

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 SILVOARABLES Y SILVOPASTORALES EN TERRENO DE PASTO



Junio 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), Beatriz de Torre (Agresta), Pere Casals (CTFC), Fabien Liagre (Agroof), Marc Taüll (CTFC); Ander Achotegui (Emys), Armand Casadó (Emys), Narcís Vicens (DiGi), Jaume Lluell (DiGi).

Cita recomendada: Coello J, de Torre B, Casals P, Liagre F, Taüll M, Achotegui A, Casadó A, Vicens N, Lluell J. 2022. Protocolo de seguimiento de sistemas silvoarables y silvopastorales en terreno de pasto. Life AgroForAdapt, 16 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: características e intensidad de seguimiento	4
2. Evaluación productiva y socioeconómica	7
2.1. Objetivos y estructura.....	7
2.2. Datos generales propietario y trabajadores	7
2.3. Producción bruta herbácea y calidad cosecha.....	8
2.4. Producción bruta arbolado	9
2.5. Plagas y enfermedades.....	10
2.6. Gestión agrícola / pascícola.....	10
2.7. Producción económica neta	10
2.8. Valoración global del sistema	11
3. Evaluación del balance de carbono.....	12
3.1. Objetivos, ámbito de aplicación y estructura	12
3.2. Carbono absorbido por el componente leñoso.....	12
3.3. Carbono absorbido por el componente agrícola o herbáceo	12
3.4. Carbono absorbido por el componente edáfico	13
3.5. Emisiones de carbono evitadas.....	13
4. Evaluación del microclima y vulnerabilidad hídrica	14
4.1. Objetivos, ámbito de aplicación y estructura	14
4.2. Temperatura, luz y humedad ambiental; temperatura del suelo	14
4.3. Fisiología y estado vegetativo.....	16
4.4. Humedad del suelo.....	16

1. Introducción

1.1. Contenido del documento

Este documento presenta los protocolos de seguimiento del proyecto LIFE AgroForAdapt de los sistemas demostrativos silvoarables y silvopastorales en terreno de pasto. El documento se articula en tres tipos de seguimiento:

- a) Evaluación productiva y socioeconómica
- b) Evaluación del balance de carbono
- c) Evaluación del microclima y vulnerabilidad hídrica

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: características e intensidad de seguimiento

Los sistemas demostrativos objeto de este protocolo son 41 sistemas silvoarables (combinación de vegetación leñosa y producciones agrícolas) y 9 sistemas silvopastorales en terreno de pasto (incorporación de vegetación leñosa en espacios de pasto desprovistos de ésta).

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

- **Básico**: aplicado en todos los sistemas demostrativos. El objetivo es disponer de una información general de los resultados del sistema y de su evolución. Las mediciones se basan en estimaciones periciales y/o encuestas al agricultor, tratando de recoger los cambios interanuales que pueda haber. Puede haber información que no esté disponible en todas las parcelas, en ese caso no se rellenarían todos los datos. Se preparará un modelo de encuesta para todos.
- **Avanzado**: en una selección de sistemas se recopila información con mediciones directas y referencia de superficie mediante muestreos (requiere trabajo de campo). Los puntos de muestreo se centran en comparar condiciones combinadas (en las que se espera que pueda haber interacción entre las dos componentes del sistema) con condiciones control, es decir, donde solo existe una de las dos componentes. El seguimiento avanzado se realiza durante 1 a 3 períodos vegetativos.
- **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 1 muestra las características generales de los sistemas demostrativos objeto de este protocolo, mientras que la Tabla 2 describe en más detalle los sistemas de seguimiento avanzado.

Tabla 1. Sistemas demostrativos AgroForAdapt objeto del presente protocolo. Código: 2.1: sistemas silvoarables instalados durante AgroForAdapt; 2.2: sistemas silvoarables pre-existentes; 3.1: sistemas silvopastorales en terreno de pasto. Área: Cat: Catalunya; CyL: Castilla y León; Occ: Occitanie; PACA: Provenza - Alpes - Costa Azul.

