



Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo: **el sistema Polyfarming**



Agradecimientos

Queremos agradecer al programa LIFE de la Comisión Europea por haber financiado la elaboración del Manual; a Xavier Domene por su extensa contribución y asesoramiento en las fichas del apartado de los suelos; a Luís Pinheiro por el asesoramiento en la finca Planeses al comienzo del proyecto Polyfarming; a Enric García que se encargó de medir la riqueza de aves en los diferentes hábitats de Planeses; a Edurne Bordas y Faustina Solà-Morales por su trabajo diario en Planeses; al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA) por haber facilitado el acceso al Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España y la publicación de las fotos; a Teresa Galí-lzard por haber elaborado el prólogo y por su trabajo en integrar el modelo regenerativo en la arquitectura; a Agnès Perelló por ceder una ilustración; a Victoria Wainer por haber elaborado una ilustración en acuarela y a José Luis Ordóñez por sus aportaciones en la revisión del manual.

Diseño, ilustraciones, esquemas y figuras

Lucas Wainer.

Autores del texto

CREAF. Autor principal: Marc Gràcia; colaboradores y redacción de algunas fichas: Maria José Broncano y Javier Retana.

Edición textos

Javier Retana, Maria Josep Broncano y Ángela Justamante.

Autores de las fotografías

Maria Josep Broncano; Marc Gràcia; Javier Retana; Ángela Justamante; José Luis Ordóñez, AVVideo; Luís Comas; Carles Battles; Adrià Nebot; Emili Bassols; Núria Anglada; Pilar Cortés; en el manual también se han empleado imágenes compradas y libres de derechos de autor, en todas ellas se indica la fuente al pie de foto.

Coordinación y comunicación

Ángela Justamante.

Financiación

Programa LIFE, proyecto POLYFARMING LIFE15 ENV/ES/000506.

Foto portada

Adrià Nebot

Fotos capítulos

Las fotos que se han utilizado para separar los diferentes capítulos son imágenes que salen a lo largo del texto y su autoría consta a pie de figura, excepto:

- Gestión del prado y los animales desde una perspectiva regenerativa: Maria Josep Broncano.
- Gestión de los cultivos desde una perspectiva regenerativa: Ángela Justamante.
- Costes de las actividades relacionadas con el pasto: José Luis Ordóñez.
- Conclusiones: jcomp, Freepik, CC0-BY.

Cita recomendada:

M. Gracia, M.J. Broncano, J. Retana (2021) *Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo: el sistema Polyfarming*. Barcelona (España), CREAF.

Esta obra está sujeta a una licencia internacional

Creative Commons de Atribución 4.0 (CC BY 4.0).

Prólogo

Estamos inmersos en un momento de cambio. No hay ninguna duda. En todos los ámbitos de la sociedad incluidos, de forma muy explícita, el ámbito de la agricultura, silvicultura y ecología. Acompañando a este cambio existe un interés creciente en la búsqueda de nuevas formas de pensar, concebir y relacionarnos con el entorno y, muy en particular, con el territorio que alberga los recursos que se explotan con finalidades productivas.

Esta búsqueda de nuevos modelos productivos impulsa el proyecto Polyfarming y, con él, el 'Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo: el sistema Polyfarming' que tengo el placer de presentar. Este extenso documento explica las distintas opciones de manejo agrícola, ganadero y silvícola que se pueden aplicar de manera holística en explotaciones agroforestales de clima mediterráneo.

El camino está abierto, ha empezado con fuerza y determinación. El manual plasma nuevas ideas y recoge un contenido amplio y diverso sobre el modelo regenerativo, resultado de la fusión de distintas formas de conocimiento, tanto del mundo académico como del empírico, y popular. Formas que son el resultado de una resistencia o marginalidad que ahora pasan a ser el centro y, probablemente, una de las pocas salidas a una crisis medioambiental sin precedentes.

Ensayos, observaciones y experiencias prueba / error le dan credibilidad, dimensión y rigor al manual. Está claro que la formalización de esta nueva forma de gestión es un asunto de gran complejidad y, seguramente, para que sea posible su aplicación a gran escala, deberá conseguir una red transversal de actores que lo hagan posible.

Entre estos actores se incluyen otras disciplinas a las que habrá que tender puentes con inteligencia y generosidad. La disciplina del urbanismo entre ellas, ya que la planificación territorial del ecosistema humano, del cual la agricultura también forma parte, no puede ya hacerse sin su voz. Es el momento de darle contenido a lo que muchos entienden como el vacío, o lo verde. Porque el vacío o lo verde, es un sistema complejo, que tiene atributos y potenciales. Y, como queda claro en el documento, en el vacío o lo verde está precisamente almacenado el futuro de nuestra civilización.

El cambio de paradigma dará lugar a cambios espaciales importantes y ésta será seguramente su mejor baza para que se asimile y se comprenda en su totalidad. El paisaje será otra vez continuo, el suelo desnudo desaparecerá, al igual que las geometrías producidas por el impacto del paso de las grandes máquinas.

Una nueva continuidad aparecerá, tendrá en cuenta a todos los sistemas vivos y permitirá una nueva cohabitación fructífera, nunca experimentada con anterioridad. En última instancia, el modelo regenerativo integrará todas las formas de vida, incluida la nuestra, la de la humanidad en su máximo esplendor.

**Teresa Gali-Izard, Professor of Landscape Architecture
Chair of Being Alive ETH Zurich**

Índice

7	PRESENTACIÓN
9	INTRODUCCIÓN
11	El contexto general
12	• Cambios en la región mediterránea en el último siglo.
14	• El modelo de producción convencional y sus consecuencias.
16	• El modelo de producción regenerativo: una propuesta para superar la crisis ambiental y climática.
19	BASES DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN REGENERATIVO
21	El suelo desde una perspectiva productiva regenerativa
22	• Nutrir y preservar el hábitat de la red trófica del suelo: las bases de un sistema de producción regenerativo.
24	• Diversidad de plantas: máxima producción y variedad de alimento para la red trófica del suelo.
26	• El retorno de los materiales vegetales al suelo: balance entre mineralización y humificación.
28	• Intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo.
30	• El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono: entradas, salidas y stocks de carbono.
32	• El agua, el factor limitante de la productividad del sistema.
34	• Indicadores del estado de salud del suelo.
36	• Análisis de un sistema productivo desde una perspectiva regenerativa.
39	Gestión del bosque desde una perspectiva productiva regenerativa
40	• Objetivos de la gestión forestal.
42	• Elementos de madurez del bosque para el mantenimiento de la biodiversidad forestal.
44	• Características de las especies arbóreas.
46	• Crecimiento del árbol y desarrollo de la copa.
48	• Regeneración del bosque.
50	• Estructura del bosque: crecimiento colectivo frente a crecimiento individual.
52	• Productos del bosque.
54	• Análisis del bosque como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa.
57	Gestión del prado y los animales que pastan en él desde una perspectiva productiva regenerativa
58	• Funcionamiento del pasto.
60	• Tipos de especies de pasto y combinaciones entre ellas.
62	• Necesidades y comportamiento de los animales en el pasto.
64	• Tipos de animales domésticos de granja.
66	• Principales razas de animales domésticos de granja.
70	• El papel de los escarabajos coprófagos en los pastos con ganado.
72	• Análisis del pasto como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa.
75	Gestión de los cultivos desde una perspectiva productiva regenerativa
76	• Aspectos que determinan el funcionamiento de los cultivos.
78	• Combinación de cultivos en el tiempo y el espacio para una mayor producción y actividad biológica del sistema.
80	• Tipos de frutales leñosos.
82	• Tipos de cultivos de huerta.
84	• Análisis de los cultivos como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa.
87	EL SISTEMA POLYFARMING
89	El sistema Polyfarming
90	• Componentes del sistema Polyfarming.

93	El bosque como fuente de recursos
94	• Aprovechamiento del bosque.
96	• BRF (Madera de Ramas Astillada).
98	• Biochar.
100	• Camas de madera.
102	• Abono orgánico fermentado tipo Bocashi.
104	• Biofertilizantes a base de reproducir microorganismos de montaña.
107	El ganado como herramienta de gestión
106	• Cría de pollitos y conejos jóvenes antes de su traslado al pasto.
108	• Gestión de pollos en pasto.
110	• Gestión de conejos en pasto.
112	• Gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado.
117	Los cultivos como receptores de recursos
116	• Gestión de de frutales sobre pasto.
118	• Gestión de un huerto sin labranza I. Diseño, caminos, bancales, sistema de irrigación y plantación.
120	• Gestión de un huerto sin labranza II. Control de plantas adventicias, uso de uso de productos del bosque, biofertilizantes, abonos y pastoreo.
122	
125	Funcionamiento del sistema Polyfarming
126	• Caracterización de los diferentes elementos del sistema Polyfarming.
128	• Combinación de diferentes elementos del sistema Polyfarming: beneficios de establecer sinergias entre usos.
130	• Complementariedad de productos y de mano de obra en Polyfarming.
132	• Flujos e integración entre usos en el sistema Polyfarming.
134	• Lecciones aprendidas tras la puesta en práctica del sistema Polyfarming I. Bosque, prado y cultivos.
136	• Lecciones aprendidas tras la puesta en práctica del sistema Polyfarming II. Animales y Polyfarming en su conjunto.
139	RENDIMIENTOS DE LAS DIFERENTES ACTIVIDADES
141	Costes de las actividades relacionadas con el bosque
142	• Costes y puntos clave en el aprovechamiento del bosque.
144	• Costes y puntos clave en la producción y aplicación de BRF.
146	• Costes y puntos clave en la producción y aplicación de Biochar.
148	• Costes y puntos clave en la producción y aplicación de camas de madera.
150	• Costes y puntos clave en la producción y aplicación de abono Bocashi.
152	• Costes y puntos clave en la producción y aplicación de biofertilizantes.
155	Costes de las actividades relacionadas con el ganado en pasto
156	• Costes y puntos clave de la puesta a punto del pasto.
158	• Costes y puntos clave de la cría de pollitos y conejos jóvenes.
160	• Costes y puntos clave en la gestión de pollos en pasto.
162	• Costes y puntos clave en la gestión de conejos en pasto.
164	• Costes y puntos clave en la gestión de vacas en pasto.
167	Costes de las actividades relacionadas con los cultivos
170	• Costes y puntos críticos de la gestión de frutales sobre pasto.
172	• Costes y puntos clave del funcionamiento de un huerto sin labranza.
173	El sistema Polyfarming en su conjunto
174	• Balance de costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming I. Costes.
176	• Balance de costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming II. Ingresos y balance.

179 **BENEFICIOS DEL SISTEMA POLYFARMING**

181 **Beneficios ambientales, productivos y económicos del sistema Polyfarming**

- 182 • Principales beneficios del sistema Polyfarming.
184 • Mejora de las condiciones del suelo.
186 • Aumento de la biodiversidad I. Organismos del suelo.
188 • Aumento de la biodiversidad II. Aves.
190 • Reversión del abandono rural.

193 **CONCLUSIONES**

- 194 • El futuro será regenerativo o no será

196 **BIBLIOGRAFÍA CITADA**

198 **BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA**

Presentación

El modelo agroalimentario actual se sustenta en una manera de producir, distribuir y consumir que está estrechamente relacionada con la crisis medioambiental que sufrimos. Una de sus consecuencias más devastadoras es la pérdida de fertilidad y degradación de los suelos, fuente de nuestro alimento y el mayor stock de carbono en la Tierra. En este panorama insostenible urge un cambio en el modelo de agricultura y ganadería, de forma que estos sectores, fundamentales para nuestra supervivencia, pasen de ser parte del problema a contribuir a su solución. Con este objetivo se desarrolla el sistema **Polyfarming**, un **proyecto pionero en Cataluña**, financiado por el programa LIFE de la Comisión Europea y coordinado por el centro de investigación CREAM. Polyfarming propone un **modelo de producción regenerativo**, realmente sostenible, que contribuya a mitigar el cambio climático, incrementar la fertilidad y biodiversidad del suelo, recuperar la actividad agro-silvo-pastoral en zonas de montaña mediterránea abandonadas y reivindicar la soberanía alimentaria. El proyecto se implementa desde 2016 a escala real en la finca Planeses (Girona) con la finalidad de convertirse en un **ejemplo real y demostrativo** que se pueda replicar a nivel local y global.

En esta línea, el **'Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo: el sistema Polyfarming'** pretende dotar de conocimiento para que cualquier persona interesada pueda conocer el modelo regenerativo, disfrutar de su aprendizaje y replicarlo en su propia finca. Este material es fruto de un trabajo exhaustivo de documentación, análisis y evaluación de la experiencia real de aplicar el sistema Polyfarming en la finca Planeses, así como del resultado de las interacciones con otros investigadores/as y productores/as y la revisión de la literatura adecuada para los aspectos que no se han podido medir todavía en la finca piloto.

El manual lo componen diferentes apartados que explican el sistema regenerativo desde la perspectiva del suelo, el bosque, el prado, el ganado y los cultivos. Describe técnicas concretas de agricultura y ganadería regenerativas y detalla cómo combinarlas e integrarlas en un modelo de producción agroalimentario. Además, incluye una sección con el coste que implica ponerlo en marcha, tanto las diferentes técnicas por separado como el balance total a nivel de finca, y otra sección sobre los beneficios ambientales, productivos y económicos que conlleva aplicarlas. Así, el manual lo conforman seis apartados que, en total, contienen **72 fichas** que pueden leerse como una unidad, pero también individualmente. Los apartados son los siguientes:

- **INTRODUCCIÓN.** Describe cuáles son los cambios ambientales más relevantes que ha sufrido la región mediterránea en el último siglo y contextualiza la importancia del modelo regenerativo en comparación con el modelo convencional.
- **BASES DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN REGENERATIVO.** Explica en primer lugar qué aspectos del suelo deben considerarse para poner en marcha un modelo regenerativo. A continuación, describe la gestión de los diferentes usos: el bosque, el prado y los animales que pastan en él y los cultivos, desde una perspectiva regenerativa.
- **EL SISTEMA POLYFARMING.** Describe las diferentes técnicas agrícolas, ganaderas y forestales que constituyen el sistema Polyfarming. A continuación, analiza el funcionamiento de este sistema, explica las sinergias que se establecen entre sus componentes, la complementariedad de productos y mano de obra y la integración de los diferentes elementos a nivel de finca. Finaliza explicando las lecciones aprendidas tras ponerlo en práctica.
- **RENDIMIENTO DE LOS DIFERENTES COMPONENTES Y DEL SISTEMA POLYFARMING.** Especifica los costes y puntos clave que se deben tener en cuenta al implementar los diferentes componentes que constituyen un modelo regenerativo. Además, incluye el balance total de costes e ingresos del sistema Polyfarming a nivel de una finca piloto.
- **BENEFICIOS AMBIENTALES, PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS.** Expone las mejoras medioambientales y socioeconómicas que implica llevar a cabo un modelo regenerativo, como Polyfarming.
- **CONCLUSIONES.** Resume las razones por las que debemos dirigirnos a un futuro regenerativo, así como algunas iniciativas, instituciones y organizaciones que impulsan el modelo regenerativo desde varios ámbitos y países.



Introducción

- El contexto general





Introducción

El contexto general

- Cambios en la región mediterránea en el último siglo
- El modelo de producción convencional y sus consecuencias
- El modelo de producción regenerativo: una propuesta para superar la crisis ambiental y climática

Cambios en la región mediterránea en el último siglo

El cambio ambiental global en la región mediterránea se manifiesta principalmente en tres tipos de impactos: cambio climático, con aumento de la temperatura y disminución de la precipitación; desequilibrio de los ciclos biogeoquímicos, con aumento de gases de efecto invernadero y eutrofización de las aguas; y pérdida de biodiversidad. A nivel de paisaje se ha producido un éxodo rural que ha provocado una disminución muy significativa de la superficie dedicada a cultivos y un aumento de la superficie de bosque. Como consecuencia, esta despoblación rural ha llevado al abandono de las explotaciones tradicionales, y a la concentración creciente de la agricultura y ganadería intensivas en las llanuras.

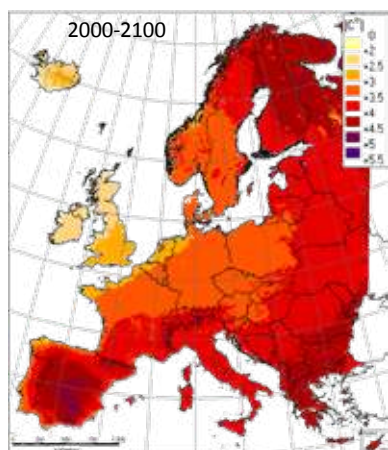
■ Cambio ambiental global en la región mediterránea

Europa y, en particular, la región mediterránea, es uno de los lugares del mundo donde el cambio ambiental global se está produciendo con una intensidad mayor. Este cambio ambiental se manifiesta, entre otros, en tres principales impactos:

(a) Cambio climático. Europa se calienta a un ritmo más elevado que la media global. Se da especialmente en la región mediterránea, donde el cambio climático tiene unas consecuencias extremas: se multiplica el período de calor extremo y se reducen las precipitaciones y el caudal de los ríos, lo que eleva el riesgo de sequías y, con él, el riesgo de incendios forestales. Por ello todos los países del sur de Europa han declarado **el estado de emergencia climática**. En España, el panorama es todavía peor: la temperatura media española aumenta más del **0.5°C cada década desde principios del siglo XX** (Gómez-Cantero 2015). A esto se añade una disminución de las precipitaciones desde 1950. Las previsiones de temperatura y precipitación para finales de siglo (2100) son aún más negativas (**Figura 1**).

(b) Transformación de los ciclos biogeoquímicos. Desde la revolución industrial y debido al crecimiento exponencial del uso de los combustibles fósiles y fertilizantes asociados a la agricultura intensiva, se ha producido un **desequilibrio en los ciclos biogeoquímicos** de casi todos los elementos, principalmente de los tres más importantes: C, N y P (Enrich-Prast et al. 2018). Es especialmente relevante el aumento

A. Cambio en temperatura anual (°C)



B. Cambio en precipitación anual (%)

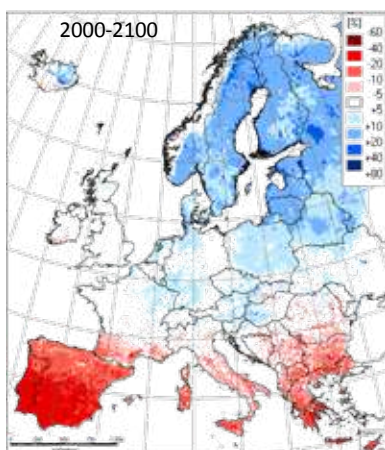


Figura 1. Cambios previstos en el siglo XXI en (a) temperatura anual (°C) y (b) precipitación anual (%) en Europa. Mapas elaborados en el proyecto europeo PRUDENCE. PESETA I results - Change in mean annual temperature and precipitation by the end of the century. Fuente: European Commission Joint Research Centre (JRC). Copyright: European Union – Joint Research Centre (JRC).

en la concentración atmosférica de CO₂ (desde 285 ppm en 1850 a más de 400 ppm en la actualidad), como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, y la pérdida de reservas por **deforestación** de los bosques de las regiones tropicales y **degradación de los suelos** de todo el planeta. En relación al N, la gran cantidad de este elemento añadida al suelo anualmente en forma de fertilizantes para mejorar la producción agrícola, ha provocado un aumento de la eutrofización de acuíferos y ecosistemas acuáticos a la vez que ha provocado un aumento de las emisiones de óxido nítrico (N₂O) a la atmósfera (Enrich-Prast et al. 2018). Del mismo modo, **el uso elevado de fosfatos en la agricultura intensiva** también ha contribuido a la eutrofización de los sistemas naturales y ha alterado el ciclo del P.

(c) Pérdida de biodiversidad. La región mediterránea es uno de los **hotspots** o puntos calientes de biodiversidad de todo el planeta (Myers et al. 2000). En concreto, **la biodiversidad de España es una de las más altas**, con alrededor de 85000 especies entre animales y vegetales y un 30% de los endemismos europeos. Sin embargo, **esta biodiversidad está en peligro**, ya que una proporción significativa de estas especies, el 14%, están amenazadas en el contexto europeo. Las principales causas directas de la pérdida de biodiversidad son los cambios de usos del suelo, el uso insostenible de los recursos naturales como el agua, el abandono de usos ganaderos y agrícolas tradicionales, la contaminación, el cambio climático y las especies invasoras (OSE 2010).

