovechando otras visitas realizadas en el marco de otras acciones de seguimiento (D2.2, D5).

6.3.2. Toma de datos en rodales de seguimiento integral

- **Tipo de medida:** continua, pero se complementa con medidas puntuales que permitan tener una representatividad espacial de los tratamientos.

- **Equipo de medida:** en cada punto de muestreo se instala un equipo compuesto por 2 sensores HOBO 10HS + 1 datalogger HOBO USB Station. Por tanto, en cada rodal se instalan 8 sensores y 4 dataloggers. Los sensores se instalan a 10 cm de profundidad, en suelo mineral.

- **Diseño experimental:** los puntos de muestreo son los mismos que en 6.2: 2 puntos en parcelas adhesionadas (1 bajo copa, 1 en zona abierta), 1 punto representativo en parcelas de silvopastoralismo extensivo, 1 punto representativo en parcela control.

6.4. Índices de vegetación

- **Importancia de esta variable:** el índice NDVI estima la actividad vegetativa, un indicador del vigor y estado hídrico de la vegetación. El análisis de una serie temporal de valores NDVI permite evaluar el efecto de las intervenciones selvícolas a lo largo del tiempo.

- **Equipo de medida:** imágenes de alta resolución de Planet Scope, con una resolución de 3 m por pixel; aproximadamente 3,7m GSD (Ground Sample Distance) y 8 bandas.

- **Tipo y periodicidad de medida y rodales de aplicación:** el análisis se centra en los tripletes de parcelas permanentes de cada rodal. Se hará un seguimiento en **9 rodales** a razón de 11-12 imágenes/rodal repartidas entre los años 2023 (siempre después de la intervención) y 2024 e incluyendo algunas imágenes de periodicidad regular (ej: cada 3 meses) y otras en momentos seleccionados por ser de máximo estrés hídrico y/o máxima actividad vegetativa.

- **Plan de adquisición y análisis de imágenes:** la descarga se realizará en enero de 2025, obteniendo todas las imágenes disponibles anteriores a esta fecha. Durante 2025 se desarrollará la metodología de procesado, incluyendo control de calidad, limpieza de nubes y sombras, recorte al área de estudio, re-proyección al sistema de coordenadas de estudio, cálculo de índice NDVI y postprocesado de valores estadísticos (NDVI medio por parcela y

evolución temporal). En caso de disponerse de recursos personales o económicos adicionales se ampliará el número de rodales y/o la periodicidad de seguimiento, probablemente añadiendo una segunda suscripción a los servidores (180 € adicionales).

6.5. Disponibilidad relativa de luz

Seguimiento a aplicar en sistemas de seguimiento **integral** del CTFC

- **Importancia de esta variable:** caracterizar la disponibilidad de luz relativa. Esta medida complementa la medida de luz realizada en continuo en P1, recogiendo la variabilidad espacial de la luz, midiendo de forma puntual bajo todos los árboles donde se realiza el seguimiento de la producción de hierba.

- **Equipo de medida:** Ceptómetro

- **Tipo de medida:** puntual, antes y después de las intervenciones, o bien comparando la parcela control con las parcelas intervenidas. Medida a realizar en día nublado.

- **Toma de datos:** la medición se realiza **en días nublados** simultáneamente con dos aparatos: un sensor PAR (radiación fotosintéticamente activa) en una zona completamente abierta, y el ceptómetro en los puntos a caracterizar. Los valores se expresan como porcentaje del PAR del ceptómetro respecto al valor tomado simultáneamente en la zona abierta. Los puntos de medida son los siguientes:

· **Parcelas adhesionadas:** bajo la copa de los 5 árboles por rodal donde se realiza el seguimiento de la producción de pasto (2 transectos; ver protocolo D2.2). Bajo cada copa: una medida en el inicio, punto medio y final de cada transecto (mínimo 6 medidas bajo copa).

· **Parcelas de silvopastoralismo extensivo y parcelas control:** las mediciones se realizan en los mismos transectos donde se estima la producción de hierba, con un mínimo de 10 mediciones por transecto. Si el objetivo es caracterizar el tratamiento, estas medidas se pueden extender por la parcela, realizando un total de 20 medidas adicionales en transectos al azar hasta completar 100 m de longitud (una medida cada 5 m). Esta medida se puede complementar anotando el % de recubrimiento de hierba y arbustivo en 1 m² centrado en el punto de medida.

Anexo 1. Descripción de las variables para la descripción silvopascícola

Se muestra a continuación la lista de variables que componen la ficha de toma de datos. La ficha puede rellenarse en papel o, preferentemente, en formato digital (archivo xlsx); los campos a completar aparecen sombreados en color gris, que cambia a blanco cuando se introduce información. La información se recoge en base a transectos a nivel del rodal.