Responsable	Código	Área	Finca	TM	Superf (ha)
AGRESTA	2.1A	CYL	Vega grande	Valdeande (Bu)	3,2
AGRESTA	2.1B	CYL	Barzalejos	Ibeas de Juarros (Bu)	1,4
AGRESTA	2.1C	CYL	Alijón-Otero)	Collazos de Boedo (Pa)	3,8
AGRESTA	2.1D	CYL	La Sola	Revenga de Campos (Pa)	4,8
EMYS	2.1F	CAT	Mas Ganiguer	Cruïlles-Monells-St.Sad (Gi)	1,0
EMYS	2.1G	CAT	Can Moragues	Riudarenes (Gi)	1,0
EMYS	2.1H	CAT	Can Moragues	Riudarenes (Gi)	1,4
EMYS	2.1I	CAT	Can Moragues	Riudarenes (Gi)	1,6
DIGI	2.1J	CAT	Camps i Armet	Cruïlles-Monells-St.Sad (Gi)	8,3
DIGI	2.1K	CAT	Camps i Armet	Cruïlles-Monells-St.Sad (Gi)	8,2
AGROOF	2.1L	Occ	L'Angus Lacan	Vauvert (30)	19,0
AGROOF	2.1M	Occ	Domaine Canavierier	Vauvert (30)	12,0
AGROOF	2.1N	Occ	Mas des Justes	St Just Vacquieres (30)	9,0
AGROOF	2.1O	Occ	Mas des Roquet	Sommieres (30)	9,0
AGROOF	2.1P	Occ	Terres de Jeanne	Saint Mamert du Gard (30)	9,0
AGROOF	2.1Q	PACA	Château Saint Martin	Taradeau (83)	8,0
AGROOF	2.1R	Occ	SCIC Le Bioo-Rhony	Saint Dionisy (30)	7,5
AGROOF	2.1S	Occ	Domaine de Malaigue	Blauzac (30)	5,0
EMYS	2.1T	CAT	Can Ramilans	Massanes (Gi)	1,0
AGROOF	2.1U	PACA	Domaine de la Suffrene	La cadiere d'azur (83)	5,0
AGROOF	2.1V	Occ	Le Canard des Rizieres	Saint Gilles (30)	5,0
AGROOF	2.1W	Occ	Belair/Fumade	Allègre-les-Fumades (30)	4,5
AGROOF	2.1Y	Occ	Domaine de Scamandre	Vauvert (30)	9,0
AGROOF	2.1Z	Occ	Catherine Legrand	Massillargues Attuech (30)	9,0
AGROOF	2.1Z2	Occ	La Belle Roche	Saint-André-de-Lancize (48)	7,0
CTFC	2.2A	CAT	Can Pallot	Puig-Reig (B)	1,5
CTFC	2.2B	CAT	Camp de l'Ermengol	Sagàs (B)	1,5
CTFC	2.2C	CAT	Can Buscastell	Maçanet de la Selva (Gi)	6,3
AGRESTA	2.2D	CYL	Árboles ecológicos S.L.	San Felices (So)	12,2
AGRESTA	2.2E	CYL	Marbanas	Vezdemarbán (Za)	2,4
AGROOF	2.2F	Occ	Domaine du petit St Jean	St Laurent d'Aigouze (30)	25,5
AGROOF	2.2G	Occ	Domaine de Perdiguier	Maraussan (34)	20,0
AGROOF	2.2H	Occ	Terres de Roumassouze	Vézénobres (30)	11,0
AGROOF	2.2I	Occ	Mas de Lavalus	Bouquet (30)	11,0
AGROOF	2.2K	Occ	Les Arches Castriotes	Castries (34)	7,0
AGROOF	2.2L	Occ	Domaine d'Eriane	Saint Mamert du Gard (30)	6,8
AGROOF	2.2M	PACA	Domaine de Valensole	Valensole (04)	5,0
AGROOF	2.2N	PACA	Domaine de la Volpelière	Arles (13)	5,0
AGROOF	2.2O	PACA	Les jardins de Julie	Gignac La Nerthe (13)	5,0
AGROOF	2.2P	Occ	Prieuré de Marcevol	Arboussols (66)	4,0
CTFC	3.1A	CAT	Can Guerra, Can Romaguera	Agullana (Gi)	5,0
CTFC	3.1B	CAT	Mas la Rovira	St Esteve d'en Bas (Gi)	3,0