■ Éxodo rural y sus consecuencias sobre el paisaje: cambios de usos del suelo

Estudios de la región mediterránea (p. e., Maz-zoleni et al., 2004) y, en particular, de la Península Ibérica, muestran que desde mediados del

siglo XX el abandono de las zonas rurales y el establecimiento de comunidades vegetales sucesionales son dos de los procesos de transformación más importantes. Las **áreas afectadas por este éxodo rural (Figura 2)** en la parte final del siglo XX cubren casi un tercio (29%) de los sistemas de vegetación natural (Hill 2008). **El patrón espacial de este éxodo rural** refleja las principales tendencias demográficas en Portugal y España, que se caracterizan por **alto grado de urbanización y concentración de la población** a lo largo de las costas y en las principales ciudades, en contraste con la disminución de la población en el interior. Estos cambios, que han propiciado el desarrollo industrial y turístico, también se reflejan en la proporción de personas dedicadas a los diferentes sectores socioeconómicos (Pausas 2004), con un aumento en los sectores industrial y de servicios y una disminución en el sector primario.

Este patrón de éxodo rural ha conllevado a lo largo del siglo XX una disminución muy significativa de la superficie dedicada a cultivos y un **aumento de la superficie de bosque (Figura 3)**. España es uno de los países con el medio rural más despoblado de Europa, esta despoblación rural que ha provocado que estos bosques, a pesar de aumentar, no se cuiden, y que el ganado no consuma el sotobosque. Por ello, **una gran parte de los bosques actuales tienen un riesgo alto de sufrir incendios** que, a su vez, pueden provocar desertización en muchas zonas.

■ Abandono de las explotaciones tradicionales y concentración de la producción en las llanuras

La despoblación rural ha conllevado el abandono de las explotaciones tradicionales, especialmente en las montañas, en las que la falta de rentabilidad ha hecho inviables la mayoría de fincas pequeñas en las que se llevaba a cabo una gestión agro-silvo-pastoral tradicional de supervivencia. Estas explotaciones de montaña mediterránea tienen unas **rentabilidades muy bajas relacionadas con tres factores principales**: (i) condiciones ambientales difíciles ligadas al clima mediterráneo; (ii) dificultades de mecanización por las elevadas pendientes y los bancales pequeños; (iii) degradación del suelo como resultado de un aprovechamiento antiguo que ha dejado suelos pobres con contenidos en materia orgánica muy bajos.



Figura 2. Finca abandonada y recolonizada por el bosque en Cataluña. Foto: AVVideo.

Superficie (millones ha)

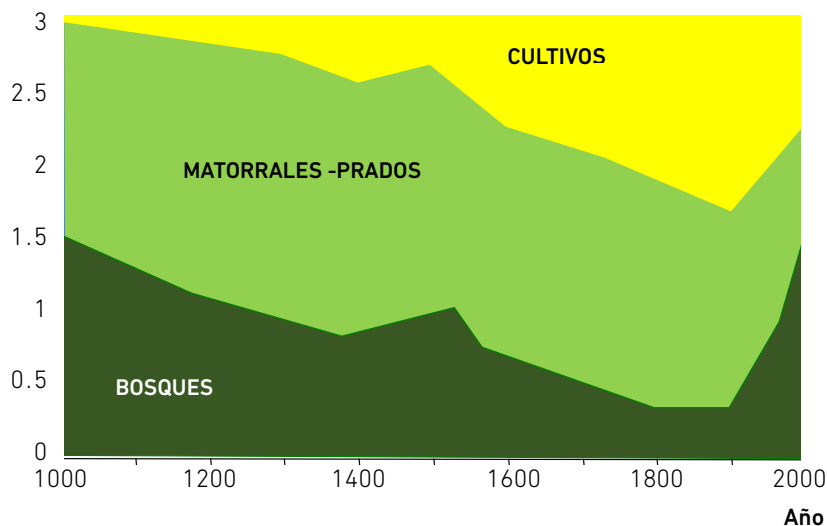


Figura 3. Cambios en los principales usos del suelo en los últimos 1000 años en Cataluña. Información elaborada por Jordi Peix, no publicado.

Esta gestión tradicional se ha sustituido por la concentración creciente de grandes oligopolios en las llanuras. Según los datos actualizados del Ministerio de Agricultura, en España hay **1 millón de explotaciones agrarias**, pero **el 42% de la producción total se obtiene en únicamente el 6,6% de todas ellas**. Las zonas abiertas y extensas del llano normalmente son fácilmente mecanizables y, en general, apuestan por obtener grandes producciones en pequeños espacios. Es habitual que se centren en un solo producto, derivando todos los recursos a su explotación. Para ello explotan al máximo los medios de producción e **intensifican la agricultura y la ganadería** aumentando los insumos (fertilizantes sintéticos, pesticidas químicos, agua), **la capitalización de las empresas y la mano de obra**. Aunque el resultado es un gran aumento de la producción de alimentos, este tipo de agricultura y ganadería conlleva importantes consecuencias ambientales, como la degradación de los suelos, la vulnerabilidad al cambio climático y la pérdida de biodiversidad, y socioeconómicas, ya que genera desequilibrios territoriales y el abandono y pérdida de capacidad productiva de gran parte del territorio.

El modelo de producción convencional y sus consecuencias

La agricultura y la ganadería convencionales son sistemas de producción intensivos que utilizan tecnologías a gran escala para explotar al máximo los medios de producción. Plaguicidas, fertilizantes y otros agroquímicos y una alta cantidad de combustible en la agricultura intensiva, o un elevado hacinamiento del ganado en la ganadería intensiva son elementos que permiten incrementar la productividad del sistema. Pero, al mismo tiempo, este modelo provoca importantes consecuencias negativas, entre ellas, el uso excesivo de agroquímicos sintéticos, el aumento de los gases de efecto invernadero, la contaminación de los acuíferos y el agotamiento de los recursos hídricos, así como numerosos problemas de salud y del sistema alimentario.

■ Características de la agricultura y la ganadería tradicional y convencional

La agricultura y la ganadería tradicionales que funcionaban hasta **1960** se caracterizaban por tener **muy poca tecnificación** y un uso muy escaso de la maquinaria. Tenían como finalidad una **producción a pequeña escala** principalmente para el consumo propio que dependía de los recursos internos, el reciclaje de materia orgánica y la meteorología asociada a cada estación. La producción se aseguraba sembrando **más de un cultivo en el espacio** y el tiempo para reducir el impacto de la severidad del clima. La fertilización con nitrógeno se lograba con la rotación de cultivos leguminosos, y las **rotaciones de cultivos** suprimían o reducían las plagas y las enfermedades. Frecuentemente el ganado vivía en el terreno donde estaban los cultivos para aprovechar el estiércol como abono. Por todo ello, tanto el rendimiento como la optimización de los recursos para obtener mejores productos eran bajos. Pero, a su vez, el impacto ambiental que producían las explotaciones también era reducido.

Actualmente la agricultura y la ganadería convencionales son **sistemas de producción intensivos** que se caracterizan por el uso a gran escala de tecnologías que permiten explotar al máximo los medios de producción. Este uso intensivo de los diferentes elementos favorece a las grandes explotaciones, la especialización de la producción, el **monocultivo (Figura 1)** y la **mecanización**. El uso de plaguicidas, fertilizantes y otros agroquímicos y de una alta cantidad de combustible en la agricultura intensiva, al igual que el hacinamiento del ganado en la ganadería intensiva son fundamentales para poder incrementar la productividad del sistema. La principal ventaja de este sistema es que **se incrementa mucho la productividad de las empresas** y esto permite responder a las necesidades del mercado comercializando a nivel nacional e internacional con miles de toneladas de alimento a un precio asequible. Sin embargo, también se ha demostrado que **este modelo de producción tiene importantes consecuencias negativas**, como el uso excesivo de agroquímicos sintéticos, el aumento de los gases de efecto invernadero, la contaminación de los acuíferos y el agotamiento de los recursos hídricos, así como múltiples problemas de salud y del sistema alimentario.



Figura 1. Plantación de monocultivo intensivo de lechugas. Foto: Pxfuel, CC0.



Figura 2. Granja de explotación intensiva de pollos. Foto: Larry Rana, dominio público, via Wikimedia Commons.

■ Mecanización, costes energéticos e incorporación de insumos agroquímicos

En el sistema agrícola convencional, la planta se alimenta principalmente de nutrientes solubles que se aportan mediante **fertilizantes externos**, y el control de las plagas se lleva a cabo con **agroquímicos sintéticos** cada vez más potentes. En este tipo de agricultura, las condiciones de hábitat necesarias para el crecimiento de las plantas no se consiguen con la formación de un suelo, sino mediante el trabajo de la tierra con maquinaria cada vez más pesada. Del mismo modo, en la ganadería intensiva (**Figura 2**) la producción animal se maximiza con piensos cada vez más elaborados y muchos antibióticos para prevenir cualquier enfermedad. En ambos casos se crea un sistema **dependiente del consumo creciente de energía externa** (maquinaria, fertilizantes, herbicidas e insecticidas) que, sin esta importante aportación de energía, se colapsa y deja de producir.

El modelo actual viene marcado por las grandes empresas, las cuales fabrican la maquinaria necesaria para mover el sistema, los fertilizantes sintéticos para reemplazar los nutrientes quitados al suelo, las semillas que permiten producir plantas de alto rendimiento y los pesticidas que se utilizan para controlar plantas adventicias, plagas y enfermedades. Los costes de estos productos son los costes más altos de la producción. Para mantener la rentabilidad el agricultor o ganadero tiene **un incremento continuo de los costes externos**, al ser dependiente de la gran industria para producir y para vender. Muchos pequeños agricultores no pueden hacer frente a estos costes y tienen que acabar cerrando.

■ Emisiones de gases de efecto invernadero

La agricultura y la ganadería intensivas tienen una contribución decisiva en las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero.

- **El dióxido de carbono (CO₂)** es el gas que contribuye en mayor medida al calentamiento global. Dos de las principales causas que provocan la liberación CO₂ a la atmósfera son el **mantenimiento de sistemas agrícolas muy intensivos**, y la destrucción de la estructura del suelo, que favorece la mineralización de la materia orgánica y la liberación a la atmósfera del carbono que estaba retenido en ella.
- **El metano (CH₄)** es el segundo gas de efecto invernadero más importante, con un poder de retención de calor 21 veces superior al del CO₂ (Steinfeld et al. 2006). El papel del ganado en las emisiones de metano es bien conocido desde hace mucho tiempo, ya que el **35-40%** de las emisiones globales de CH₄ proceden de la descomposición de los fertilizantes y del estiércol animal.
- **El óxido nitroso (N₂O)** es el tercer gas de efecto invernadero con mayor potencial para el calentamiento global, con una concentración reducida en la atmósfera, pero una capacidad de retención de calor 296 veces superior a la del CO₂ (Steinfeld et al. 2006). **A través de la ganadería y la agricultura intensivas se produce más del 65%** del total de N₂O de origen antropogénico. La mayor parte se libera durante el almacenamiento y la aplicación de estiércoles orgánicos y de fertilizantes nitrogenados.

■ Contaminación de los suelos y las aguas y agotamiento de los recursos hídricos

Las explotaciones agrícolas de monocultivos a gran escala y las granjas intensivas de cría de ganado son unas de las principales fuentes de contaminación de los suelos y de las aguas. Así, la agricultura libera **grandes cantidades de estiércol, fertilizantes y plaguicidas** en las fuentes de agua. Los agroquímicos contaminan el ambiente debido a su aplicación excesiva y al hecho de que los cultivos los

usan de forma ineficiente. Del mismo modo, la ganadería también es una importante causa de la **contaminación del agua** con microorganismos, parásitos y antibióticos que se administran de forma masiva al ganado. Esta contaminación del agua provoca una pérdida de su valor para el suministro y contribuye al agotamiento del recurso (Steinfeld et al. 2006). En la actualidad, en muchos países industrializados beber agua no tratada es un peligro. En Cataluña, por ejemplo, el 41% de las masas de agua subterránea están contaminadas, principalmente por purines.

Además del empobrecimiento de la calidad de las aguas, la agricultura y la ganadería convencionales también están contribuyendo a un **agotamiento de los recursos hídricos**. La agricultura intensiva promueve las pérdidas de agua debido principalmente a que destruye la estructura de los suelos y materia orgánica que la retiene. Además, la agricultura convencional utiliza técnicas de riego poco eficientes y hace una mala selección de cultivos, que contribuye a la pérdida de agua. La ganadería intensiva también tiene un **elevado gasto de agua**, que excede en un 8% al volumen de agua utilizada para las necesidades humanas, y es principalmente destinado a la producción de piensos. Como resultado, gran parte de los acuíferos más grandes están en grave riesgo de agotarse, ya que se está extrayendo agua a un ritmo que supera su capacidad de reabastecimiento.

■ Problemas ambientales y del sistema alimentario

La intensificación de la producción de alimentos mediante la agricultura y la ganadería convencionales es la principal responsable de la actual crisis ambiental que estamos sufriendo. Los principales problemas ambientales que están aumentando en las últimas décadas son:

- La **pérdida de biodiversidad** por la contaminación y degradación crecientes de los ecosistemas naturales a causa del sistema productivo actual.
- La **erosión y pérdida de fertilidad de los suelos**, debido a las prácticas agrícolas intensivas aplicadas.
- La **contaminación de las aguas** por productos químicos tóxicos liberados para mejorar la producción de la agricultura y ganadería intensivas.
- La **mayor susceptibilidad de los cultivos a las plagas**, ligada a la adopción de extensos monocultivos y a la eliminación de los enemigos naturales de las plagas.
- La **propagación de enfermedades transmitidas a los humanos** por alimentos e infecciones bacterianas resistentes a los medicamentos.
- La **expansión de las zoonosis**, ya que las actividades intensivas favorecen que los patógenos puedan pasar de animales silvestres a animales de granja y, de éstos, a los humanos.

El modelo de producción regenerativo: una propuesta para superar la crisis ambiental y climática

El modelo regenerativo incluye toda una serie de prácticas que promueven la salud del suelo y, con ella, la de todos los elementos que componen el sistema. Se basa en integrar agricultura, ganadería y silvicultura como eje de un sistema alimentario sostenible que reproduce los patrones y procesos naturales. Se distingue del modelo convencional en que permite acumular materia orgánica en el suelo, integrar a los animales en el funcionamiento del sistema y reducir los insumos necesarios para producir alimentos. De esta manera tiene importantes ventajas sobre el modelo convencional para poder superar la actual crisis ambiental y climática.

■ Origen y fuentes del modelo de producción regenerativo

El modelo regenerativo se definió por primera vez a principios de la década de 1980, cuando el **Instituto Rodale** definió el término “agricultura regenerativa” como alternativa ambiental y económica real a la agricultura convencional. Desde entonces, con el australiano Darren Doherty como promotor inicial de su introducción en muchos lugares del mundo, el modelo de producción regenerativo se ha ampliado y extendido por todo el mundo.

El modelo regenerativo no es un concepto único, sino que incluye toda una serie de prácticas que promueven la **salud del suelo** y, con ella, la de todos los elementos que componen el sistema: cultivos, animales, bosques y personas. **Las fuentes en las que se basa el modelo regenerativo** son diversas (**Tabla 1**), incluyendo diferentes alternativas agrícolas: la agricultura natural promovida por Masanobu Fukuoka en Japón, la agricultura orgánica, la agricultura del carbono o el cultivo de cereal sobre pastos perennes,

la agroforestería o combinación de árboles con cultivos o ganado, el diseño de líneas clave para retener el agua, el pastoreo intensivo programado (mediante manejo holístico o pastoreo racional voisin) o las granjas polifacéticas donde se integran suelo vivo, plantas y animales.

■ Objetivo y bases del modelo regenerativo

El objetivo del modelo regenerativo es integrar **agricultura, ganadería y silvicultura** como eje de un **sistema alimentario sostenible** que reproduzca los patrones y procesos naturales y establezca una visión global del sistema productivo en la que se incluyan aspectos ambientales, económicos y sociales. El modelo regenerativo es **una manera de producir alimentos cuyo objetivo es ser:**

- **Ecológicamente regenerativa:** promueve prácticas que no degraden el suelo, sino que lo regeneren y, con ello, mejoren los servicios que aportan los ecosistemas, los animales, las plantas y los humanos que viven en ellos.

Técnica	Descripción
Agricultura natural (Natural farming)	Basada en intervenir lo menos posible en el sistema para dejar que los procesos naturales hagan su trabajo. Propone la rotación de los cultivos dentro de un mismo año y busca el momento adecuado para llevar a cabo cada actuación.
Agricultura orgánica	Sistema de cultivo basado en la utilización óptima de los recursos naturales, sin emplear productos químicos y promoviendo la producción de biofertilizantes y microorganismos nativos.
Agricultura del carbono	Consiste en dejar el suelo sin arar, ya que labrar los campos puede alterar la estructura natural del suelo y liberar el carbono almacenado a la atmósfera.
Cultivos de cereal sobre pastos perennes (Pasture cropping)	Implica sembrar cereales de invierno directamente sobre prados perennes que están activos en verano.
Agroforestería	Sistema de cultivo que combina árboles con cultivos o ganado en el mismo terreno para incrementar las sinergias entre ellos.
Diseño de líneas clave (Keyline design)	Sistema que permite almacenar agua distribuyéndola de forma homogénea por las líneas-clave según la topografía del terreno.
Manejo holístico (Holistic management)	Basado en planificar cómo utilizar densidades de ganado muy altas en espacios pequeños, pero con periodos de recuperación muy largos, cumpliendo una programación predeterminada.
Pastoreo racional voisin	Sistema basado en la combinación del conocimiento de la ecofisiología del rebrote del pasto y las necesidades y el bienestar animal, a fin de escoger la parcela más adecuada en cada momento para el pasto y para el ganado.
Granjas polifacéticas (Polyface farms)	Son granjas agro-silvo-pastorales resilientes que integran suelo vivo, plantas y animales aumentando la fertilidad del sistema.

Tabla 1. Principales técnicas en las que se basa el modelo de producción regenerativo.

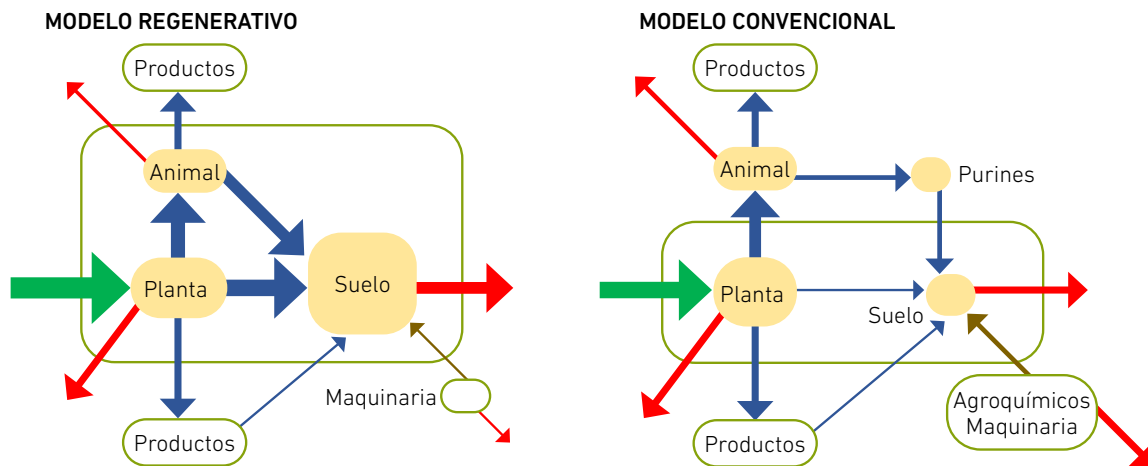


Figura 1. Diagramas de flujos del modelo productivo regenerativo y el modelo convencional. El cuadrado grande verde corresponde al sistema agroalimentario considerado en cada caso (con o sin los animales). Las cajas representan compartimentos y las flechas flujos. El tamaño de las cajas es proporcional a la cantidad de energía almacenada en cada compartimento. El grosor de las flechas es proporcional a la magnitud del flujo. Flechas verdes: entradas de energía por fotosíntesis; flechas rojas: salidas de energía por respiración; flechas azules: flujos de energía entre compartimentos; flechas marrones: entradas de energía de insumos externos.