1. Descripción silvícola general

- **Formación forestal y calidad de estación:** tipología ORGEST (Piqué et al, 2014). [Enlace](#)
- **Especies arbóreas principales** (AB>20% total), secundarias (AB=5-20%) y accesorias (AB<5%).
- **Tipología de pasto en formación arbolada:** tipología según Taüll & Baiges (2016). [Enlace](#)
- **Transitabilidad para el ganado:** evaluación (buena / regular / difícil) en función del tipo de rebaño previsto que pastoree en la zona
- **Si la masa es mixta: tipo de mezcla:** pie a pie / golpes o bosquetes (grupos de diámetro <60 m) / parcelas (grupos de diámetro >60 m)
- **Estratificación de la masa:** monoestratificada / biestratificada / multiestratificada
- **Estructura de la masa,** teniendo en cuenta distribución edad (forma principal de masa): Coetánea / Regular / Regularizada / Semirregular / Irregular pie a pie (copas tangentes) / Irregular por golpes o bosquetes / Desestructurada
- **Clases naturales de edad** (masas regulares o regularizadas);
 - Diseminado: regenerado hasta una altura de 25 cm.
 - Repoblado: desde los 25 cm hasta que se inicia la tangencia de copas (altura 1,30 m).
 - Monte bravo: entre el inicio de la tangencia de copas y la poda natural (altura 2-2,5 m).
 - Latizal: entre poda natural y 20 cm Dn (latizal bajo: Dn<10 cm, l. alto: 10<Dn<20 cm).
 - Fustal: Dn>20 cm (fustal bajo: 20<Dn<35 cm, f. medio: 35<Dn<50 cm, f. alto: Dn>50 cm).
 (Especificar en cada caso “sobre cepa” en caso de monte bajo).
- **Índice de espesura:**
 - Incompleta hueca: las copas no se tocan y la distancia entre ellas es superior a su diámetro
 - Incompleta clara: las copas no se tocan y la distancia entre ellas es inferior a su diámetro
 - Completa: tangencia de copas
 - Trabada: las copas se entrelazan.
- **Vitalidad general de la masa:** vital / síntomas de baja vitalidad - indicar especies de baja vitalidad.

2. Parámetros selvícolas

La información se da como valor medio o en intervalos → densidad: 1.200-1.400 pies/ha; AB: 20-22 m²/ha; FCC: 60-75%, Dm: 25-28 cm; altura dominante: 14-16 m.

- **Parámetros de masa** (pies inventariables): densidad, área basimétrica, FCC, Diámetro medio, Altura media, Altura dominante
- **Para cada especie principal** (AB>20% del total; pies inventariables): Densidad, Área basimétrica, FCC, Diámetro medio, Altura media
- **Pies menores** (diámetro normal entre 2,5 y 7,5 cm): porcentaje recubrimiento, vitalidad y tipo de distribución (grupos, pie a pie), para las especies principales.
- **Potencial para la aplicación de criterios de selvicultura orientada al árbol** (densidad y descripción general de individuos de alto valor económico o ambiental).
- **Cobertura total de matorral**: cobertura (%) y altura media (m) del conjunto del matorral
- **Especies de matorral**: cobertura (%) y altura media (m) de las especies de matorral
- **Patrón de aparición del matorral**: concentrado en manchas compactas; disperso de forma homogénea; situación intermedia; otras (describir)
- **Cobertura de herbáceas**: cobertura (%) y altura media (m) del conjunto de herbáceas
- **[Opcional] Especies o grupos funcionales de herbáceas**: cobertura (%) y altura media (m) de las principales especies o grupos funcionales de herbáceas (gramíneas y otros gramínoideos; leguminosas; otras).
- **Modelo de combustible**: (Rothermel, 1972). [Enlace](#)
- **Tipología de vulnerabilidad estructural a fuegos de copas** (Piqué et al, 2011). [Enlace](#)

3. Propuesta preliminar de tratamientos

- Tratamientos a escala de rodal sobre el estrato arbóreo (siguiendo modelos ORGEST).
 - Clara: tipo (alta, baja, mixta, selectiva) e intensidad en AB y especie
 - Entresaca (intensidad en cada grupo de tamaño)
 - Resalveo (frecuencia y número de resalvos a respetar)
 - Corta a hecho (tamaño y forma de las cortas)
 - Cortas preparatorias/diseminatorias o finales (intensidad)
 - Plantaciones de enriquecimiento (especies y densidad)
 - ...
 -
- Actuaciones/tratamientos de Selvicultura Orientada al Árbol (si es viable)
 - Claras selectivas en favor de pies de futuro (intensidad, tipo de pies a liberar)
 - Resalveos (frecuencia y número de resalvos a respetar)
 - ...
 -
- Intervención sobre matorral y herbáceas
 - Matorral: desbroce: recubrimiento final deseado, total y por especie
 - Herbáceas: siembra de enriquecimiento (especies); desbroce de herbáceas muy embastecidas y con recubrimiento alto (ej: *Brachypodium phoenicoides* / *Ampelodesmus mauritanica*).