Responsable	Código	Área	Finca	TM	Superf (ha)
AGRESTA	3.1C	CYL	Juangato (varias parcelas)	Argujillo (Za)	8,0
AGROOF	3.1D	Occ	La Ferme de Figueirole	Fons-sur-Lussan (30)	8,0
AGROOF	3.1E	Occ	Dom. Porqueno. Mas Sire	Quissac (30)	4,0
AGROOF	3.1F	Occ	La Belle Roche	St André de Lancize (48)	43,0
AGROOF	3.1G	Occ	Gaec Mas del fray	Les Salles du Gardon (30)	7,0
AGROOF	3.1H	Occ	Chloé Lefort	La Capelle Masmolène (30)	5,0
EMYS	3.1I	CAT	La Selvatana	Campllong (Gi)	6,8
Total					376,9

Tabla 2. Características de los sistemas demostrativos de seguimiento avanzado

Socio	Parcela	TM	Condiciones experimentales (# tratamientos)	Períodos vegetativos seguimiento
CTFC	2.2A	Puig-Reig	3: cereal a 2 distancias hilera arbolada; control	22, 23 y 24
CTFC	2.2B	Sagàs	2: aromáticas + nogal vs aromáticas control	22 y 23
Agresta	2.1D	Revenga	3: cultivo a 2 m a cada lado del arbolado + control	23, 24, 25
Agresta	2.2E	Vezdemarbán	3: cultivo a 2 m a cada lado del arbolado + control	23, 24, 25
Emys	2.1H	Riudarenes	2: huerta combinada con manzanos y huerta control	23, 24, 25
DiGi	2.1K	Camps i Armet	2: cultivo afectado/no afectado por margen multifuncional con frutales y otras leñosas.	24 y 25
Agroof	2.2G	Dom Perdiguier	2: a 2 m y a 7 m de la hilera (centro calle)	23, 24
# total sistemas silvoarables			7	
CTFC	3.1	St Esteve Bas	2: pasto bajo copa (1/3 copa desde tronco) vs. pasto abierto, sin influencia árboles	23, 25
Agroof	3.1D	Ferme Figueir.	3: pasto bajo copa (2 m a tronco; 6 m a tronco) vs. pasto abierto, sin influencia árboles	23, 24
Agroof	3.1E	Mas du Sire	3: pasto bajo copa (2 m a tronco; 6 m a tronco) vs. pasto abierto, sin influencia árboles	23, 24, 25
# total silvopastorales pasto			3	
# total sistemas:			10	

2. Evaluación productiva y socioeconómica

2.1. Objetivos y estructura

Evaluar si la diversificación de la producción en sistemas silvoarables y silvopastorales en terreno de pasto puede ser más eficiente y rentable que los sistemas convencionales de monocultivo ante el cambio climático.

La evaluación productiva se centra en los productos comercializables actualmente (productos agrícolas, carne, madera) producidos durante el proyecto y proyectados en las próximas décadas.

La evaluación socioeconómica consiste en un estudio de los resultados económicos previstos en las próximas décadas (gastos e ingresos), del impacto sobre el empleo (jornales, actividades adicionales) y en encuestas a los propietarios de los sistemas demostrativos para conocer las implicaciones técnicas, económicas y de percepción que ha tenido la instalación de los sistemas, su mantenimiento, potencial de acceso a nuevos mercados y actividades económicas, etc.

La evaluación se hace comparando las zonas con actuaciones agroforestales demostrativas, con zonas de control con sistemas de producción mono-productivos.