- **Económicamente rentable:** posibilita hacer rentables las explotaciones reduciendo drásticamente los costes e incrementando los rendimientos.
- **Socialmente sostenible:** permite crear empleo y riqueza local y apuesta por una gestión sostenible y saludable de producir alimentos que pueda estar al alcance de cualquier agricultor.

Son cinco los elementos del sistema productivo sobre los que se puede intervenir y que son las **bases para un modelo productivo regenerativo**: (i) la diversidad de plantas; (ii) el retorno de los materiales vegetales al suelo; (iii) las intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo; (iv) el funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono; y (v) el agua como factor limitante de la productividad del sistema. Estos cinco elementos se describen en la ficha “Análisis de un sistema productivo desde una perspectiva regenerativa”.

■ Ventajas del modelo generativo sobre el convencional para superar la crisis ambiental y climática

El modelo regenerativo y el modelo convencional difieren en algunos aspectos muy importantes (Figura 1). Así, **el modelo regenerativo** se basa en (i) **acumular materia orgánica en el suelo**, lo que permite mantener la red trófica y disminuir las pérdidas de carbono; (ii) integrar a los animales en el funcionamiento del sistema, lo que disminuye las salidas del sistema y permite potenciar el ciclo interno; (iii) reducir los insumos necesarios para producir alimentos, ya que no utiliza agroquímicos y utiliza poca maquinaria pesada. En cambio, **el modelo convencional** se caracteriza por: (i) **acumular poca materia orgánica en el suelo**, porque se pierde por respiración; (ii)

tener a los animales fuera del sistema agrícola, de manera que sus excrementos no pueden contribuir a mejorar el suelo hasta que los purines no se distribuyen en los campos; (iii) utilizar gran cantidad de insumos en forma de agroquímicos sintéticos y combustibles fósiles para hacer funcionar la maquinaria pesada.

Las **ventajas** de la agricultura regenerativa sobre la agricultura convencional para poder superar la actual crisis ambiental y climática son diversas:

- **Balance positivo de la conversión de CO₂ atmosférico en carbono orgánico del suelo.** Con el modelo regenerativo se retira más CO₂ de la atmósfera y se almacena en el suelo, ya que los suelos no pierden carbono, sino que lo almacenan. De esta manera, el sistema productivo tiene un balance positivo en la captación de carbono, algo que no pasa con el modelo convencional.
- **Reducción de las emisiones de CO₂ por el sector productivo.** Al destruir el suelo se libera todo el carbono que contiene. El modelo regenerativo, a través de no labrar y cubrir el suelo con plantas, revierte este proceso. También se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero al no requerir la fabricación de fertilizantes y pesticidas sintéticos y necesitar **muchos menos combustibles fósiles** para la utilización de maquinaria pesada.
- **No se requieren insumos de agroquímicos sintéticos.** La agricultura regenerativa no requiere insumos de pesticidas y fertilizantes sintéticos para producir cultivos de alto rendimiento. Estos agroquímicos tienen un elevado coste para la salud humana y el medio ambiente, por lo que los sistemas regenerativos generan ambientes más sanos.
- **Aumento de la capacidad de retención de agua de los suelos.** Con el método regenerativo los suelos son más ricos en materia orgánica, esto favorece el aumento de su capacidad de retención de agua y ayuda a que las plantas puedan resistir mejor el cambio climático.



Bases de un sistema de producción regenerativo

- El suelo desde una perspectiva productiva regenerativa
- Gestión del bosque desde una perspectiva productiva regenerativa
- Gestión del prado y los animales que pastan en él desde una perspectiva productiva regenerativa
- Gestión de los cultivos desde una perspectiva productiva regenerativa





Bases de un sistema de producción regenerativo

El suelo desde una perspectiva productiva regenerativa

- Nutrir y preservar el habitat de la red trófica del suelo: las bases de un sistema de producción regenerativo
- Alta diversidad de plantas: máxima producción y variedad de alimento para la red trófica del suelo
- El retorno de los materiales vegetales al suelo: balance entre mineralización y humificación
- Intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo
- El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono: entradas, salidas y stocks de carbono
- El agua, el factor limitante de la productividad del sistema
- Indicadores del estado de salud del suelo
- Análisis de un sistema productivo desde una perspectiva regenerativa

Nutrir y preservar el habitat de la red trófica del suelo: las bases de un sistema de producción regenerativo

La red trófica del suelo es el conjunto de organismos que viven en el suelo. La nutrición de la red trófica y la preservación del hábitat favorable para la vida de estos organismos son la base de un sistema productivo sostenible. Un sistema gestionado siguiendo estos criterios tiene como resultado una elevada fertilidad y salud del suelo y, por tanto, una gran productividad vegetal.

Un suelo sano alberga una compleja **red trófica (Figura 1)**, que incluye desde los microorganismos (bacterias, hongos, protozoos, nematodos), hasta la macrofauna del suelo (lombrices, insectos, reptiles y mamíferos). En condiciones naturales la **alimentación eficiente de la planta** se produce como resultado de la actividad biológica de esta red trófica. El funcionamiento de esta actividad biológica requiere dos condiciones básicas: 1) el aporte de alimento para la red trófica del suelo y 2) el mantenimiento de las condiciones de hábitat adecuadas para los diferentes organismos. El cumplimiento de estas condiciones define las bases de un sistema productivo sostenible.

de la planta, acaban incorporándose como materiales orgánicos para alimentar la red trófica del suelo. Una parte importante de esta incorporación se realiza por las **raíces (Figura 2)**. A través de ellas, la planta alimenta directamente a hongos ecto y endomicorrízicos y libera exudados para favorecer la presencia y actividad de microorganismos beneficiosos en su entorno (rizosfera). **Las raíces muertas son un aporte de material orgánico importante** para la alimentación de la red trófica del suelo. Cuando la planta muere, los tejidos vegetales de la parte aérea también se incorporan como materiales orgánicos que nutren la red trófica del suelo, ya sea directamente o a través de los excrementos de los herbívoros.

■ Relaciones entre la red trófica del suelo y las plantas

El mantenimiento de las relaciones que se establecen entre los organismos de la red trófica del suelo y las plantas es la base de un sistema productivo sostenible. Estas relaciones se producen en las dos direcciones:

• Las plantas alimentan a la red trófica del suelo.

En condiciones naturales, todos los hidratos de carbono producidos en la fotosíntesis, que no han sido consumidos por la respiración

• **La red trófica del suelo alimenta a las plantas.** La actividad de la red trófica del suelo genera procesos complejos que permiten poner los nutrientes a disposición de la planta en el lugar y el momento más adecuado. Las ecto y endomicorrizas del suelo ayudan a la planta a prospectar de manera más eficiente los nutrientes y el agua del suelo. La actividad biológica que favorece la planta en el entorno de la raíz genera cambios bioquímicos que liberan cationes retenidos en el suelo y los ponen a su disposición. También se favorece la actividad de **bacterias fijadoras de**

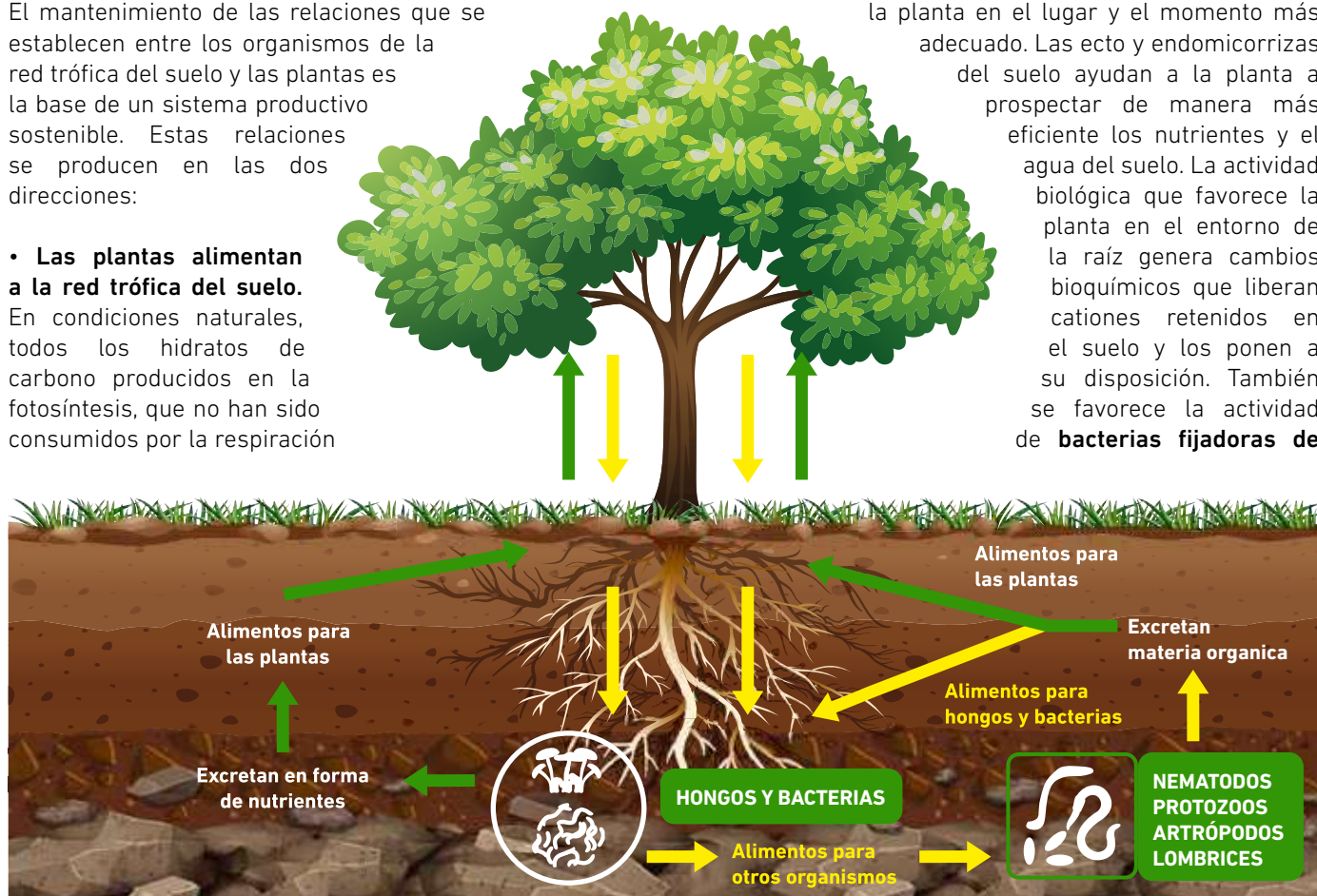


Figura 1. Cadena de relaciones entre el suelo y las plantas. Flechas amarillas: las plantas alimentan el suelo; flechas verdes: el suelo alimenta las plantas.



Figura 2. Las raíces juegan un papel fundamental en la alimentación de la red trófica del suelo. Foto: Pxfuel, Creative Commons Zero – CC0.

nitrógeno. Además, las raíces pueden también absorber directamente aminoácidos y proteínas procedentes de los **materiales orgánicos incorporados al suelo** y parcialmente descompuestos por la actividad de la red trófica del suelo.

■ Condiciones de hábitat necesarias para la vida del suelo

El funcionamiento de los procesos biológicos del suelo requiere de condiciones de hábitat (micro y macro poros) que permitan el **movimiento del aire en el suelo**, **la retención del agua**, y las condiciones necesarias para el movimiento y refugio de los diferentes componentes de la red trófica. El principal responsable de mantener estas condiciones de hábitat es la **Materia Orgánica del Suelo (MOS)**. Un componente importante de esta MOS es el humus, que es una fase más o menos estable del proceso de degradación del material orgánico incorporado al suelo por parte de la red trófica. Otro componente importante de la MOS son las colas orgánicas, que son producidas por los hongos y son las encargadas de crear los aglomerados estables de partículas minerales. La actividad de la **macrofauna** del suelo, como las lombrices o las hormigas, crea túneles que mejoran las condiciones necesarias para el funcionamiento de toda la red trófica (**Figura 3**).



Figura 3. Las lombrices tienen un papel fundamental en la aireación del suelo. Foto: iStock.

El modelo productivo regenerativo: se basa en la alimentación natural de la planta

El modelo productivo regenerativo se basa en conocer los factores que nutren de forma natural a la planta y utiliza únicamente los recursos del terreno para **alimentarla**. Este modelo se basa en alimentar la **red trófica del suelo** y mantener las condiciones de hábitat necesarias para su funcionamiento, en concreto lo referente a la MOS y la estructura del suelo. Como resultado, el sistema productivo regenerativo, bien gestionado, obtiene una gran producción de alimentos con una alta calidad nutricional y de una forma sostenible.

El sistema agrícola convencional, por el contrario, no tiene en cuenta la importancia de los procesos biológicos de la red trófica del suelo, y la alimentación de la planta se realiza principalmente a través de nutrientes solubles aportados mediante **fertilizantes externos**. En este tipo de agricultura, las condiciones de hábitat necesarias para el crecimiento de las raíces (penetrabilidad, aireación e infiltración), se obtienen mediante el trabajo de la tierra con maquinaria cada vez más potente. De esta manera, se crea un sistema dependiente del consumo creciente de energía externa (maquinaria, fertilizantes, herbicidas e insecticidas). Sin esta importante aportación de energía externa, el sistema se colapsa y deja de producir.

Alta diversidad de plantas: máxima producción y variedad de alimento para la red trófica del suelo

Una gran diversidad de plantas permite mantener el máximo aporte de materiales orgánicos para alimentar la red trófica del suelo. La mezcla de especies para obtener una mayor diversidad puede darse en el tiempo o en el espacio. En el tiempo, se logra principalmente mediante el uso de rotaciones. En el espacio, la mayor diversidad se obtiene asociando plantas que pueden tener un aprovechamiento conjunto, mediante la utilización de plantas acompañantes o manteniendo los márgenes con elevada diversidad.

■ Mantenimiento de una alta diversidad de plantas

La planta es el motor que dirige el funcionamiento del ecosistema a partir de los materiales orgánicos sintetizados durante la fotosíntesis. Estos materiales orgánicos son la base para alimentar a la red trófica del suelo y crear el hábitat necesario para su funcionamiento. **El objetivo de la gestión agrícola es hacer trabajar al máximo el sistema** para maximizar la captura de energía solar y el secuestro de carbono por las plantas (a través de la fotosíntesis). Para ello, debemos saber gestionar una diversidad de plantas que nos permita mantener el máximo aporte de materiales orgánicos para alimentar la red trófica del suelo durante todo el año (**Figura 1**). Esto se puede conseguir de diversas maneras:

1. Con presencia de raíces activas a diferentes profundidades y a lo largo de todo el año. La incorporación de materiales orgánicos de las plantas al suelo se produce principalmente a través de las raíces. Debemos saber gestionar una diversidad de plantas que garantice una gran presencia de raíces a lo largo de todo el año y con la mayor parte de espacio ocupado, con especial atención a la presencia de raíces a diferentes profundidades.

2. Con una cobertura completa del suelo. Debemos gestionar una diversidad de plantas que permita crear una cobertura completa durante todo el año, ya sea de material verde o de material muerto.

3. Con plantas en crecimiento a lo largo de todo el año (cuando la estación lo permite). Es fundamental poder obtener el máximo crecimiento posible en cada época del año para mantener la máxima actividad biológica del sistema y el máximo aporte de materiales orgánicos al suelo.

4. Aportando material vegetal variado. Cuanto más variado sea el material orgánico que aporten las plantas, mejor será la alimentación de la red trófica del suelo.

5. Recolectando las plantas en el momento del ciclo de crecimiento de la planta en el que han introducido una mayor cantidad de carbono en el suelo y dispone del mayor contenido de reserva en las raíces.



Figura 1. Una elevada diversidad de plantas (tanto en la parte aérea como subterránea) permite alimentar la red trófica del suelo durante todo el año. Foto: iStock.



Figura 2. Rotación del cultivos. Foto: Markus Winkler, CC-BY (Unsplash).



Figura 3. Huerto con diferentes tipos de cultivos (policultivo). Foto: MJ.Broncano.



Figura 4. Agroforestería. Foto: National Agroforestry Center, CC-BY.

■ ¿Cómo conseguir una alta diversidad de plantas?

A la hora de diseñar la mezcla de distintas especies debemos considerar diferentes criterios, a parte del nuestro propio de producción, como son la profundidad de las raíces, la capacidad de producir biomasa o la capacidad de controlar su crecimiento. La mezcla de estas especies puede conseguirse en el tiempo o en el espacio (o en ambos).

- **En el tiempo.** La diversidad de plantas en el tiempo se obtiene de manera importante mediante el uso de **rotaciones (Figura 2)**. Es importante que no queden épocas del año sin cultivo (aunque en algunas el cultivo esté parado). Si por razones climáticas hubiera una época del año sin cultivo, debemos asegurar que el suelo esté cubierto para que la actividad biológica del suelo se vea limitada lo mínimo posible.

- **En el espacio.** Podemos aumentar la densidad de raíces en el espacio mediante la **asociación de plantas** que permiten un aprovechamiento conjunto (policultivo) (**Figura 3**) o mediante la utilización de **plantas acompañantes** que no tienen un aprovechamiento directo, pero que mejoran la producción de las plantas que se pretenden recolectar **Figura 3**. También puede conseguirse un efecto parecido mediante el **mantenimiento de márgenes** con elevada diversidad. Un caso específico con gran interés es la combinación de cultivos herbáceos con árboles en diferentes sistemas que se engloban en la **agroforestería (Figura 4)**.

El modelo productivo regenerativo: competencia versus colaboración

En el **sistema productivo convencional** las plantas **compiten** por los nutrientes solubles de los fertilizantes aportados para su nutrición. En cambio, en el **sistema productivo regenerativo**, todas las plantas que conviven en un mismo espacio **colaboran** en la alimentación y el mantenimiento de un hábitat favorable para la red trófica del suelo. Como resultado, se produce una mejora global de la fertilidad del sitio. Así pues, cuanto más diverso sea el sistema productivo, más aumentará su potencial productivo.

La **competencia por la luz** es el principal factor limitante que debe controlarse para favorecer a la especie que nos interesa producir. En relación con la **competencia por el agua**, hemos de tener en cuenta que su aprovechamiento se optimiza en un suelo estructurado y con una red trófica del suelo completa. En épocas secas, sin embargo, el agua limita el sistema. En este caso el control del agua no debe hacerse a través de intervenciones en el suelo (laboreo) sino a través del control de la parte aérea (control de la evapotranspiración). Así, mantenemos siempre una cobertura completa del suelo (viva o muerta) que lo proteja del impacto directo del sol y de la lluvia.

El retorno de los materiales vegetales al suelo: balance entre mineralización y humificación

La materia orgánica incorporada en superficie aporta nutrientes y juega un papel importante en la cobertura de la superficie del suelo. La manera en que se incorporan al suelo los materiales orgánicos de las plantas puede variar mucho en cada ecosistema dependiendo de las condiciones ambientales. Los principales factores que regulan el balance entre mineralización y humificación de estos materiales son la relación C/N del material aportado, el grado de lignificación, el nivel de trituración y las condiciones micro-ambientales del lugar.