Los datos a recopilar se organizan en 7 bloques:

- Datos generales propietario y trabajadores (2.2)
- Producción bruta herbácea y calidad de la cosecha (2.3)
- Producción bruta arbolado y calidad del producto (2.4)
- Plagas y enfermedades (2.5)
- Gestión agrícola (2.6)
- Producción económica neta (2.7)
- Valoración global del sistema agroforestal (2.8)

2.2. Datos generales propietario y trabajadores

Nivel	Parámetro	Ejemplo	Método de recopilación de datos	Años			
				Pre-22	23	24	25
Básico	Nombre, sexo y edad del propietario		Encuesta a propietario	X			X
	Número de trabajadores de la finca, edad y sexo	<i>El propietario</i>		X			X
	Subcontratas	<i>Empresa subcontratada</i>		X			X
	Tipo de sucesión de la finca	<i>Herencia, venta, arrendamiento</i>		X			X

2.3. Producción bruta herbácea y calidad cosecha

Nivel	Parámetro	Ejemplo / especie	Método de recopilación de datos	Año			
				Pre-22	23	24	25
Básico	Rotación cultivos 4 años	<i>Centeno, veza y avena</i>	Encuesta a propietario	(A2)	X	X	X
	Productividad parcela; media de 8-10 años	<i>2200 kg/ha cereal</i>	Encuesta a propietario o en su defecto Estadísticas oficiales como el Anuario de estadística del MAPAMA. Enlace	(A2)			X
	Productividad media máx y mín parcela	<i>(1500-5000 kg/ha)</i>	Encuesta a propietario o en su defecto Estadísticas oficiales como el Anuario de estadística del MAPAMA. Enlace	(A2)			X
	Producción bruta anual	<i>Producción (3000 kg/ha) del año en curso</i>	Encuesta a propietario	(A2)	X	X	X
	Calidad cosecha del año en curso	<i>Peso específico grano; proteína legum.PAM: ác. rosmarínico</i>	Encuesta al propietario	(A2)	X	X	X
Avanzado	Producción bruta anual	Cereal	<p>Metodología: sub-parcelas 0,5 x 0,5 m en cada condición experimental: 6 repeticiones por condición</p> <p>Toma de datos: en el momento de la cosecha, en cada sub-parcela: número de espigas y, en 6 plantas: altura total cereal; biomasa seca cereal (báscula de cocina); n° granos/espiga; biomasa seca grano (báscula de cocina); N en grano de las 6 espigas por subparcela (lab CTFC)</p>	Seguimiento durante 2 o 3 periodos vegetativos			
		Forrajeras	<p>Metodología: sub-parcelas 0,5 x 0,5 m por condición experimental 6 repeticiones por condición</p> <p>Toma de datos: En cada subparcela y para cada especie: 6 plantas: estado fisiológico (altura + fenología) antes de cada siega; peso fresco y seco, contenido de N de las 6 plantas (CTFC)</p>	Seguimiento durante 2 o 3 periodos vegetativos			
		Leguminosas grano	<p>Metodología: sub-parcelas 0,5 x 0,5 m en cada condición experimental: 6 repeticiones por condición</p> <p>Toma de datos: en cada sub-parcela: número de plantas; en 6 plantas: número de vainas, número de granos/vaina, biomasa seca grano, N en grano de las 6 plantas (CTFC)</p>	Seguimiento durante 2 o 3 periodos vegetativos			
		Aromáticas	<p>En 32 plantas por condición experimental: biomasa fresca + seca. En 8 de estas 32 plantas: peso seco de hoja y tallos; En 5 de estas 8 plantas: ácido rosmarínico</p>	Seguimiento de 1 a 3 periodos vegetativos, antes de cada corte			
		Huerta	<p>En 32 plantas por condición (bajo arbolado vs. control) [adaptar tipo de medidas a la especie hortícola]</p>	Seguimiento de 1 a 3 periodos vegetativos			

2.4. Producción bruta arbolado

Nivel	Parámetro	Ejemplo	Método de recopilación de datos	Año				
				Pre-22	23	24	25	
Básico	Especie plantada	<i>Almendros</i>	Encuesta al propietario + Acción A3		X			
	Número pies plantados	<i>150</i>			X			
	Dist. entre hileras	<i>50 m</i>			X			
	Dist. entre árboles hilera	<i>1,5 m</i>			X			
	En márgenes: ancho total y dist. árboles	<i>2 m</i>			X			
	Protector utilizado	<i>Pastor eléctrico</i>				X		
	Técnicas de plantación	<i>Subsolado, mulch...</i>				X		
		<i>% a reponer</i>	Encuesta al propietario o estimación pericial		X		X	
Avanzado	Estado de los protectores	<i>% a reponer y causa del daño</i>	Muestreo de, al menos, 10% de pies (mín 50 por parcela; máx 200 por parcela). Los pies son fijos		X	X	X	
Básico	Altura y diámetro, supervivencia, estado vegetativo		Encuesta al propietario o estimación pericial		X		X	
Avanzado	Supervivencia y estado vegetativo		Mismos pies que seguimiento de protectores. A: pie sano y vigoroso; B: vivo pero vigor bajo, puntiseco, brotes en la base, con pudriciones, clorótico; C: muerto; D: dañado por fauna; E: dañado por máquina.	X	X	X	X	
	Diámetro basal (a 5 cm) o normal (1,30 m) si no hay ramas por debajo. En parada vegetativa, árboles vivos		Mismos pies que seguimiento de protectores. El punto de medida del diámetro se marca con pintura.	X	X	X	X	
	Altura total (yema viva de la guía principal). En parada vegetativa, árboles vivos		Mismos pies que seguimiento de protectores.	X	X	X	X	
	Plagas y enfermedades		Mismos pies que seguimiento de protectores. Indicar tipo de plaga.	X	X	X	X	
	Calidad de la madera (solo en árboles destinados a producción de madera de calidad)		Mismos pies que seguimiento de protectores. A (árbol porvenir): dominancia apical; recto y derecho; pocas ramas, delgadas; sin defectos B (sin futuro): torcido o inclinado, grietas, pudriciones, ramas gruesas, poca dominancia apical	X	X	X	X	
Básico	Cantidad y calidad de fruto	<i>300 kg/ha</i>	Encuesta básica al agricultor y/o estimación pericial		X	X	X	
Avanzado	(sistemas en producción)		Número de frutos en el árbol; peso o rendimiento del fruto; defectos y enfermedades.	X	X	X	X	

2.5. Plagas y enfermedades

Nivel	Parámetro	Ejemplo	Método de recopilación de datos	Año			
				Pre-22	23	24	25
Básico	Plagas y enfermedades cultivo	<i>Gorgojo</i>	Encuesta al propietario (pedirle que lo vaya anotando; si no sabe identificar alguna plaga o enfermedad, que nos envíe foto)				
	Plagas y enf. arbolado	<i>Pudrición</i>		x	x	x	x
	Plagas y enf. fruto	<i>Pudrición</i>					

2.6. Gestión agrícola / pascícola

Nivel	Parámetro	Método de recopilación de datos	Año			
			Pre-22	23	24	25
Básico	Preparación del suelo y época de laboreo	Encuesta al propietario				
	Fertilización y abonado					
	Tratamiento plagas y enferm.		A2	x	x	x
	Número y época podas arbolado					
	Maquinaria utilizada					