■ Incorporación de la materia orgánica en la superficie del suelo

Un sistema de producción basado en alimentar la red trófica del suelo y mantener las **condiciones de hábitat** necesarias para su funcionamiento viene definido por el tipo, la cantidad y la manera en que se incorporan los materiales orgánicos al suelo. Aunque la incorporación más importante se produce a través de las raíces, la incorporación de la parte aérea es la que podemos gestionar de manera más fácil, por lo tanto, es la que caracteriza nuestro sistema. La materia orgánica incorporada en superficie, además de aportar **nutrientes**, juega un papel importante en la cobertura de la superficie del suelo. El valor de la materia orgánica aportada depende de la velocidad a la que se descompone. La manera en que se incorporan los materiales orgánicos de la parte aérea de las plantas es una **característica de los diferentes sistemas naturales**:

- En el **bosque**, la incorporación se produce principalmente por la caída de las **hojas**, que se acumulan en el suelo (**Figura 1**). El microclima interior del bosque facilita que estas hojas **se descompongan** y, de esta manera, sean la base de materia orgánica para el funcionamiento de la red trófica.
- En **praderas pastoreadas**, la incorporación de materia orgánica se produce principalmente a través del **estiércol** y **la orina** de los animales que pastan en la pradera. El estiércol constituye un material orgánico parcialmente descompuesto y **rico en microorganismos**. Para una incorporación eficaz en

el suelo, sobre todo en profundidad, el estiércol requiere de la actividad de un **conjunto propio de insectos** como son los escarabajos peloteros (**Figura 2**), entre otros.

- En **sistemas vegetales no pastoreados**, la incorporación del material vegetal de la parte aérea de las plantas requiere de algún tipo de intervención (como la corta o el pisoteo de hojas y ramas) que permita bajar este material al suelo. Si el **material no llega al suelo**, se degrada sin incorporarse (oxidación en pie), de manera que una parte importante del material no lo aprovecha la red trófica (**Figura 3**).

■ Balance entre mineralización y humificación

Cuando las bacterias consumen de manera muy rápida los materiales vegetales aportados en superficie, esto produce un aporte rápido de nutrientes, en un proceso denominado **mineralización**. Si esto sucede, los materiales vegetales desaparecen rápidamente y no pueden jugar ningún papel en la cobertura del suelo. Por el contrario, cuando la descomposición es lenta, los materiales vegetales crean una cobertura del suelo que protege contra las agresiones directas del sol, de la lluvia y del viento, favorece la infiltración del agua, crea el hábitat necesario para los elementos importantes de la red trófica, y es la responsable de formar un humus superficial estable. Es el proceso denominado **humificación**.



Figura 1. Bosque de encinas y alcornocos con suelo cubierto por una capa de hojas. Foto: MJ.Broncano.



Figura 2. Escarabajo pelotero sobre excremento de vaca. Foto: MJ.Broncano.



Figura 3. Tractor triturando la parte aérea vegetal que permanece sobre el suelo y puede ser utilizada por la red trófica del suelo. Foto: MJ.Broncano.

Para priorizar el proceso que interese más en cada momento, es preciso conocer los factores que regulan el **balance** entre mineralización y humificación. Jugando con estos factores se puede controlar el balance y, por lo tanto, el papel que los materiales incorporados juegan en la creación y funcionamiento del suelo. **Los principales factores que regulan el balance** entre mineralización y humificación de la materia vegetal son:

- **Relación C/N.** Las bacterias, para satisfacer sus necesidades, requieren una relación óptima **C/N próxima a 24**, que es la que necesitan para respirar y constituir su organismo. Cuando la relación se aleja de este valor suceden dos cosas distintas:

- Si la relación **C/N de los materiales orgánicos incorporados es inferior a 24** (alto contenido en nitrógeno), como en relación a sus necesidades falta carbono, para poder consumir todo el nitrógeno las bacterias buscan carbono adicional en su entorno. Esto lleva a una pérdida rápida de la materia orgánica, que conduce a una pérdida de estructura del suelo y de cobertura en la parte superficial.
- Si el material orgánico incorporado tiene una relación **C/N superior a 24** (bajo contenido en nitrógeno), las bacterias buscan más nitrógeno para ajustar esta relación a sus necesidades, consumiendo gran parte del nitrógeno

disponible a su alrededor. En este caso la descomposición de los materiales es lenta y **puede llevar a una falta de nitrógeno disponible para las plantas.**

Si se trabaja con abonos verdes hay que tener en cuenta que el contenido en nitrógeno varía a lo largo de la vida de la planta: en **plantas jóvenes** el contenido es alto para todas las especies. En el momento del **inicio de la floración** la relación C/N suele situarse un poco por encima de 24. Este es un punto óptimo para incorporar superficialmente el abono verde porque los microbios pueden consumir rápidamente el material, pero queda una parte de carbono que permite una descomposición más lenta. En la fase de **madurez de la planta** se produce una bajada en el contenido en nitrógeno que puede variar mucho según la especie.

- **Grado de lignificación.** Existen una serie de sustancias, como la lignina o la suberina, cuya estructura compleja dificulta que las bacterias las descompongan. Estas sustancias complejas deben ser descompuestas por actinomicetos y otros hongos. Por ello, **los materiales con un alto contenido en lignina**, como los restos forestales de troncos y ramas, se descomponen más lentamente que los otros restos vegetales, y por ello **dando lugar a un humus más estable.**

- **Nivel de trituración del material vegetal.** Para un mismo material, cuanto más triturado está, más fácilmente es atacado por los organismos detritívoros que lo hacen más accesible a los microorganismos, de manera que su descomposición es más rápida.

- **Condiciones micro-ambientales.** Las condiciones ambientales determinan en gran medida la velocidad de descomposición de la materia orgánica. La **actividad de microorganismos y hongos** aumenta con las condiciones de humedad adecuadas, la temperatura y la presencia de oxígeno. En caso contrario, es decir, condiciones de falta de agua, temperaturas bajas y anoxia (falta de oxígeno) se reduce la velocidad de descomposición de la materia orgánica.

El modelo productivo regenerativo se basa en el conocimiento de los procesos naturales

La propuesta de un modelo productivo regenerativo sostenible no debe confundirse con la vuelta a un sistema agrícola del pasado. El planteamiento de un modelo productivo sostenible es posible gracias al **avance científico en el conocimiento de los procesos naturales**, que permite saber cómo funciona la nutrición natural de las plantas y su aplicación técnica de manera controlada en el campo. Controlar de manera eficiente el retorno de los materiales orgánicos al suelo y el balance mineralización/humificación permite mejorar la producción por unidad de superficie de los campos. De esta manera, se utilizan los recursos del entorno en un modelo real de **economía circular.**

Esta mejora de la producción no depende de recursos externos y permite recuperar la rentabilidad de fincas pequeñas en las que el modelo actual, dependiente del petróleo y la agroquímica, no es rentable.

Al mismo tiempo, este nuevo modelo es un **modelo escalable**, es decir, puede adaptarse a cualquier tipo de condiciones y ofrece una alternativa real al sistema dependiente y no sostenible que tenemos en estos momentos.

Intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo

Algunas prácticas de manejo destruyen la biodiversidad y no favorecen, por tanto, la red trófica del suelo. Entre ellas destacan: (i) el laboreo: rompe el hábitat adecuado para la red trófica del suelo; (ii) el aumento del suelo desnudo: permite el impacto directo del sol y la lluvia sobre la superficie del suelo; (iii) la compactación del suelo: destruye el hábitat alterando la porosidad del suelo; (iv) el uso de abonos químicos: alimentan directamente a las plantas sin alimentar a la red trófica del suelo; (v) el uso de insecticidas, fungicidas y herbicidas: reducen la actividad biológica del suelo.



Figura 1. Suelo volteado después del laboreo. Foto: Núria Anglada.

Todas las prácticas agrícolas que afectan de manera negativa a la red trófica del suelo o que destruyen el hábitat, provocan el bloqueo de los procesos biológicos y, como resultado, la fertilidad natural del suelo se pierde. En esta situación, las explotaciones agrícolas dependen de factores externos como el uso del laboreo (petróleo) y los agroquímicos (más petróleo) para seguir produciendo. Las **intervenciones que tienen mayor impacto en la pérdida de fertilidad de suelo** son las siguientes:

- **Laboreo.** Labrar la tierra (Figura 1) rompe los sistemas de hifas de los hongos que ayudan a las raíces a aumentar la prospección del suelo, **rompe los aglomerados** que participan en la creación del hábitat adecuado para la red trófica del suelo y facilita la mineralización de las sustancias orgánicas que son responsables del mantenimiento de estos conglomerados. Al mismo tiempo, el laboreo aumenta la temperatura y la aireación del suelo, favoreciendo la actividad de las **bacterias oportunistas** y la tasa de mineralización de la materia orgánica del suelo. Esto resulta en que el laboreo del suelo tiene un efecto inicial de aumento de la fertilidad (mineralización), pero el efecto final es una disminución del contenido total de materia orgánica del suelo, y sus consecuencias son el empeoramiento de las condiciones de hábitat para la red trófica del suelo y su capacidad de retención de agua y nutrientes.

- **Aumento del suelo desnudo.** El aumento del suelo desnudo es una consecuencia importante del laboreo o del sobrepastoreo (Figura 2). El suelo desnudo provoca un **impacto directo de la luz solar**, con un efecto directo en la vida de los primeros centímetros del suelo. Al mismo tiempo, permite el impacto de la lluvia y el viento en la superficie del suelo, lo que provoca erosión y pérdida de materia orgánica superficial, compactación y disminución de la velocidad de infiltración.

- **Compactación del suelo.** La compactación normalmente es el resultado de la utilización de maquinaria pesada o un mal manejo del pastoreo (sobrepastoreo) (Figura 3). Suele ir ligada al suelo descubierto. Esta compactación **rompe la micro y macro porosidad del suelo**, destruyendo el hábitat de la red trófica del suelo e impidiendo la infiltración del agua de la lluvia. Esto no quiere decir que no se pueda utilizar maquinaria. Para producciones extensivas es necesario el uso de tractor en las siembras directas y la cosecha de productos. Pero siempre hay que utilizar la maquinaria más liviana posible y evitar momentos en los que el daño sobre el suelo puede ser más importante, como por ejemplo cuando el suelo está muy mojado.

- **Uso de abonos químicos.** Los abonos químicos alimentan directamente a las plantas, que al tener nutrientes solubles disponibles no invierten en alimentar a la cadena



Figura 2. Campo labrado con el suelo al descubierto. Foto: Pxhere, CC0.

trófica del suelo. Además, el aumento del nitrógeno del suelo provoca que las **bacterias consuman más carbono**, que obtienen de la materia orgánica del suelo (MOS). Esto aumenta la tasa de mineralización y provoca la desaparición de la MOS y la pérdida de hábitat para la red trófica del suelo, de manera que la alimentación natural deja de funcionar y cada vez se hace más dependiente de las aportaciones externas. Al perderse la actividad biológica del suelo, **se genera un feedback con efecto negativo**: las plantas cada vez están más mal nutridas. Esto provoca que sean más fácilmente atacadas por plagas, y que requieran del uso de múltiples productos (como insecticidas, fungicidas o herbicidas) para protegerlas; a su vez, estos biocidas todavía reducen más la actividad biológica del suelo.

- **Uso de insecticidas, fungicidas y herbicidas.** Todos estos productos afectan directamente a la vida de los organismos y, por tanto, a toda la actividad biológica y funcionamiento del suelo. Estos productos están estrechamente relacionados con los abonos químicos, ya que hacen que la alimentación de las plantas sea cada vez más dependiente de los nutrientes solubles aportados. De esta manera, se genera un **círculo de dependencia** creciente entre fertilizantes químicos e insecticidas.

El modelo productivo regenerativo: la producción se pone en manos del agricultor

El modelo productivo convencional depende de las grandes marcas que fabrican la maquinaria y los agroquímicos necesarios para el funcionamiento del sistema. Los costes de esta maquinaria y estos agroquímicos son los costes más altos de producción y tienen un valor cada vez más elevado. Para mantener la rentabilidad, el agricultor cada vez tiene que producir más, entrando en un **círculo de dependencia de la gran industria para producir y para vender**. El pequeño agricultor normalmente no puede hacer frente a estos costes y tiene que cerrar.

Un modelo que contempla la alimentación natural de la planta se basa en el conocimiento, que es accesible a todo el mundo, y además no depende del petróleo. Con este modelo, los costes de producción relacionados con insumos externos se reducen o desaparecen (no hay agroquímicos, no hay trabajo del suelo).

También existe una **economía de escala**: como no requiere inputs externos, es un modelo aplicable a escalas más pequeñas. La diferencia de costes cuando se trabaja a escalas reducidas es asumible y puede ser compensada por estrategias de venta local. **De esta manera se crea la oportunidad de una alimentación de calidad, en manos de los agricultores y de los consumidores.**



Figura 3. Suelo descubierto compactado por el sobrepastoreo. Foto: MJ. Broncano

El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono: entradas, salidas y stocks de carbono

El funcionamiento del suelo en cualquier ecosistema depende directamente del ciclo del carbono característico del mismo. El ciclo tiene unos stocks dinámicos entre los diferentes componentes del sistema: las plantas, los otros organismos que intervienen en el ciclo, los materiales orgánicos y la materia orgánica del suelo. Este ciclo del carbono es modificado por una serie de factores: el balance mineralización/humificación, la exportación e importación de materiales orgánicos, y las perturbaciones. El modelo de gestión agrícola, ganadera o forestal interviene sobre el ciclo modificando estos factores en una dirección o en otra.

■ Componentes del sistema y su relación con los stocks de carbono

El suelo es el elemento principal de los sistemas biológicos terrestres. El suelo requiere de carbono (materiales orgánicos) para mantener todos los procesos biológicos que lo caracterizan. Así pues la gestión de un sistema biológico terrestre se puede entender como el manejo del ciclo de carbono, que se inicia a partir del CO_2 fijado por la fotosíntesis de las plantas hasta llegar al suelo. Cada sistema biológico terrestre presenta un **ciclo de carbono** característico, en el cual se establecen unos stocks dinámicos de carbono que se encuentra retenido temporalmente en **los diferentes componentes del sistema**. La cantidad y estabilidad de estos stocks de carbono determina el funcionamiento del sistema y su capacidad de **secuestrar carbono de la atmósfera**.

a) Las plantas. Los hidratos de carbono que la planta produce, y que no son utilizados en la respiración, son la base del ciclo de carbono. Una parte de estos hidratos de carbono se liberan directamente a través de las raíces en forma de exudados para alimentar a la red trófica del suelo. Otra parte pasan a formar parte de diferentes estructuras de la planta (de reserva, de sostén y reproductivas) y finalmente acaban también incorporándose al ciclo del carbono del sistema. En algunos casos estas estructuras representan stocks de carbono pequeños y poco estables (como la parte aérea de hierbas anuales), pero en otros casos estas estructuras pueden representar stocks de carbono muy importantes y con una gran estabilidad, como es el caso de la madera de los bosques.

b) Los organismos que intervienen en el ciclo. Antes de llegar al suelo la materia orgánica producida por la planta puede pasar por diferentes organismos (herbívoros, carnívoros, descomponedores). Cada vez que interviene un nuevo organismo en el ciclo una parte del carbono se utiliza para la obtención de energía para la respiración y liberado a la atmósfera en forma de CO_2 . Otra parte del carbono se elimina en forma de excrementos y el resto pasa a formar parte de los diferentes elementos estructurales del cuerpo de los organismos hasta que estos mueren.

c) Los materiales orgánicos. Estos materiales los aportan principalmente las raíces y restos de la parte aérea de las plantas, así como los excrementos y cuerpos muertos

de los diferentes organismos que intervienen en el ciclo. Son materiales poco estables, degradables de manera rápida por microorganismos, con lo que pierden cerca del 90% de su composición. El hecho de que se degraden rápidamente resulta en que estos materiales orgánicos representen un stock poco importante dentro del sistema.

d) La materia orgánica del suelo (MOS). Corresponde a los materiales orgánicos humificados. Presenta mayor estabilidad que la materia orgánica de la que proceden y representa un stock muy importante dentro del sistema. De hecho, es el principal reservorio terrestre de carbono orgánico. Así, se necesitan por lo menos 10 kg de materiales orgánicos para formar 1 kg de MOS, que a su vez fija 3,7 kg de CO_2 . Un 1% de MOS en el suelo representa 27 t MOS/ha, que son más de 90 t/ha de CO_2 secuestrado.

■ Factores que modifican los stocks de carbono del sistema

Hay una serie de factores que modifican el ciclo del carbono, y en especial la dinámica del carbono en el suelo, y que por tanto repercuten en el funcionamiento y capacidad de almacenaje de carbono del sistema.

• **Balance mineralización/humificación de los materiales orgánicos en el suelo.** El suelo es el componente con mayor capacidad de retención de carbono del sistema. Por ello, todos los factores que favorecen una mayor mineralización y pérdida de materia orgánica del suelo reducen el stock global de carbono del sistema. Entre ellos están los factores que regulan el balance entre mineralización y humificación de la materia vegetal y, en general, las diferentes intervenciones que reducen la materia orgánica del suelo.

• **Exportación de materiales orgánicos fuera del sistema (Figura 1).** Si una parte de los hidratos de carbono producidos por la planta se sacan del sistema (por ejemplo, por el aprovechamiento agrícola, ganadero o forestal), esto provoca una pérdida global del stock de carbono. Cuando esta exportación es pequeña, el sistema tiene capacidad de recuperarse de manera natural. Pero si la exportación es importante, se puede producir una pérdida global de carbono del sistema, especialmente en el suelo, que afecta al stock y a su actividad biológica y provoca un empobrecimiento progresivo del sistema.



Figura 1. La extracción de madera es una manera de exportar la materia orgánica fuera del sistema. Foto: MJ.Broncano.



Figura 2. Tractor esparciendo estiércol. Foto: José Cárceles, CC-BY-NC. (Fuente: Flickr).

- **Importación de materiales orgánicos externos al sistema.** El sistema de agricultura actual depende de la entrada de carbono externa ligada al uso del petróleo (**combustible y agroquímicos**), sin la cual el sistema no funcionaría. También se hacen entradas externas importantes a base de **purines (Figura 2)**. En ambos casos se trata de entradas externas costosas y que no representan ninguna mejora de la capacidad productiva del propio sistema (no alimentan la red trófica ni crean hábitat del suelo) ni del stock de carbono. En otros casos la importación de materiales orgánicos externos se hace con el objetivo de **incorporar materia orgánica para mejorar el hábitat y la alimentación** de la red trófica, aumentando el stock de carbono del suelo. Esta es la situación que se produce, por ejemplo, cuando se está haciendo una transición del sistema de agricultura convencional al regenerativo.

- **Perturbaciones.** Las perturbaciones normalmente representan una pérdida abrupta de carbono del sistema. El caso más claro son los incendios (**Figura 3**). Las emisiones brutas de carbono de **los incendios son enormes**, equivalen al 25% de las emisiones globales anuales de los combustibles fósiles. Los **impactos de otras perturbaciones** como las sequías extremas o las inundaciones sobre los stocks de carbono del sistema son menores, ya que la liberación directa de CO₂ es menor o se prolonga más en el tiempo.

■ Modelo de gestión y ciclo de carbono

La gestión agro-silvo-pastoral interviene sobre los sistemas naturales modificando el ciclo del carbono en sus diferentes fases: produciendo una **extracción de carbono** (aprovechamiento), modificando las condiciones



Figura 3. Estado del bosque después del incendio de 1994 en el Bages y Berguedà. Foto: Josep Maria Espelta / Javier Retana.

del retorno al suelo, la capacidad de almacenar carbono en el suelo, y haciendo una aportación de carbono externo al sistema (petróleo y agroquímicos). En general el modelo convencional provoca la salida y el retorno del carbono que no están conectados, y elimina los stocks más importantes: el suelo y los árboles de grandes dimensiones. **Un modelo regenerativo** debe conseguir que los aprovechamientos no afecten significativamente a los procesos biológicos del suelo y, por lo tanto, a su potencialidad productiva, al tiempo que reduce al máximo las aportaciones externas y **mantiene los principales stocks de carbono**.

El modelo agrícola regenerativo: los stocks de carbono y el cambio climático

Todas las plantas secuestran carbono en la fotosíntesis. Que el carbono secuestrado en este proceso tenga efecto en la reducción del CO₂ atmosférico dependerá del ciclo que éste siga y si pasa a formar parte de stocks más o menos estables. **El stock potencial de carbono más importante de los sistemas agrícolas es el suelo.** Un sistema agrícola, como el convencional, que destruye la estructura del suelo y favorece la mineralización de la materia orgánica del suelo, libera a la atmósfera el carbono que estaba retenido en el suelo y elimina el papel de reservorio de carbono que el suelo tiene en condiciones naturales. Además, este modelo consume una gran cantidad de petróleo ligado a la utilización de la maquinaria y los agroquímicos.