** La encuesta se realiza todos los años si hay variación, si no: pre-2022- 2023 y 2025.

** Se recopilan los datos que se conocen

2.7. Producción económica neta

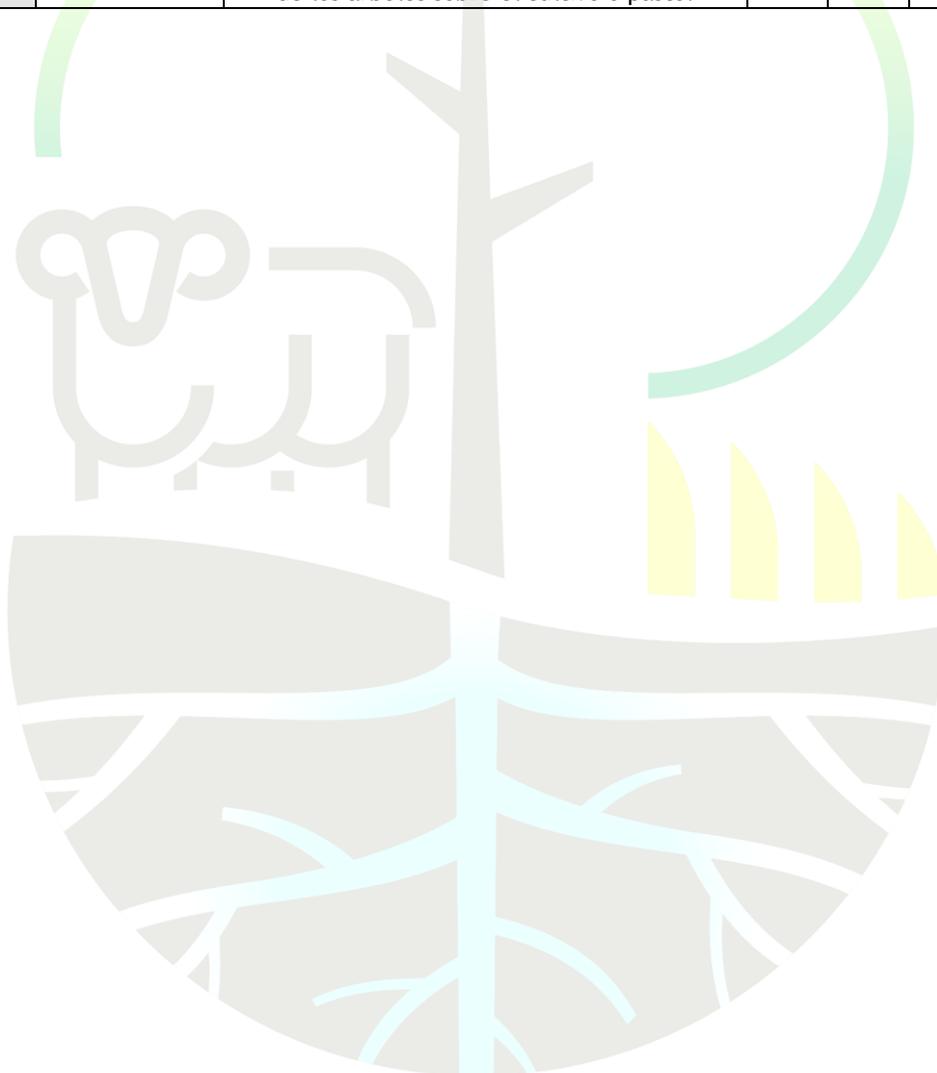
Nivel	Parámetro	Método recopilación datos	Año			
			Pre-22	23	24	25
Básico	Cantidad y coste semilla herbáceas (€/kg)	Encuesta al propietario				
	Cantidad y coste abono (€/kg)					
	Cantidad y coste producto fitosanitario (€)					
	Coste medio compra arboles (€ /unidad)		x	x	x	x
	Cantidad y coste protectores (€ /unidad)					
	Coste de instalación del arbolado					
Integral	Cantidad producto vendido (cereal, fruto, madera) y precio venta	Encuesta al propietario				
	Cantidad y gasto en energías (gasoil, luz, otras)					
	Cantidad y gasto de agua					
	Amortizaciones maquinaria y naves		x	x	x	x
	Horas y gasto en Trabajos cultivo					
	Horas y gasto en Trabajos arbolado					
	Tipo de comprador (cooperativa, venta directa, transformación, otros)					
Escenarios a contemplar	Concretar para cada sistema				x	

* Los datos se recopilan año a año si se conocen o si hay variación.

** Los datos de las parcelas integrales, se pueden recopilar en las parcelas de seguimiento básico si se conocen, pero son necesarios en las integrales para las simulaciones FARMSAFE

2.8. Valoración global del sistema

Nivel	Parámetro	Método de recopilación de datos	Año			
			Pre-22	23	24	25
Básico	Valoración global del sistema	<p>Encuesta al propietario y agricultor:</p> <ul style="list-style-type: none"> · qué implica el hecho de haber añadido árboles: problemas de mecanización, gestión de adventicias dentro de la hilera · ¿tiene previsto continuar plantando árboles? · si volviera a hacer el sistema: ¿qué habría hecho diferente? · ¿ha ganado o cuándo espera ganar rentabilidad? · ¿ha visto algún efecto negativo o positivo de los árboles sobre el cultivo o pasto? 		x		x



3. Evaluación del balance de carbono

3.1. 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 y la sustitución de combustibles por biomasa. 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 todas las parcelas de seguimiento **avanzado** (Tabla 1). 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 (3.2)
- Carbono absorbido por el componente agrícola o herbáceo (3.3)
- Carbono absorbido por el componente edáfico (3.4)
- Emisiones de carbono evitadas (3.5)

3.2. Carbono absorbido por el componente leñoso

A partir de los datos dasométricos obtenidos en la evaluación productiva, se hará el cálculo del carbono contenido por fracciones a escala de árbol individual, incluyendo raíces. Para ello, se emplearán ecuaciones alométricas individuales por especie o grupos de especies, obtenidas en publicaciones existentes (recopilación Medfate como referencia inicial). Los análisis se harán para cada inventario.

La proyección a largo plazo del C absorbido se obtendrá de curvas y modelos de crecimiento de árbol individual.

3.3. Carbono absorbido por el componente agrícola o herbáceo

El C absorbido en la biomasa aérea se estimará a partir de la producción agrícola o pascícola medida en la evaluación productiva, 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 agrícolas se aplicarán los modelos FarmSAFE o ForageSAFE en las parcelas de seguimiento integral y se extrapolará, si es posible, a las parcelas de seguimiento avanzado no incluidas en el seguimiento integral. La producción pascícola a largo plazo se basará en modelos de producción silvopastoral mediterráneos (Taüll et al, 2016).

3.4. Carbono absorbido por el componente 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.

3.4.1 Toma de muestras de suelo

Para cada condición experimental, en un mínimo de 5 puntos escogidos al azar, se toma una muestra de suelo a tres profundidades (0-5cm 5-15 cm, 15-30 cm) con una sonda de superficie 5 x 5 cm mínimo.

3.4.2. 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).

3.5. Emisiones de carbono evitadas

3.5.1. Reducción en el uso de insumos agrícolas (sistemas silvoarables).

La reducción de insumos agrícolas, básicamente fertilizantes y el consumo asociado de combustible, se estimará a partir de modelos publicados de LCA (Skorwonska & Filipek, 2014). La información de entrada se obtendrá a partir de las encuestas a los agricultores realizadas en la evaluación productiva y socioeconómica.

3.5.2. Reducción de las emisiones gracias a la sustitución de combustibles fósiles y productos de sustitución por biomasa vegetal

Se evaluará, en base a modelos de producción, las emisiones evitadas gracias a la producción leñosa de los sistemas silvoarables, por sustitución de combustibles fósiles y otros productos sustitutos de la madera. 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. Evaluación del microclima y vulnerabilidad hídrica

4.1. 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 1),

Parte de las medidas se realizan de manera continua (registro con sensores y aparatos de registro de los datos) mientras que otras se realizan de manera puntual, es decir, con una visita sobre el terreno para cada toma de datos. En el caso de las medidas puntuales, se prevén 3-5 visitas anuales en cada período vegetativo de seguimiento, en fechas escogidas en función del tipo de cultivo, buscando los momentos más relevantes del período vegetativo (ej: cereal: febrero - julio; aromáticas: antes de cada corte).

Los datos a recopilar se organizan en 3 bloques:

- Temperatura, luz y humedad ambiental; temperatura del suelo (4.2)
- Fisiología y estado vegetativo (4.3)
- Humedad del suelo (4.4)

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

- **Importancia de estas variables:** describir el efecto de los árboles sobre las microcondiciones en las que crece el cultivo o pasto.