Una agricultura que preserva la estructura del suelo y alimenta la red trófica del suelo disminuye carbono de la atmósfera y lo introduce en el suelo, volviendo a convertirlo en un gran reservorio de carbono. De hecho, según el Rodale Institute, si gestionáramos todas las tierras de cultivo y pastos del mundo según el modelo de agricultura orgánica regenerativa, podríamos secuestrar más del 100% de las emisiones anuales actuales de CO₂.

El agua, el factor limitante de la productividad del sistema

El agua es el principal factor limitante en los ecosistemas terrestres. El aumento del contenido de materia orgánica del suelo ligado a un sistema regenerativo favorece que los suelos tengan mejor estructura, sean más porosos y presenten mayor infiltración, a la vez que garantizan un mayor almacenamiento de agua aprovechable por las plantas. En climas secos o estacionales, siempre que sea posible, es bueno disponer de sistemas que mejoren y aumenten el aporte de agua. Entre ellos, destacan el riego, los bancales, los sistemas de curvas de nivel o los pequeños embalses.



Figura 1. En los suelos sanos el contenido de materia orgánica es superior, así como la retención del agua asociada. Foto: Marc Gràcia.

■ El agua es el principal factor limitante en el medio terrestre

En los ecosistemas terrestres el principal factor limitante es el agua. No se distribuye por igual en todos los ecosistemas. Hay una relación directa y muy elevada entre el agua disponible en los **ecosistemas y la productividad** de los mismos: la falta de agua limita el crecimiento de las plantas e, indirectamente, de los animales en muchos ecosistemas, mientras que en los que hay mucha agua, la productividad es muy alta.

En general la agricultura convencional aumenta notablemente las **pérdidas de agua** debido al uso de la técnica de riego por inundación, la destrucción de la estructura del suelo y la mala selección de cultivos. Una gran parte de los acuíferos se están reduciendo considerablemente, ya que se está extrayendo agua a un ritmo que supera la capacidad de reabastecimiento de los mismos.

El mantenimiento de la cobertura y la estructura del suelo con mayor contenido de materia orgánica ligados a un **sistema de agricultura sostenible es la manera principal** de mejorar la infiltración y la capacidad de retención de agua en el suelo. El aumento de la materia orgánica en los suelos mejora sus características relacionadas con su capacidad para retener nutrientes y agua para las plantas. Así, cuando el contenido de materia orgánica de los suelos es mayor (**Figura 1**), éstos tienen mejor estructura, son más porosos

y presentan mayor infiltración, hecho que disminuye el volumen del agua de escorrentía y el riesgo de erosión. Además, la fracción orgánica del suelo es altamente hidrófila, **es capaz de retener entre 4 y 6 veces más agua** que su propio peso, garantizando por tanto un buen almacenamiento de humedad aprovechable para las plantas.

■ Sistemas de aporte adicional de agua

En climas secos, en climas estacionales durante el verano o en zonas de uso intensivo como la huerta, el agua sigue siendo un factor limitante para la producción agrícola, aunque las condiciones del suelo en cuanto a contenido de materia orgánica sean adecuadas. Por ello, siempre que sea posible, es bueno disponer de sistemas que mejoren y aumenten el aporte de agua. Este aporte debería respetar los principios de funcionamiento del suelo para aumentar el potencial productivo delimitado por las condiciones climáticas de cada zona.

• **Riego.** La posibilidad de regar viene **condicionada por la disponibilidad de agua y el coste de su aplicación** (inversión de puesta en marcha y coste de funcionamiento) (**Figura 2**). Existen hoy en día tecnologías interesantes para mejorar la eficiencia de su uso. Siempre debe tenerse en cuenta la

calidad del agua que se va a utilizar, y el impacto que su uso pueda tener sobre la fuente de agua, ya que si se agota el recurso la inversión se perderá.

- **Bancales.** Este es el sistema tradicional en zonas de montaña (**Figura 3**). Los bancales mejoran la infiltración del agua y la profundidad del suelo en **laderas con pendientes elevadas**. Tradicionalmente las terrazas se han sujetado por muros de piedra. En los lugares donde todavía se mantienen en pie estos muros es conveniente su conservación, ya que su pérdida puede producir cárcavas y fenómenos de erosión. **La construcción de terrazas** nuevas de piedra es muy cara y normalmente no se puede llevar a cabo.

- **Sistemas de retención de la escorrentía siguiendo curvas de nivel.** Existen sistemas que cuestan menos de hacer que las terrazas para frenar el movimiento del agua y facilitar su infiltración. En cada sitio pueden utilizarse técnicas variadas adaptadas al lugar. Una opción es **crear pequeñas barreras** siguiendo curvas de nivel utilizando troncos y restos de materiales del aprovechamiento del bosque. El sistema en Línea Clave (**Keyline** en inglés) propone un sistema muy completo para el diseño de paisajes a fin de distribuir **el agua de forma homogénea** y convertir el sistema en un gran almacén de agua que se distribuye por las líneas-clave según la topografía del terreno.

- **Sistemas de pequeños embalses para la recogida del agua de lluvia en las partes altas del terreno.** Este sistema requiere una importante planificación y un diseño previo. Existen muchos ejemplos de construcción de pequeños embalses de recogida del agua de lluvia de coste relativamente bajo con diques de tierra. **Requieren de un sistema de extracción de agua y canales de distribución.** Estos sistemas representan una manera de crear reservas de agua que se podrán utilizar para su uso aguas abajo. Para muchas zonas con problemas de agua, éste puede ser un sistema importante.



Figura 2. Riego con aspersores. Foto: CC0.



Figura 3. Bancales sujetos por muros de piedra. Foto: Parc Natural dels Ports, licencia de distribución bajo CC BY-ND 2.0.

El modelo productivo regenerativo optimiza el uso del agua

La agricultura convencional se basa en el laboreo del suelo que rompe su estructura y cualquier cubierta vegetal. A su vez **provoca el desperdicio de agua** debido a que los suelos en este tipo de agricultura no tienen capacidad de retención. Como resultado de este tipo de agricultura, los recursos acuíferos se agotan y se produce una sobreexplotación al extraer el agua a un ritmo que supera la capacidad de su reabastecimiento.

En cambio, **la agricultura regenerativa protege las fuentes de agua** y disminuye la necesidad de éstas. Este tipo de agricultura, en contraposición a la convencional, se basa en el mantenimiento de la estructura del suelo y por tanto de la capa de humus. **El humus mejora el ciclo del agua** a pequeña y gran escala. El humus determina la capacidad de infiltración del agua, la recarga de los acuíferos y la prevención de inundaciones y sequías. El agua almacenada en el humus es transportada hasta las capas más profundas del suelo y finalmente a los acuíferos. Un suelo rico en humus puede llegar a absorber 150 l/m² en una hora, que serán distribuidos como un sistema de esponjas. Esta capacidad de absorber el agua permite mitigar el efecto de las inundaciones y la erosión por fuertes lluvias.

La **cobertura permanente del suelo** es otra de las características de la agricultura regenerativa ya que protege de la erosión por viento y por agua. La cobertura vegetal previene además de la evaporación excesiva del agua del suelo, al ejercer un papel regulador de su temperatura y hacer disminuir la pérdida de agua por evaporación.

Indicadores del estado de salud del suelo

Una serie de indicadores cualitativos, que no requieren análisis de laboratorio, permiten apreciar de manera rápida, y sobre el terreno, el estado de salud del suelo. Estos indicadores se pueden agrupar en tres tipos: a) a partir del análisis visual de un corte del terreno (identificando material orgánico, raíces, materia orgánica del suelo, macrofauna, agregados y poros); b) indicadores mediante pruebas físicas (penetrabilidad, infiltración, estabilidad de los agregados); y c) a través del olor del suelo.

■ Indicadores para monitorear la calidad de los suelos

Existen gran cantidad de indicadores para monitorear la calidad de los suelos y los cambios que se producen en ellos. Entre ellos hay indicadores de las **propiedades físicas del suelo**, como la profundidad, la textura, el potencial de infiltración o la capacidad de retención de agua. Otros son **indicadores químicos**, como el contenido de materia orgánica o carbono, el pH o la conductividad eléctrica. Finalmente, también hay **indicadores biológicos**, como la biomasa microbiana, la respiración o, más recientemente, la biodiversidad del suelo. Sin embargo, todos ellos requieren recogida de muestras y análisis de laboratorio más o menos complejos. La manera de interpretarlos y la metodología para medirlos están ampliamente descritos en cualquier manual de edafología.

Sin embargo, hay otros indicadores que no requieren análisis de laboratorio y que permiten apreciar de manera rápida sobre el terreno el estado de salud del suelo. Aunque en su mayoría son **indicadores cualitativos** que no permiten hacer determinadas comparaciones, sí permiten cumplir el objetivo de **identificar de manera rápida posibles problemas en el suelo**, y así como tener una referencia para hacer un seguimiento del cambio en el suelo de una parcela determinada a lo largo del tiempo. Podemos agrupar estos indicadores en tres grupos: indicadores a partir del análisis visual de un corte del terreno, indicadores mediante pruebas físicas, e indicadores de olor del suelo.

■ Análisis visual de un corte del terreno

Algunos indicadores se pueden obtener directamente del análisis visual de un corte del terreno (**Figura 1**). Para ello se hace un hoyo cavado en el terreno o, de manera más rápida, se saca una **muestra de suelo de los primeros 10-15 cm** con una navaja o una pala. Los elementos que se pueden observar visualmente son los siguientes:

- **Cobertura de material orgánico seco.** Se mira en la superficie del suelo la cobertura de materia orgánica seca. Un equilibrio entre una buena cobertura y un cierto grado de descomposición de la materia orgánica es indicador de un suelo sano.
- **Abundancia de raíces.** Las raíces crecen en todas direcciones, la densidad de raíces es señal de un suelo sano. Al mismo tiempo, en las plantas con raíces pivotantes,



Figura 1. Corte del terreno de un suelo sano. Foto: Marc Gràcia.

el hecho de que las raíces principales crezcan verticales hacia abajo es señal de que no existe una capa horizontal impermeable consecuencia del laboreo.

- **Color oscuro de la materia orgánica del suelo.** En un suelo bien estructurado suele apreciarse un gradiente que empieza con un color más oscuro en la superficie y va disminuyendo en profundidad. Dependiendo del tipo de suelo, en los suelos bien estructurados la parte superior podría tener una capa de humus más oscura.

- **Macroorganismos del suelo.** Se trata de identificar macroorganismos del suelo, que pueden ser artrópodos u otros grupos (con la humedad adecuada del suelo y si la muestra es suficiente grande deberían encontrarse lombrices). Es más fácil que se vean bajo la cubierta de material orgánico, y un buen número de ellos es señal de un suelo sano.



Figura 2. Elementos para hacer la prueba de infiltración.
Foto: Marc Gràcia.

- **Agregados y poros.** Observando de cerca una muestra en la mano se observan agregados de diferentes tamaños. Un suelo sin agregados y con una estructura amorfa es un suelo sin poros y con muy poca aireación, lo que impide el movimiento y la vida de los componentes de la cadena trófica.

■ Pruebas físicas del suelo

Existen pruebas físicas sencillas que nos dan buenas indicaciones sobre la salud del suelo. Con estas pruebas podemos observar cómo cambia conforme se van tomando medidas para mejorarlos.

- **Penetrabilidad.** En esta prueba se clava un cuchillo o machete para comprobar la resistencia que ofrece el suelo. Debe hacerse en condiciones de un mínimo de humedad. El machete marca el límite a partir del cual se hace difícil clavar. En un suelo sano debería ser fácil clavar el cuchillo hasta más de 15 cm.
- **Infiltración.** Para hacer esta prueba se clava en el suelo un anillo metálico alto (puede ser una lata abierta por los dos extremos) a una profundidad de 3-5. Se llena el anillo con una cantidad de agua fijada y se mira el tiempo que tarda en infiltrarse, si tarda poco tiempo se considera que el suelo tiene una buena infiltración (**Figura 2**).
- **Estabilidad de los agregados.** Se coge una muestra de la capa superior del suelo. Se deja al aire para que se seque. Una vez seca se sumerge en un bote de cristal lleno de



Figura 3. Muestras de suelo seco de un campo agrícola cultivado de manera regenerativa (izquierda) y un campo agrícola convencional (derecha) sumergidas en agua. Foto: MJ. Broncano.

agua y se observa el tiempo que tardan en deshacerse los agregados. Cuando los agregados se deshacen la muestra de tierra se convierte en una capa homogénea en el fondo del bote. Si los agregados son poco estables, en menos de 5 minutos se habrán deshecho. Si los agregados son estables y, por tanto, el suelo está sano, pueden mantenerse varios días antes de deshacerse (**Figura 3**).

■ Olor del suelo

El olor nos aporta una información valiosa sobre el estado del suelo. Para poder apreciar el olor, el suelo debe tener un mínimo de humedad. Si el suelo está muy seco, antes de olerlo se debe coger una muestra, humedecerla con agua y esperar un rato a que se homogenice.

- **Olor dulce con distintivo aroma a tierra de geosmina.** La geosmina es una sustancia química producida por algunas bacterias y hongos que se hallan en el suelo. Esta sustancia es perceptible cuando el suelo se humedece y es indicadora de un suelo sano. Es el olor característico de humus de bosque.
- **Olor a huevos podridos.** Este olor denota un suelo dominado por organismos anaeróbicos. Un suelo sano debe ser aeróbico.
- **Olor metálico.** Este olor indica un suelo desequilibrado dominado por bacterias.
- **Sin olor.** Cuando un suelo no tiene olor es que es un suelo muy seco o con muy poca actividad de organismos.

El modelo productivo regenerativo recupera el contacto con el suelo

Un suelo saludable es el que permite que las plantas crezcan a su máxima productividad, sin enfermedades ni plagas y sin la necesidad de suplementos externos. Lo más importante para saber cómo funciona un suelo es recuperar el contacto con el mismo. Muchos agricultores trabajan desde lo alto del tractor, han perdido el contacto con el suelo.

Esta ficha destaca la importancia del suelo y pretende ser una guía sobre cuáles son los indicadores que nos permiten saber el estado y la evolución de su salud.

Análisis de un sistema productivo desde una perspectiva regenerativa

Los elementos del sistema productivo sobre los que se puede intervenir y que son la base para un Modelo Productivo Regenerativo son: 1) la diversidad de plantas; 2) el retorno de los materiales vegetales al suelo; 3) las intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo; 4) el funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono; y 5) el agua como factor limitante de la productividad del sistema. El conocimiento de estos elementos y sus principales componentes permite evaluar cómo funciona cada sistema y que intervenciones pueden ayudar a mejorarlo.

■ Bases para un modelo productivo regenerativo

Un modelo de agricultura sostenible que garantice la **soberanía alimentaria**, debe basarse en **alimentar el suelo y mejorar el hábitat para la red trófica**. Son cinco los elementos del sistema productivo sobre los que se puede intervenir y que se deben considerar en cada situación concreta: 1) la diversidad de plantas; 2) el retorno de los materiales vegetales al suelo; 3) las intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo; 4) el funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono; y 5) el agua como factor limitante de la productividad del sistema. El conocimiento de estos elementos y sus principales componentes (**Figura 1**), junto con el análisis de los indicadores del estado de salud del suelo, permiten evaluar cómo está funcionando el sistema y cuáles son las intervenciones que pueden ayudar a mejorarlo de la manera más eficiente.

(1) La diversidad de plantas. La primera pregunta que debemos plantearnos es si es posible aumentar la producción

del sistema y su actividad biológica (inevitablemente relacionados) mediante el aumento de la diversidad vegetal, tanto en términos espaciales como temporales. Para ello, es muy importante conocer las características de crecimiento de los elementos principales de nuestro sistema (árboles, plantas de pasto, vegetales de extensivo, vegetales de intensivo y frutales), y, si es posible, combinarlos en el espacio (**policultivos, agroforestería**) o el tiempo (**rotaciones de cultivos**) a fin de mejorar la producción del sistema y la actividad biológica del suelo (**Figura 2**).

(2) El retorno de los materiales vegetales al suelo. El retorno de materiales vegetales al suelo es una característica del sistema productivo y del tipo de manejo. Es uno de los aspectos que hay que cambiar cuando se pretende modificar el modelo productivo. Lo que se busca es un retorno de materiales vegetales (en forma directa, de excrementos o compost) que ayuden a proteger el suelo y a la formación de una capa de humus, y finalmente nutran a la planta.

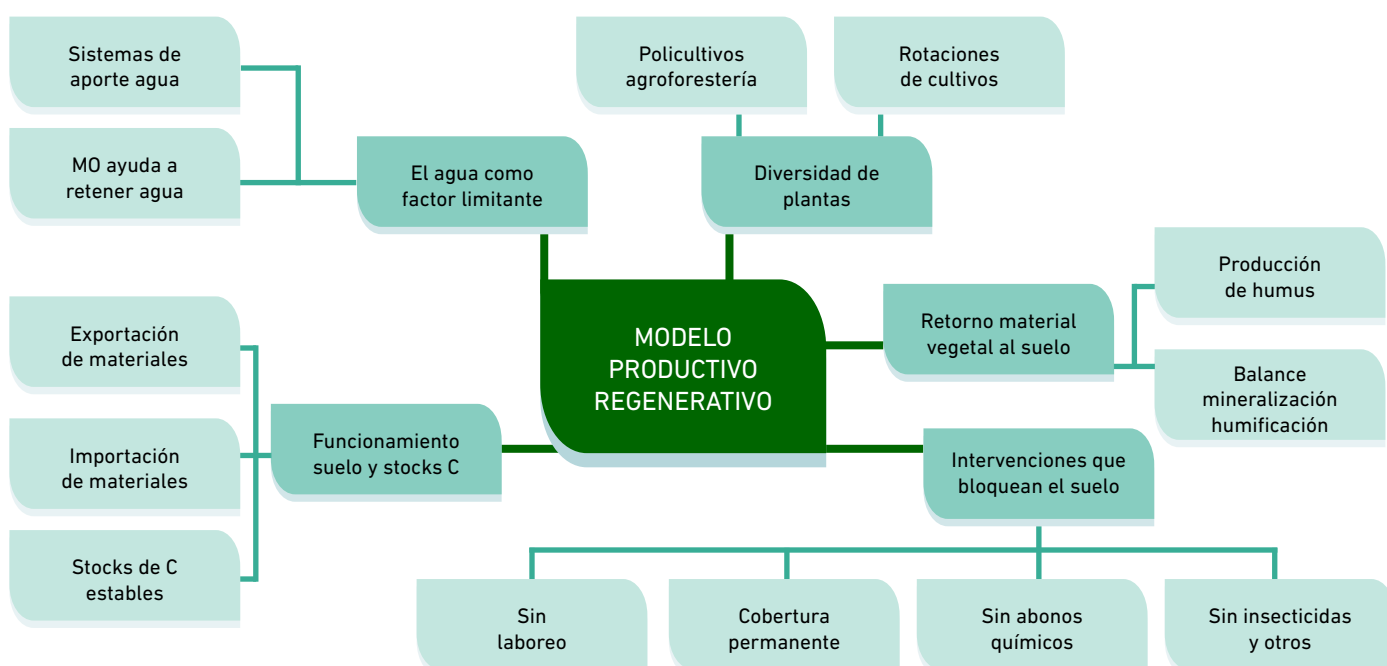


Figura 1. Esquema de los cinco principales elementos del Modelo Productivo Regenerativo y los componentes más importantes de cada uno de ellos que se deben analizar para evaluar cómo está funcionando el modelo.



Figura 2. Imagen de un campo de policultivo orgánico en Planeses, La Garrtxa (A) y un campo con monocultivo de cereal (B). Foto: MJ. Broncano.

Es necesario conocer los factores que regulan el **balance entre mineralización y humificación** de los materiales aportados para poder priorizar el proceso que interese más en cada momento. El objetivo es que esto se pueda conseguir cerrando el ciclo sobre el propio terreno (un ejemplo claro sería el pastoreo), sin necesidad de traer materiales externos ni tener que hacer transformaciones que nos hagan gastar tiempo y energía. En algunos casos, como la producción vegetal intensiva (huerta), es necesario el aporte de materiales externos transformados (diferentes tipos de compost). En este caso la inversión es asumible porque es un uso que ocupa una parte muy pequeña del territorio. También es necesario aportar materiales externos en situaciones en las que se tiene que **restaurar un sistema degradado** y el aporte de materia orgánica es el elemento principal.