- **Equipos de medida:**

- Sensor PCE-HT71N de temperatura y humedad ambiental con datalogger incorporado
- Sensor HOBO Pendant Temperature/Light con datalogger integrado
- Sensor HOBO temperatura con datalogger integrado.

- **Tipo de medida:** continua. Lo ideal es dejar el equipo instalado durante el máximo tiempo posible. Los sensores del suelo deben retirarse si se hace un laboreo. Respecto a tareas mecanizadas por encima de la superficie del suelo, sería conveniente pactar con el tractorista si puede apartar los sensores aéreos y volverlos a instalar tras su paso. Se recomienda descargar los datos una vez al año, aprovechando alguna otra visita.

- **Instalación:** sensores instalados a 1,5 m de altura, protegidos de la radiación directa. Sensor de temperatura del suelo instalado a 5 cm de profundidad, en el mismo punto.

- **Diseño experimental:** al menos 1 punto de muestreo por tratamiento (condición experimental), excepto la temperatura del suelo, con 3 puntos de muestreo por tratamiento. Los tratamientos deben incluir, al menos, una zona combinada agroforestal con un efecto previsible de los árboles (distancia recomendada: 2 m de los árboles) y una zona control. También es recomendable una tercera condición (a 4-5 m de los árboles o bien a 2 m pero en otra orientación).

Los equipos de seguimiento de temperatura, humedad ambiental y luz se instalan simultáneamente: el sensor de temperatura y humedad se instala bajo una protección de la

insolación directa y de la lluvia pero sin alterar el clima, y sin estar en contacto con las paredes de la protección. El sensor de temperatura y luz se dispone horizontalmente, con el sensor (cara del aparato con letras) hacia arriba. El sensor de temperatura del suelo se instala con el punto de medida a 10 cm de profundidad, cerca del poste que sujeta los otros dos sensores y unido a un cordel resistente y de color llamativo para facilitar su desenterramiento. Las siguientes imágenes muestran una propuesta de disposición:



Arriba izquierda: aspecto general de la instalación de sensores de temperatura, humedad y luz (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.

4.3. Fisiología y estado vegetativo

4.3.1. Estado de desarrollo vegetativo

- **Importancia de esta variable:** seguir variables específicas del cultivo y los árboles que puedan ayudar a entender la interacción entre ellos.
- **Tipo de medida:** puntual, en 3-5 momentos del período vegetativo (1-3 años de seguimiento); idealmente se debe priorizar el número de años respecto al número de medidas por año.
- **Variables consideradas:**
 - Cereal: fenología siguiendo la metodología Zadoks ([enlace](#)).
 - Pasto: fenología y
 - Árboles: fenología, adaptada a la especie.

4.3.2. Índice de vegetación NDVI

- **Importancia de esta variable:** describir el estado vegetativo del cultivo, pasto y árbol
- **Equipo de medida:** Trimble Greenseeker (equipo manual que mide haciendo un barrido)
- **Tipo de medida:** puntual, simultáneas a las medidas de estado de desarrollo vegetativo (4.3.1).
- **Diseño experimental:** al menos 25 puntos de muestreo por condición experimental (tanto en cultivo/pasto como en árbol)

4.3.3. Potencial hídrico y SPAD

- **Importancia de esta variable:** evaluar el estado hídrico de los árboles y los cultivos leñosos, y el estado nutricional.
- **Equipos de medida:**
 - Cámara de Schölander
 - Minolta SPAD
- **Tipo de medida:** puntual, simultáneas a las medidas de estado de desarrollo vegetativo (4.3.1).
- **Diseño experimental:** Solo se aplica en parcelas del CTFC. 25 hojas por tratamiento y medida. Puntos de medida SPAD: trigo: en estandarte; cebada: en segunda hoja.

4.4. Humedad del suelo

- **Importancia de esta variable:** conocer el estado hídrico del suelo
- **Equipo de medida:** HOBO MX2306
- **Tipo de medida:** puntual, simultáneas a las medidas de estado de desarrollo vegetativo (4.3.1).