(3) Las intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo. Algunas de las técnicas que emplea la agricultura convencional afectan negativamente a la red trófica del suelo, hasta el punto de destruir su hábitat. Por ello, **el modelo de agricultura regenerativa incluye** eliminar el laboreo, reducir al máximo el suelo desnudo, evitar la compactación del terreno y el uso de abonos químicos, insecticidas, fungicidas y herbicidas. Para la producción vegetal extensiva es necesario el uso de maquinaria para la siembra y la cosecha. El uso de maquinaria pesada puede provocar una compactación del terreno, por lo que se debe hacer de la manera y en el momento en que el impacto sea el menor posible. Cuando vamos a trabajar tierras que vienen del sistema productivo convencional, se ha de tener en cuenta que los impactos de la gestión pasada se pueden mantener en el suelo durante un tiempo más o menos largo (que podría alargarse más de 5 años), de manera que se ha de actuar activamente para recuperar la salud del suelo.

(4) El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono. El balance de entradas y salidas de materiales orgánicos define la sostenibilidad del sistema. Un sistema productivo siempre tendrá salidas, pero la gestión eficiente ha de conseguir que las salidas ligadas a los aprovechamientos no representen una reducción de los stocks del sistema (sobre todo de los stocks del suelo), y que sean compensados por la propia productividad del mismo. Cuando se pasa de

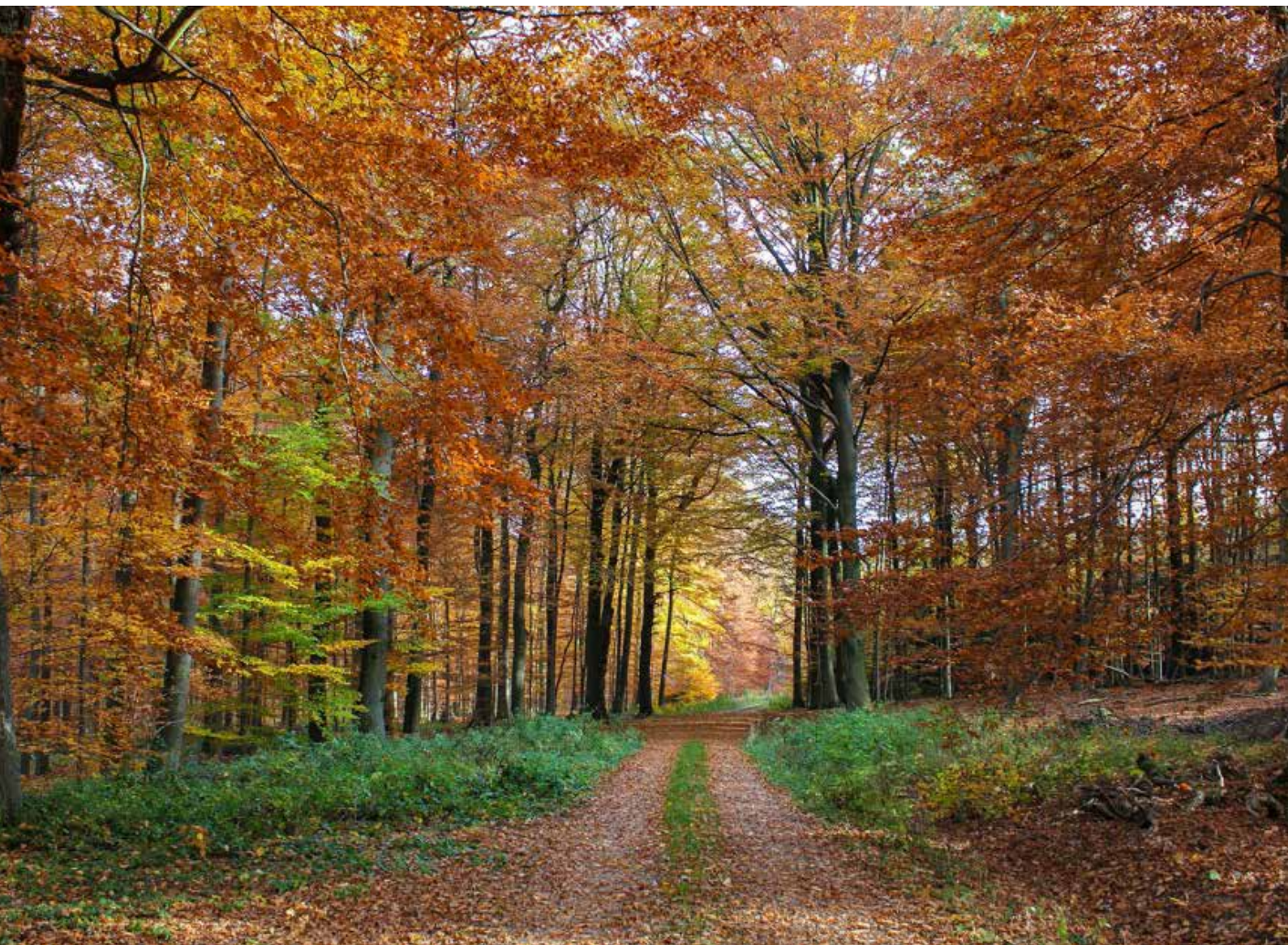
El modelo productivo regenerativo: costes económicos del cambio de modelo

El modelo de producción basado en la alimentación natural de la planta aprovecha los recursos de la zona y el funcionamiento de los procesos naturales. Este modelo **tiene un coste de funcionamiento mucho más bajo que el modelo convencional**. Pero cualquier cambio **requiere una inversión inicial**. Esta inversión se concreta, principalmente, en **introducir materia orgánica en el suelo para alimentar la cadena trófica y restaurar el hábitat necesario para su funcionamiento**. Es un periodo de tiempo en que eliminamos los factores de producción externos (laboreo y agroquímicos), pero en el que el sistema todavía no tiene sus factores de producción internos funcionando (ya que los está construyendo).

Esto puede causar una reducción temporal de la producción. Este periodo puede desarrollarse o bien con una baja inversión pero en un tiempo más largo, o bien con una inversión más elevada, haciendo aportaciones externas de materia orgánica, que reducirán el tiempo necesario para que el sistema empiece a funcionar de manera eficiente. En cualquier caso, esta transición requiere una inversión que puede cuantificarse en dinero, tiempo y conocimiento. Estos tres ámbitos funcionan como vasos comunicantes y en parte pueden compensarse entre ellos. Así, **el conocimiento de experiencias que ya estén funcionando puede ahorrar mucho tiempo y dinero al agricultor que quiere iniciar el cambio**. Por ello, es muy importante difundir las experiencias que ya están en marcha, entre ellas, el sistema Polyfarming.

una gestión con el sistema productivo convencional a un **sistema basado en la alimentación natural de la planta**, estamos aumentando el stock de carbono del suelo y eliminando carbono de la atmósfera. Normalmente se utiliza la producción del propio sistema, aunque en determinadas ocasiones puede ser necesario importar carbono externo al mismo. Cuando se realicen entradas de carbono externas, deben valorarse los costes y el impacto ambiental que tiene la extracción del carbono en el lugar de origen.

(5) El agua como factor limitante de la productividad del sistema. El aumento del contenido de materia orgánica del suelo, resultado del modelo productivo regenerativo, mejora los suelos y ayuda a mantener en el sistema una gran cantidad de agua adicional. Siempre que sea posible, es bueno disponer de sistemas que mejoren y aumenten el aporte de agua. Además de hacer un análisis económico de lo que puede representar conseguir este agua adicional, **es muy importante estudiar la disponibilidad** a corto/medio/largo plazo de este recurso, teniendo en cuenta las condiciones climáticas (tanto las actuales como las previsiones ligadas al cambio climático) de nuestro terreno.





Bases de un sistema de producción regenerativo

Gestión del bosque desde una perspectiva productiva regenerativa

- Objetivos de la gestión forestal.
- Elementos de madurez del bosque para el mantenimiento de la biodiversidad forestal.
- Características de las especies arbóreas.
- Crecimiento del árbol y desarrollo de la copa.
- Regeneración del bosque.
- Estructura del bosque: crecimiento colectivo frente a crecimiento individual.
- Productos del bosque.
- Análisis del bosque como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa.

Objetivos de la gestión forestal

El bosque es el elemento principal del territorio en las regiones de montaña mediterránea. La gestión forestal se basa en mejorar al menos uno de los siguientes aspectos del bosque: el modelo de combustible, la biodiversidad, la calidad de la madera y la estabilidad del bosque. Todos estos objetivos tienen características comunes que son la reducción de la densidad de pies y la formación de árboles con diámetro de tronco y de copa mayores.

Objetivos de la gestión forestal

En muchas zonas mediterráneas de montaña, el bosque es el elemento principal del territorio y fuente potencial de recursos. En el momento de aplicación de una corta hay dos preguntas fundamentales que el cortador debe responder: 1) ¿cuántos árboles debo cortar?; 2) ¿cuáles son los árboles que cortar (o los árboles que no se cortan)? La respuesta a estas preguntas depende principalmente de **cuáles son los objetivos de la intervención**. Estos objetivos deben concretarse en la mejora de al menos uno de los siguientes cuatro aspectos del bosque: el modelo de combustible, la biodiversidad, la calidad de la madera y la estabilidad del bosque.

- (i) **Mejora del modelo de combustible.** El objetivo es **reducir la vulnerabilidad del bosque a los incendios**. Para el análisis de esta vulnerabilidad es necesario definir el tipo de estrato de vegetación o combustible que caracterizan la estructura de una parcela de bosque: a) **combustible aéreo**, formado por las copas de los árboles dominantes o co-dominantes; b) **combustible de escala**, que no forma parte de la copa e incluye árboles pequeños o arbustos; c) **combustible de superficie**, que no tiene más de 1.5 m y está formado por arbustos, hierbas y restos muertos. El objetivo es crear estructuras en las que el fuego se propague por el combustible de superficie pero que limiten el paso del fuego a las copas. Esto hace que la mortalidad de árboles en caso de incendio sea más baja. Esta mortalidad será todavía inferior para los árboles con diámetros más grandes. La intervención más importante para conseguir este objetivo es el **aclareo general de la masa**, así como la **selección de rebrotes** dentro del mismo individuo para especies rebrotadoras. Esta intervención reduce el riesgo de subida del fuego al dosel de copas y favorece la formación de árboles de mayores diámetros y, por lo tanto, más resistentes

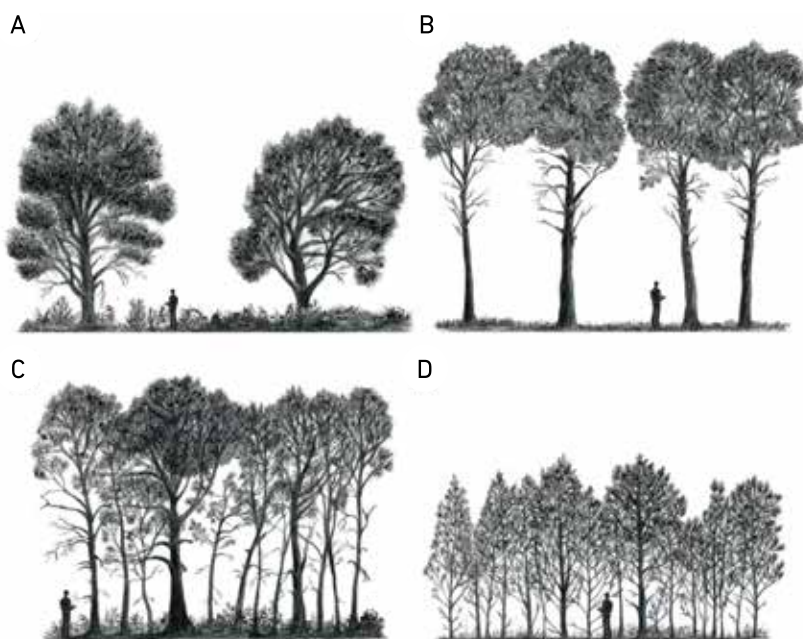


Figura 1. Ejemplo de tipos estructurales de bosques de *Pinus halepensis* según su vulnerabilidad a generar fuegos de copas: baja (A, B) o alta (C, D). Crédito: Patterns of fuel types and crown fire potential in *Pinus halepensis* forests in the Western Mediterranean Basin. Alvarez et al. (2012). Ilustración: José Luis Ordóñez.

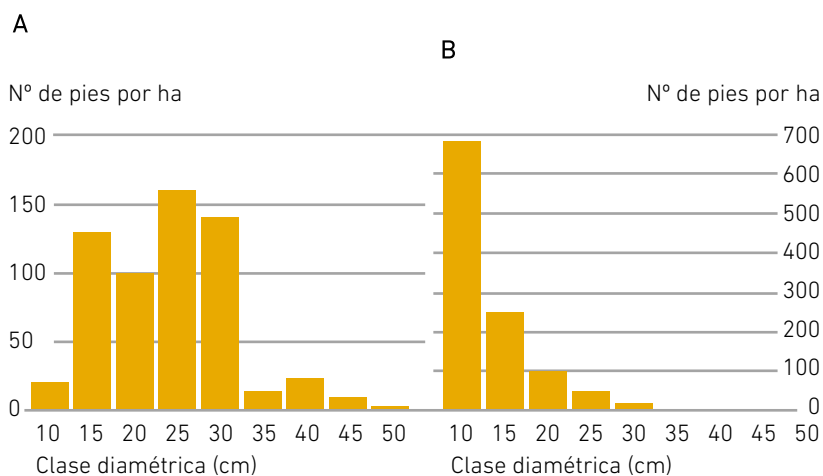


Figura 2. Ejemplos de distribución de diámetros de dos parcelas muy contrastadas: **A)** parcela con presencia significativa de árboles grandes; y **B)** parcela típica del bosque mediterráneo, con muchos árboles pequeños y muy escasa presencia de árboles grandes. Para cada clase diamétrica se indica el número total de árboles por hectárea.



Figura 3. Bosque de pinos bien formados, L'Espà, Berguedà. Foto: Lluís Comas/Carles Battles.

al fuego. En la **Figura 1** se muestran ejemplos de estructuras con **diferentes grados de vulnerabilidad frente a los incendios**.

- (ii) **Mejora de la biodiversidad.** En los bosques mediterráneos hay en general una gran falta de pies de grandes dimensiones, pies viejos y pies senescentes, necesarios para mejorar la riqueza y abundancia de fauna asociada a sus cavidades (pájaros, mamíferos, ...). En general este tipo de árboles, de interés para la conservación de la biodiversidad, son muy escasos en los bosques mediterráneos y deben priorizarse respecto a los árboles de producción sin que esto represente un riesgo de pérdida de producción de calidad. En la **Figura 2B** se presenta un ejemplo de distribución de diámetros de una parcela con interés para la fauna: su característica diferencial es la presencia de árboles cuyo diámetro es superior a 30 cm. La **Figura 2A** representa una parcela mucho más frecuente, con gran cantidad de árboles jóvenes y ausencia de árboles de más de 30 cm.

- (iii) **Mejora de la calidad de la madera (a largo plazo).** Este objetivo trata de conseguir árboles de grandes dimensiones con **troncos bien formados** (rectos, cilíndricos y con pocas ramas), que permitan obtener madera de calidad (**Figura 3**). Esta característica de forma es opuesta a las características buscadas en el objetivo de conservación de la biodiversidad que prioriza árboles con formas más irregulares y la presencia de diferentes tipos de cavidades.

- (iv) **Mejora de la estabilidad del bosque, la resistencia a las enfermedades y la sequía.** La presencia de copas bien desarrolladas es uno de los indicadores de salud más importantes del árbol. Estas copas bien desarrolladas se obtienen normalmente disminuyendo la densidad de individuos o de pies por individuo. En muchos casos, la respuesta a enfermedades o perturbaciones como la sequía se relaciona con esta mayor o menor presencia de árboles en el bosque.

Así, hay muchos ejemplos de que la resistencia a la sequía aumenta en los encinares aclarados con menores densidades de rebrote en relación con el mismo tipo de bosque sin aclarar (**Figura 4**).

Las características comunes de estos objetivos son la **reducción de la densidad de pies** (o de rebrotes en especies rebrotadoras), y el favorecimiento de la formación de árboles con **diámetro de tronco mayor** y con **diámetro de copa más grande** (variables que, por otro lado, están directamente relacionadas).

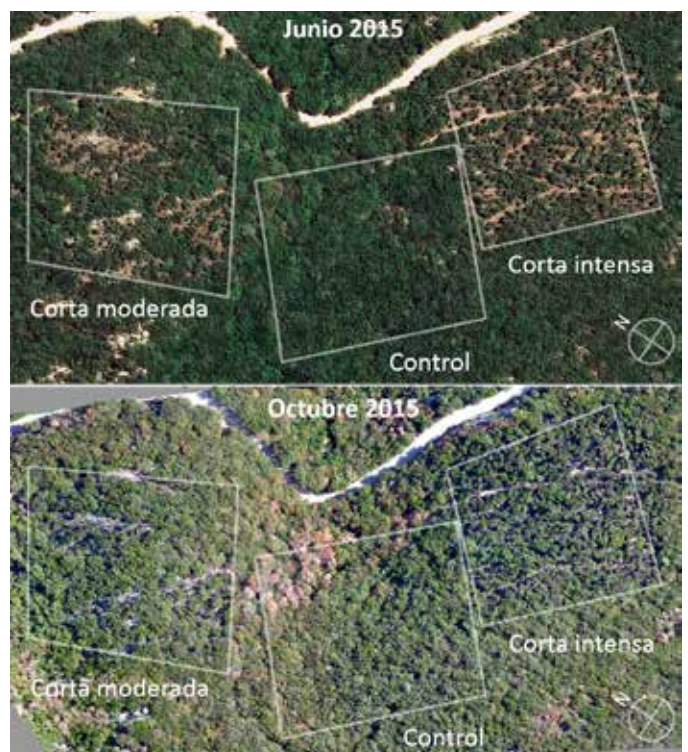


Figura 4. Resultado de tres tratamientos de gestión forestal en un encinar durante un período de sequía extrema en el verano de 2015 en Requesens (La Junquera, Girona). El bosque control que no se cortó y por tanto tenía una densidad de árboles mayor es el que resistió peor la sequía, con un 10% de árboles afectados o secos. Imágenes: Eduard Pla sobre una base de imágenes del ICGC.

Elementos de madurez del bosque para el mantenimiento de la biodiversidad forestal

En ausencia de perturbaciones, los árboles dominantes del bosque llegan a una fase de senescencia y acaban muriendo. La madera muerta que se genera tiene un papel muy importante en el ciclo del carbono y en el mantenimiento de la biodiversidad forestal. Por ello, en los bosques gestionados también son muy importantes una serie de elementos de madurez ligados a la edad, como son árboles senescentes, árboles muertos en pie y madera muerta en diferentes grados de descomposición en el suelo, que pueden producir alimento o hábitat a múltiples organismos.

■ La dinámica natural de los bosques y el papel de la madera muerta

En ausencia de perturbaciones y sin aprovechamiento forestal, las condiciones del bosque están controladas por árboles dominantes de edad avanzada. A medida que pasa el tiempo algunos de **estos árboles llegan a una fase de senescencia y mueren** de forma natural, dejando libre el espacio donde se desarrollará la nueva regeneración. Este proceso sigue una dinámica interna ligada a fases de degradación y reconstrucción formando un mosaico donde alternan en el espacio y el tiempo árboles grandes y claros con árboles jóvenes en diferentes fases de desarrollo.

Cuando mueren estos árboles grandes, la madera muerta se acaba incorporando al suelo después de un proceso de descomposición que, dependiendo de las condiciones ambientales, puede ser corto (como sucede en los climas tropicales, con abundante agua y temperaturas elevadas) o muy largo (como sucede en los climas fríos, donde las bajas temperaturas retrasan la descomposición). En cualquier caso, **esta madera muerta juega un papel muy importante en el ciclo del carbono** y en el mantenimiento de la biodiversidad, que incluye a los organismos que participan en la descomposición de la madera y los que dependen de ella como hábitat o fuente de alimentación. Aunque este papel es difícil de cuantificar, hay un consenso de que **la madera muerta es uno de los elementos más importantes para el mantenimiento de la biodiversidad (Figura 1)**. Así, en una zona de alto valor de conservación situada en el Pirineo, se ha constatado que **una gran parte de este valor está ligado a la madera muerta**: un tercio de los hongos son descomponedores de madera, hay 465 especies de coleópteros saprófitos que en muchos casos son especies patrimoniales (ya sea especies endémicas o bien especies protegidas a nivel europeo), y aproximadamente una cuarta parte de los mamíferos y una quinta parte de las aves nidificantes utilizan las cavidades de los troncos muertos (Figura 2).

La dinámica de los bosques naturales se conoce sobre todo a partir de estudios de bosques boreales del centro-norte de Europa y, en especial, Norteamérica, mientras que en la región mediterránea existen pocos ejemplos de bosques que hayan pasado un tiempo largo sin aprovechamiento ni perturbaciones



Figura 1. Imágenes de las tipologías de epífitas: varias especies de líquenes (arriba), y cormófitos, musgos y hongos saprófitos (abajo y de izquierda a derecha). Fotos: Lluís Comas/Carles Batlles.



Figura 2. Imágenes de diversos tipos de cavidades (de izquierda a derecha): grieta, alimentación, cría, insectos, de base y rama en el tronco. Fotos: Lluís Comas/Carles Batlles.

naturales. **En el Mediterráneo**, el aprovechamiento antiguo e intenso de los bosques, la presión de la agricultura y los incendios han hecho que muy pocas veces se encuentren bosques con estos elementos de madurez, ya que **los árboles normalmente no llegan a la fase de senescencia y muerte natural**. Por ello, es absolutamente conveniente mantener en los bosques gestionados una serie de elementos de madurez que garanticen los diferentes procesos y permitan mantener la biodiversidad forestal.

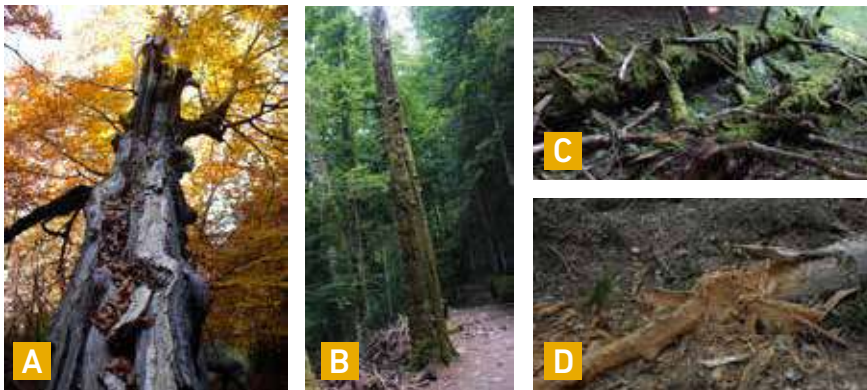


Figura 3. A) Árboles senescentes, Gresolet (Berguedà). Foto: Lluís Comas/Carles Batlles; B) Árbol muerto en pie, foto: Javier Retana; C) Madera muerta poco descompuesta, foto: Lluís Comas/Carles Batlles; D) Madera muerta muy descompuesta, foto: Javier Retana.

hasta madera muy descompuesta, blanda o esponjosa, que prácticamente se deshace al tocarla (Figura 3C, D). Además de los troncos y ramas caídos y de los tocones, también **es importante la presencia de pilas de troncos y ramas procedentes de la corta**. En este sustrato viven muchos animales y hongos, es una reserva de legados (esporas, semillas, huevo insectos)

que ayudarán a la regeneración después de perturbaciones y, además, es un reservorio importante de agua.

■ Elementos de madurez del bosque

Los elementos de madurez del bosque más característicos están ligados a la edad (y en menor medida al tamaño) de los árboles, y representan una fuente de alimento o hábitat para múltiples organismos.

- Árboles **de edad avanzada, maduros y senescentes**. Los **árboles de gran tamaño** (>40-50 cm de diámetro) y edad avanzada (a partir de 150 años) tienen una densidad en el bosque que no supera los 10-15 pies por ha como máximo (Figura 3A). Se caracterizan por la forma de la **copa asimétrica** y con **agujeros** que hacen que ésta se vaya haciendo menos densa, troncos relativamente largos **libres de ramas bajas** (es decir, árboles de bosque en oposición a árboles de espacios abiertos), **ramas largas y gruesas** incluso en la parte alta, **cortezas profundamente arrugadas y viejas**, signos de decaimiento por corazón podrido, estructuras de **raíces grandes y prominentes**, entre otros. Estos árboles tienen muchas cavidades que sirven de refugio para insectos, pájaros y mamíferos; también tienen asociados complejos de hongos y otros organismos distintos a los de los árboles más jóvenes.
- Árboles muertos **de grandes dimensiones en pie**. Cuando estos árboles de edad avanzada mueren, algunos permanecen en pie durante mucho tiempo (Figura 3B). Así, en climas fríos, los árboles muertos pueden durar en pie tantos años como vivos. Estos árboles muertos en pie **pueden llegar a densidades de 30 a 70 pies por ha en bosques de Norteamérica**, pero en los bosques españoles esta densidad se encuentra en muy pocos rodales. De nuevo, estos troncos **tienen múltiples cavidades** donde viven muchas especies de animales, principalmente insectos, y son reservorio de hongos, musgos y líquenes.

- **Madera muerta en diferentes grados de descomposición en el suelo**. La madera muerta en el suelo es, tal vez, **la variable más característica de los bosques de dinámica natural** en comparación con los bosques gestionados. Esta madera puede encontrarse en todos los estadios de descomposición, desde madera de árboles que han muerto recientemente y todavía está dura y con poco grado de descomposición,

■ Especies que se alimentan de madera muerta versus especies plaga

El mantenimiento de una parte de la madera muerta en los bosques gestionados es uno de los cambios más importantes que se ha obtenido del conocimiento del funcionamiento de los bosques de dinámica natural. Tradicionalmente la gestión ha eliminado de manera sistemática (y muchas veces exhaustiva) la madera muerta del bosque por considerarla como un elemento improductivo y foco de plagas. Sin embargo, ahora sabemos que las **plagas de insectos forestales (Figura 4A) se encuentran ligadas obligatoriamente a los árboles vivos**. Estas especies plaga se pueden clasificar en plagas primarias y secundarias según su capacidad para colonizar respectivamente árboles vigorosos o árboles débiles, pero siempre se alimentan de los tejidos vivos. Una vez el árbol muere, estas especies plaga lo abandonan y **dejan su lugar a insectos saprofitos, (Figura 4B)** que se alimentan del árbol desde que muere hasta que queda reducido al estado de materia orgánica descompuesta. Estos insectos pertenecen a familias muy numerosas y cuentan con miles de especies, todas ellas incapaces de atacar los tejidos vivos. Por ello, **los árboles muertos no presentan ningún problema para el bosque**. Al contrario, diferentes estudios parecen mostrar que en ellos encontramos un séquito importante de parasitoides y depredadores que ejercen un cierto control de las poblaciones de plagas forestales.

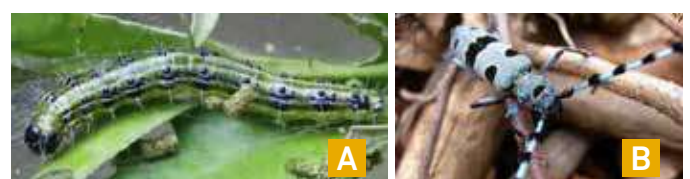


Figura 4. A) Oruga del boj (*Cydalima perspectalis*), ejemplo de plaga. Foto: Emili Bassols; B) *Rosalía alpina*, ejemplo de especie saprofítica. Foto: Lluís Comas/Carles Batlles.

Características de las especies arbóreas

Los árboles presentan formas y crecimientos distintos en función de la especie a la que pertenecen. La especie determina el crecimiento, la dureza de la madera, la estructura radicular, la longevidad, o el tipo de regeneración. A su vez, cada especie responde de manera diferente a las condiciones del medio y, por ello, solo vive en determinados ambientes, con características de temperatura, humedad, luz y suelo determinadas. Conocer estas características de las especies y de su respuesta al medio es básico para poder gestionar los bosques de manera adecuada.

■ Características ligadas a la especie

Hay una serie de características que son propias de cada especie arbórea: la **longevidad**, la **dureza de la madera**, la **profundidad de sus raíces** o el **tipo de reproducción** (Tabla 1). Otras variables, principalmente estructurales (como la forma de la copa o la altura), también dependen de la especie, pero pueden estar más condicionadas por los componentes del entorno, ya sean factores ambientales o de gestión del bosque.

Podemos realizar una primera clasificación de las especies en función del **tipo de crecimiento**, rápido o lento, que posean. Los árboles de **crecimiento rápido** son árboles que viven menos años, tienen raíces más superficiales, retienen y acumulan menos CO₂ en su tronco y producen **maderas blandas** que se descomponen con mayor velocidad. En este grupo encontramos las **coníferas** (pinos, abetos, piceas...) y **frondosas de ribera** (alisos, álamos, abedules, sauces, etc.). En cambio, los árboles de **crecimiento lento** desarrollan raíces más profundas, suelen ser más longevos y constituyen reservorios de carbono durante más tiempo. Producen **maderas duras**, más pesadas y de degradación más lenta. Especies representativas de este grupo son el roble, la encina, el haya, el castaño, el nogal, etc.

■ Características relacionadas con los factores ambientales

Los árboles presentan unas exigencias más o menos estrictas en relación con los factores ambientales necesarios para su vida: **cada especie tiene un rango máximo y mínimo fuera de los cuales su supervivencia no es posible**. El clima y el suelo engloban la mayoría de factores (agua, temperatura, disponibilidad de nutrientes...) pero también hay que tener presentes factores como la **tolerancia a la sombra** o la **respuesta a perturbaciones** (relacionada con el tipo de regeneración de cada especie).

Las **condiciones térmicas** son las que determinan los límites de distribución de las especies forestales. De los factores climáticos **el agua** es el factor limitante más importante en el crecimiento de los árboles en la zona mediterránea. Las especies forestales también se distribuyen en un gradiente de mayor a menor **tolerancia a la sombra**, desde especies heliófilas (generalmente de



Figura 1. Abedules, especie heliófila. Les planes de Son (Pallars Sobirà). Foto: Lluís Comas/Carles Batlles.



Figura 2. Bosque de hayas en otoño. El haya es una especie tolerante a la sombra. Foto: Pixabay, Creative Commons Zero – CC0.

	Especie	Tipo de crecimiento	Dureza de la madera	Longevidad	Sistema radicular	Tipo de regeneración	Distribución	Resistencia a heladas	Resistencia a la sequía	Tolerancia a la sombra	Tolerancia a la cal	Tolerancia a suelos pobres
FRONDOSAS	ENCINA (<i>Quercus ilex</i>)	Lento	Dura	500-700	Profundo	Semillas y rebrotes	De 0 a 1400 m	Baja	Alta	Media	Indiferente	Media
	ROBLE PUBESCENTE (<i>Quercus humilis</i>)	Lento	Dura	300-500	Profundo	Semillas y rebrotes	De 400 a 1500 m	Baja	Media	Media	Alta	Media
	ALCORNOQUE (<i>Quercus suber</i>)	Lento	Dura	300-500	Profundo	Semillas y rebrotes	De 0 a 1000 m	Baja	Alta	Media	Baja	Media
	CASTAÑO (<i>Castanea sativa</i>)	Lento	Dura	500-700	Profundo	Semillas y rebrotes	De 0 a 1500 m	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja
	HAYA (<i>Fagus sylvatica</i>)	Lento	Dura	300-500	Profundo	Semillas y rebrotes	De 1000 a 1700 m	Baja	Baja	Alta	Indiferente	Baja
	CHOPO (<i>Populus nigra</i>)	Rápido	Blanda	<100	Superficial	Semillas y rebrotes	De 0 a 1800 m	Alta	Baja	Baja	Indiferente	Alta
	ALISO (<i>Alnus glutinosa</i>)	Rápido	Blanda	100-150	Superficial	Semillas y rebrotes	De 0 a 600 m	Alta	Baja	Media	Indiferente	Alta
CONÍFERAS	PINO CARRASCO (<i>Pinus halepensis</i>)	Rápido	Blanda	100-150	Superficial	Semillas	De 0 a 1000 m	Baja	Alta	Baja	Alta	Alta
	PINO ALBAR (<i>Pinus sylvestris</i>)	Rápido	Blanda	300-500	Superficial	Semillas	De 500 a 2000 m	Alta	Baja	Baja	Indiferente	Media
	PINO NEGRAL (<i>Pinus nigra</i>)	Rápido	Blanda	150-300	Superficial	Semillas	De 800 a 1500 m	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabla 1. Características de algunas de las principales especies arbóreas (tanto planifolios como coníferas) que tienen que ver con la propia especie o su capacidad de respuesta a los factores ambientales.

crecimiento rápido, como los abedules, pinos, álamos, etc), que acostumbran a ser **colonizadoras o pioneras en espacios abiertos (Figura 1)** y que dependen para su germinación y desarrollo de altos niveles de luz, hasta especies tolerantes a la sombra que pueden permanecer décadas en el sotobosque a la espera de un claro para crecer en altura y conseguir llegar a la madurez como la encina, el roble o el haya (Figura 2), entre otras.

El suelo es determinante para el crecimiento de la vegetación, ya que representa su soporte a la vez que proporciona los nutrientes y el agua necesarios para su supervivencia. El pH y la presencia de determinados iones (Ca ++, Na+, CO-...) son factores que determinan qué especies de árboles están presentes, distinguiéndose **especies calcícolas** y **especies silicícolas** según el tipo de suelo donde viven mejor.

Crecimiento del árbol y desarrollo de la copa

Los árboles priorizan el crecimiento en altura porque esto determina su posición en la competencia por la luz. Una vez garantizado este crecimiento, se produce el crecimiento en diámetro. El crecimiento del árbol se realiza a través de la copa. La forma de la copa viene determinada por las condiciones de sombra en las que crece el árbol (competencia). Un árbol está equilibrado cuando su copa ocupa como mínimo un tercio de la altura del mismo.

■ Crecimiento de los árboles

El crecimiento de los árboles se lleva a cabo tanto en altura como en diámetro. Cada uno de estos crecimientos da información distinta sobre diferentes aspectos del árbol.

(a) Crecimiento en altura

El crecimiento en altura es muy importante para el árbol porque determina su posición en la competencia por la luz y es la manera rápida que éste tiene de crear nuevas ramas y agrandar el tamaño de la copa. Por ello **el árbol, una vez satisfechas las necesidades de respiración, prioriza el crecimiento en altura**. Al ser prioritario, este crecimiento es independiente del nivel de sombra (o competencia) en que se encuentra la planta para un rango amplio de condiciones. **Cuando el nivel de sombra es muy alto finalmente se acaba produciendo una disminución del crecimiento en altura** y, en condiciones extremas, lleva a la muerte del árbol. Como la planta invierte primero en el crecimiento en altura, **éste alcanza el máximo a una edad relativamente temprana**. Este grado de independencia del crecimiento en altura de la competencia hace que la relación altura/edad sea considerada un buen indicador de la potencialidad de un árbol de crecer en una estación dada. De hecho, **la altura máxima de una especie en una estación, que depende del tipo de suelo y del clima** (temperatura y agua) de la misma, es la que define la potencialidad de crecimiento de esa especie, lo que llamamos **calidad de estación**.

(b) Crecimiento en diámetro

Una vez ha garantizado el crecimiento en altura, si hay excedente, el árbol invierte en crecimiento en diámetro. Por ello, **el crecimiento en diámetro está muy condicionado por las condiciones de competencia en las que se encuentra el árbol**: si la competencia es alta, el crecimiento en diámetro es pequeño, si la competencia es baja el crecimiento en diámetro es grande. Así pues, el diámetro es la síntesis de la calidad de estación, la competencia y la edad, y no nos da ninguna información sobre la edad o la calidad de estación por separado. El diámetro presenta un crecimiento mucho más alargado en el tiempo que la altura.

■ La copa depende de las condiciones de crecimiento del árbol

La forma de la copa es la característica externa del árbol que nos va a dar más información sobre su vitalidad, capacidad de crecimiento, respuesta a la liberación y madurez del árbol. Un árbol sano desarrollará una copa adecuada en cada momento. El tamaño de la copa está relacionado con las **condiciones de competencia por la luz en las que crece el árbol y viene determinado por las ramas vivas**. Cuando las ramas inferiores mueren por efecto de la sombra el tamaño de la copa disminuye. Las ramas son el soporte de las hojas, donde se realiza la fotosíntesis. **El árbol mantiene una rama viva si su balance fotosíntesis/respiración es positivo**. Si la rama no está bien iluminada y el balance es negativo la rama se seca y con el tiempo acaba cayendo. Cuando la rama que se seca es grande, cuesta más que caiga y permanece seca en el árbol durante un tiempo.

El tamaño de la copa está relacionado con la salud, el vigor y el crecimiento en diámetro del árbol (**Figura 1**). **Una copa grande, bien iluminada, también tiene mejores condiciones para producir frutos**. Decimos que un árbol está equilibrado cuando su copa ocupa más de 1/3 de su altura, hasta la mitad. Con una copa más pequeña de 1/3 de la altura, el vigor y el crecimiento del árbol se ve afectado negativamente. Si la copa es más grande de la mitad del árbol, el árbol presenta ramas inferiores muy gruesas y una

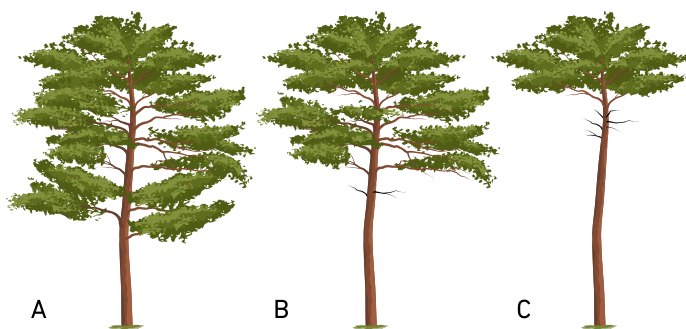


Figura 1. Esquema de las copas de tres árboles de la misma especie creciendo en condiciones diferentes: **A)** árbol que ha crecido aislado (en medio de un prado); **B)** árbol que ha crecido en un bosque con una densidad óptima; **C)** árbol que ha crecido en un bosque con una densidad excesiva.

forma cónica del tronco, lo que puede ser un inconveniente para el aprovechamiento de la madera (**Figura 1**).

La historia del árbol modela la forma de su copa, es decir, la proporción de ramas vivas y muertas. La copa nos da mucha información de cómo ha vivido, su vitalidad, cuál será su desarrollo más probable en el futuro, y cuál va a ser su respuesta si se produce una intervención forestal que lo libere de la sombra. El objetivo del gestor es conseguir el tamaño de copa más adecuado en cada momento de la vida del árbol. El estado de la copa en el momento de hacer una intervención va a condicionar la respuesta del árbol y por lo tanto las posibilidades del gestor.

■ Efecto de la edad en la forma de la copa

Con la edad se produce una disminución en la rapidez de recuperación de la copa. Así, si se rompe una rama por efecto del viento, en un árbol joven el crecimiento de nuevas ramas llenará rápidamente el espacio. Un **árbol maduro tiene una reacción más lenta**, la copa del árbol se va haciendo más clara, con huecos entre las ramas, adquiriendo globalmente una forma de copa abierta, que es la característica externa más clara para identificar un árbol maduro (**Figura 2**). Estos cambios con la edad en la forma y densidad de la copa tienen un **efecto importante en la capacidad de competir del individuo**, y en la manera que deja pasar la luz y el agua a través de la copa.

Cuando el árbol llega a este estado de madurez, en condiciones de árbol aislado (sin competencia) puede mantenerse en estas condiciones durante mucho tiempo. De hecho, en árboles aislados se pueden producir disminuciones en la altura de la copa (muerte de una parte de la copa) que, con el tiempo, el árbol puede volver a recuperar. Sin embargo, **cuando el árbol maduro tiene la competencia de un árbol joven**, con una capacidad de respuesta más rápida, normalmente **no dispone del tiempo necesario para recuperarse** y su espacio es ocupado por el árbol joven que acaba ahogando al árbol maduro. Esta es una situación común que encontramos en muchas dehesas abandonadas (**Figura 3**).

■ Respuesta del árbol a la liberación de la sombra

Cuando un árbol es liberado de la sombra que le estaba afectando debe adaptarse a las nuevas condiciones, y esto lo hace **aumentando el tamaño de la copa**. Un factor importante para decidir si intervenir o no en un bosque es saber valorar la **capacidad y velocidad de la respuesta de los árboles para aumentar el tamaño de sus copas**. Cuanto más equilibrada está la copa antes de la liberación, más vigor tiene el árbol, y la reacción es más rápida. Para un mismo grado de competencia, la respuesta depende de las



Figura 2. A la izquierda un árbol maduro (copa plana y hueca) y, a la derecha, árboles jóvenes con copa más en punta y cerrada y con las ramas hacia arriba. Fotos: MJ Broncano.

características de tolerancia a la sombra de cada especie. Las **especies tolerantes a la sombra**, como la encina, pueden mantener copas vivas durante más tiempo que especies no tolerantes a la sombra, como los pinos y, por lo tanto, mantienen durante más tiempo la capacidad de responder a la liberación de la competencia.

El aumento rápido de la copa va ligado sobre todo al aumento en altura del árbol. La respuesta está limitada a si la copa ya es tan pequeña que afecta al crecimiento en altura, o si el individuo tiene una edad que ha llegado ya a una altura próxima a la máxima y ya no puede seguir creciendo. **Cuando el árbol ya ha completado su crecimiento en altura** (lo que se produce en una fase temprana de su edad), decimos que la copa, y por lo tanto el árbol, ya está formado, y ya es muy difícil modificar sus condiciones de crecimiento.



Figura 3. Dehesa abandonada, Vall del Bac (Garrotxa). Foto: Lluís Comas/ Carles Battles.

Regeneración del bosque

Hay dos mecanismos principales para la regeneración de las especies forestales: la reproducción por plántulas y la regeneración por rebrotes. Las especies germinadoras se reproducen principalmente por plántulas producidas a partir de semillas. El éxito de su reproducción depende del ambiente en el que han de germinar y las características de tolerancia a la sombra de las especies. Las especies rebrotadoras regeneran por rebrotes producidos a partir de yemas situadas en el tronco, las raíces o la cepa. Las características de la rebrotada dependen de la calidad de estación de la parcela y del tipo de perturbación.

Tipos de especies según su mecanismo principal de regeneración

La regeneración de las especies forestales **se produce principalmente por dos mecanismos**: la reproducción por plántulas y la regeneración por rebrotes (Figura 1). En el primer caso se trata de nuevos individuos generados a partir de propágulos producidos por los ya existentes, mientras que en el segundo caso son los propios individuos preexistentes los que desarrollan un proceso para mantenerse después de la corta o de una perturbación.

- **La reproducción por plántulas a partir de semillas** es el mecanismo de reproducción más extendido entre las plantas. Consiste en la producción de plántulas a partir de semillas que germinan cuando las condiciones ambientales son favorables. En la Península Ibérica las **principales especies germinadoras** son de los géneros de coníferas *Pinus* o *Abies*, aunque muchas especies rebrotadoras como los *Quercus* también pueden producir grandes cantidades de plántulas.

- **La rebrotada, es decir la producción de rebrotes a partir de yemas presentes** en órganos preexistentes como cepas o raíces, es uno de los mecanismos más importantes de regeneración de las plantas frente a perturbaciones naturales y antropogénicas. La rebrotada se considera un mecanismo por el cual una planta vuelve a un estado juvenil después de sufrir una perturbación. En la Península Ibérica las **principales especies rebrotadoras** son de los géneros *Quercus*, *Fagus*, *Corylus* y, en menor medida, *Populus* y *Betula*.

La regeneración de especies germinadoras: el caso de los pinos

Los **pinos** constituyen el principal grupo de especies de árboles germinadores que hay en el Mediterráneo. Todos ellos **se reproducen exclusivamente por semillas**, aunque hay algunas especies que pueden producir rebrotes, como el *Pinus canariensis*, una rareza entre los pinos. Los pinos **presentan una producción de piñas muy variable**, con años de fuerte producción y años de producción casi nula, intercalados con años de producción media. La mayoría de las especies muestra una fenología similar, con dispersión de las semillas desde finales de invierno hasta primavera e incluso verano.



Figura 1. **A)** Pino carrasco (*Pinus halepensis*), especie germinadora. Foto: iStock, seven75, **B)** Encina (*Quercus ilex*), especie rebrotadora. Foto: MJ Broncano.



Figura 2. Individuo juvenil de *Pinus halepensis* en una zona abierta. Foto: MJ Broncano.

Las plántulas de todos **los pinos crecen rápidamente en zonas abiertas**, donde los juveniles superan a la vegetación herbácea y alcanzan crecimientos importantes durante los primeros años (**Figura 2**). En condiciones de bosque las cosas son diferentes. Las plántulas de *P. nigra* son, entre las de los pinos peninsulares, **las que mejor soportan ciertas condiciones de sombra** (en realidad se podría decir que son las únicas). En cambio, las plántulas del resto de pinos necesitan luz para crecer, por lo que su regeneración es muy baja en el sotobosque de un bosque incluso de la propia especie.

Algunas especies, como *P. halepensis* o *P. pinaster*, sólo dispersan una parte de sus semillas almacenadas en la copa y mantienen un **banco de semillas en el interior de unas piñas denominadas serótinas** que permanecen cerradas durante largo tiempo. Las semillas se liberan de estas piñas serótinas por el calor y la sequedad inducidas por un incendio forestal severo o una sequía extrema. Esto permite que en el otoño posterior al incendio se produzca una germinación masiva de semillas que crea una ola de regeneración de pinos durante el primer año después del incendio (**Figura 3**). Las restantes especies de pinos no tienen piñas serótinas, de manera que, en verano, que es el período en la que se producen la mayoría de incendios forestales, todas las piñas de la copa están vacías y el banco de semillas del suelo también está exhausto. La regeneración de estas especies después de grandes incendios depende completamente de la **liberación de piñones** desde los márgenes no quemados o desde las islas de árboles supervivientes, dado que las semillas y las plántulas no sobreviven al paso de las llamas. Por ello en gran parte de los bosques quemados de estas especies la presencia de plántulas de pino es muy escasa o nula.

■ La regeneración de especies rebrotadoras: el caso de la encina

Las encinas y los robles constituyen el principal grupo de especies de árboles rebrotadores que hay en el Mediterráneo. **La encina (*Quercus ilex*) es un caso muy claro de especie rebrotadora**, ya que rebrota vigorosamente después de las perturbaciones (**Figura 4**). Los brotes se producen por la activación de yemas latentes ubicadas a nivel del tocón, la corona de la raíz o, en menor medida, las raíces. La rebrotada de la encina después de perturbaciones (tanto corta como sequía, herbivoría o fuego) es, en todos los casos, **superior al 85%**.

Las condiciones de **calidad de estación** (potencialidad de crecimiento de un rodal determinado), combinadas con la intensidad de gestión de la parcela determinarían el estado actual del encinar y su respuesta a la corta. **Cortas intensas** generan estructuras con un gran número de rebrotes tanto para calidades altas como bajas. A medida que las cortas son de menor intensidad el cierre de copas genera una selección natural de rebrotes disminuyendo su densidad.



Figura 3. Regeneración de *Pinus halepensis*, los primeros años después de un incendio en bosques propio de la especie. Foto: Javier Retana.



Figura 4. Rebrotada de una cepa de encina afectada por un incendio. Foto: Pilar Cortés.

Este efecto es más importante en calidades altas, donde el mayor crecimiento permite un mayor cierre de copas. Para cortas de baja intensidad (gestión irregular) este efecto de selección hace que en calidades altas la estructura resultante tenga individuos con pocos o un solo pie por cepa. En cambio, para calidades de estación baja, donde el menor crecimiento no permite un cierre completo de copas (o este se produce de manera muy lenta), el efecto de selección natural de rebrotes es menor, y encontraremos estructuras con muchos pies por cepa.

En las condiciones actuales de gestión y de régimen de perturbaciones, **la regeneración de los encinares parece estar asegurada mediante la rebrotada de los individuos**. Se podría pensar que este tipo de regeneración ya es suficiente, pero la encina también puede **reproducirse sexualmente por bellotas**. Normalmente, la producción anual de bellotas es más bien baja, aunque hay años con picos de producción muy fuertes. Las bellotas son grandes y pesadas, por lo que tienen reservas suficientes para desarrollar las nuevas plántulas, aunque también tiene elevado riesgo de ser depredadas. Todo esto hace que la presencia de plántulas y juveniles de encina sea bastante elevada en los encinares. Estos individuos jóvenes no pueden competir con los árboles adultos que rebrotan después de una perturbación, pero pueden permanecer muchos años en el sotobosque del encinar ya que tienen elevada tolerancia a la sombra. Estos individuos pueden tener copas vivas durante más tiempo, y por tanto mantienen también la capacidad de responder a la liberación de la competencia cuando se produce una abertura en el vuelo del encinar.

Estructura del bosque: crecimiento colectivo frente a crecimiento individual

Existen dos tipos de estructuras forestales muy contrastadas: bosque regular y bosque irregular. El bosque regular es un bosque homogéneo donde los árboles tienen la misma edad y condiciones de competencia parecidas. El bosque irregular es aquel en que los árboles son de diferentes tamaños y condiciones de competencia diferentes. Cada una de estas estructuras de bosque se caracteriza por un tipo de crecimiento de los árboles: crecimiento colectivo en el caso del bosque regular, y crecimiento individualizado en el caso del bosque irregular.

■ Estructura del bosque: regular e irregular

La diferenciación es el proceso por el cual un individuo ocupa el espacio de su vecino para poder desarrollar su copa. En una masa de árboles, **si no se produce la diferenciación, los árboles crecen sin poder aumentar su copa** que se va volviendo desequilibrada. El proceso de diferenciación se puede producir de manera natural o por efecto de la corta. La relación espacial entre árboles de diferente edad y tamaño define la estructura del bosque. Esta estructura determinará el efecto de la diferenciación natural de los árboles. Podemos distinguir dos tipos de estructuras que crean condiciones de desarrollo de la copa muy diferentes: bosque regular y bosque irregular (Figura 1).

- **El bosque regular** es la estructura resultante de una perturbación que ha eliminado todos los pies. Puede ser como resultado de un incendio intenso o una corta a hecho. También es una situación que puede producirse en repoblaciones en las que todos los árboles tienen la misma edad y la preparación del terreno les da unas condiciones de competencia parecidas. Los individuos jóvenes (especies germinadoras) o los rebrotes (especies rebrotadoras) se desarrollan sin competencia de pies adultos. El resultado son bosques homogéneos, tanto por la estructura como por la composición de especies.

REGULAR



IRREGULAR



Figura 1. Estructura de bosque regular e irregular.

- **El bosque irregular** es aquel en el que los árboles son de diferentes alturas y el crecimiento de cada árbol depende no sólo de su altura, sino también de la de los árboles que lo rodean. Por lo tanto, el ritmo con que los árboles pasan de una clase de tamaño a la siguiente es diferente para cada clase y, además, varía con el tiempo, porque a medida que el árbol se hace grande, la competencia disminuye.

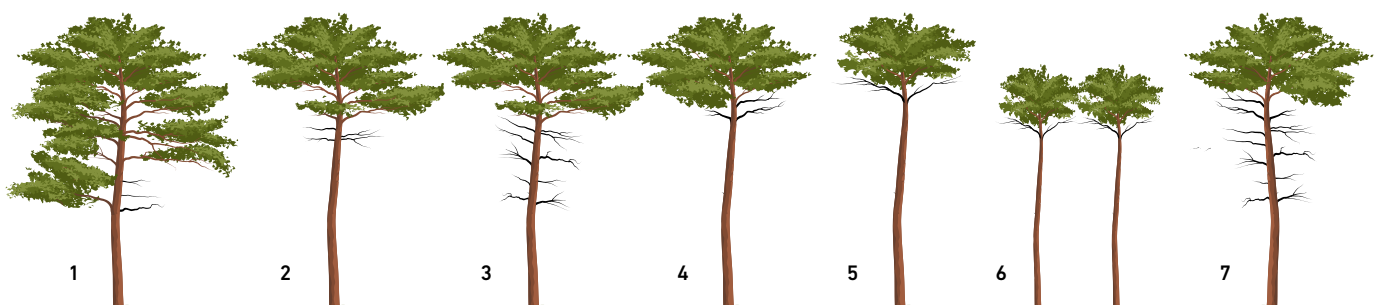


Figura 2. Diferentes situaciones en un bosque regular: (1) árbol de límite de bosque (la copa se desarrolla por el lado en que dispone de espacio), (2) árbol con copa equilibrada y tronco bien formado resultado del control de la densidad a lo largo del crecimiento del bosque (densidad adecuada a lo largo de todo el crecimiento), (3) árbol con copa equilibrada y tronco con ramas grandes (densidad actual correcta pero inicial demasiado baja), (4) árbol con copa equilibrada pero mayor competencia que hace que la copa sea pequeña (5) árbol con copa pequeña y tronco bien formado (densidad inicial adecuada pero sin disminución que lleva a una densidad final alta que provoca disminución del crecimiento en diámetro), (6) árboles con copa muy pequeña que provoca disminución del crecimiento en altura (7) árbol con copa pequeña y ramas muertas muy grandes que indican que el crecimiento del árbol se produjo en condiciones de crecimiento aislado y que posteriormente el bosque se cerró (es una situación típica resultado del abandono de pastos arbolados).

Cada una de estas estructuras de bosque se caracteriza, como hemos indicado anteriormente, por un tipo de crecimiento de los árboles característico: 1) **crecimiento colectivo en el caso del bosque regular**, y 2) **crecimiento individualizado en el caso del bosque irregular**.

■ Crecimiento colectivo

El crecimiento colectivo se caracteriza porque **las condiciones están creadas por árboles que son de la misma altura** (y normalmente de edades parecidas), de manera que las condiciones de competencia son las mismas para todos los individuos que crecen juntos. La igualdad de condiciones entre todos los constituyentes de la masa hace que la diferenciación natural entre individuos no sea suficiente para que un individuo pueda superar a su vecino y ocupe un espacio que le permita desarrollar una copa equilibrada. Así pues, con el tiempo, la **competencia cada vez es más grande** y las copas cada vez están más desequilibradas.

Este tipo de crecimiento acaba generando árboles con copas pequeñas, troncos cilíndricos y, normalmente, una estabilidad física individual reducida (depende del tamaño de la copa). En estas condiciones la estabilidad del árbol viene determinada por el efecto colectivo de apoyo entre los árboles que se tocan (estabilidad colectiva). Si se pierde este efecto colectivo (por ejemplo, por una corta que elimina parte de los árboles), los árboles que se dejan tienen una estabilidad individual baja y corren el riesgo de ser tumbados por el viento hasta que no recuperan una **copa equilibrada (estabilidad individual)** o se vuelven a cerrar **las copas con los vecinos (estabilidad colectiva)**.

Esta estructura genera unas condiciones ambientales de interior de bosque (determinadas por las condiciones de luz) que son homogéneas en todo el espacio, pero que varían de forma importante en el tiempo (desde el momento

de la regeneración hasta la madurez del bosque). Dentro de este tipo de crecimiento podemos encontrar **situaciones variadas según el espacio** de que disponen los árboles para desarrollar la copa, el grado de diferenciación natural que se produce en la masa o la diferenciación por la corta. En la **Figura 2** se muestran diferentes situaciones y la forma de identificarlas.

■ Crecimiento individual

En este caso las condiciones de crecimiento están creadas por una mezcla de árboles con edad y altura diferentes. La heterogeneidad de condiciones ambientales en el interior del bosque (principalmente luz) y de edades de los árboles hace que los procesos de diferenciación se produzcan de manera natural. Los árboles pequeños se desarrollan en condiciones de semisombra con **competencia inicial alta**. A medida que el árbol crece, cada vez tiene condiciones de luz más favorables, es decir, con el crecimiento se produce una **disminución de la competencia** que permite que se desarrollen copas equilibradas.

El **bosque está controlado por árboles de grandes dimensiones**, pero sus copas no se tocan. Cómo estén de apretados (densidad de la masa) depende del clima (la disponibilidad de agua) y de la **tolerancia de la especie**, variables que muchas veces coinciden. En estas condiciones de crecimiento, en la que los árboles adultos no se tocan las copas, la estabilidad física depende solo del individuo y viene dada por el desarrollo de una copa equilibrada. **Las condiciones ambientales de interior de bosque** (poca luz) varían a pequeña distancia, creando situaciones diferentes para el crecimiento de los árboles. Sin embargo, a escala más grande hay un mosaico de condiciones de luz que se mantiene más o menos constante a lo largo del tiempo. En la **Figura 3** se muestran diferentes situaciones que nos encontramos en condiciones de crecimiento individual y la forma de identificarlas.

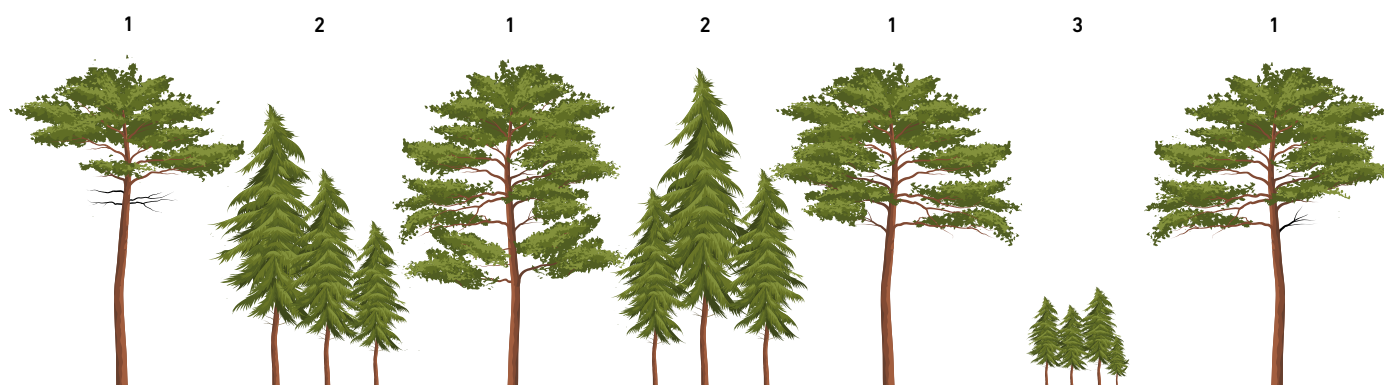


Figura 3. Diferentes situaciones en un bosque irregular: (1) **árboles adultos que dominan el vuelo**: espacio importante, copa grande >1/3 con ramas grandes, tronco principal bien formado; (2) **árboles intermedios**: ramas pequeñas, competencia importante, las condiciones de heterogeneidad ambiental (luz) y edades diferentes hacen que uno de los árboles acabe dominando a los demás de su entorno; (3) **árboles jóvenes**: condiciones de competencia importante, regenerado que aparece en el momento que se corta un árbol grande.

Productos del bosque

El bosque mediterráneo produce madera serrada de calidad, leñas, vigas y palos como principales productos de la gestión forestal. Pero también puede convertirse en una fuente de recursos importante para los aprovechamientos agrícola y ganadero, mejorando de esta manera el rendimiento económico del resto de actividades. El uso de productos del bosque, como las hojas para comida del ganado, el BRF, el biochar, los cultivos sobre camas de madera o los biofertilizantes, permite mejorar la rentabilidad del aprovechamiento agro-silvo-pastoral.

■ Biomasa de las diferentes fracciones del árbol en función de la especie y el tamaño

Se pueden distinguir **cuatro fracciones de la biomasa** aérea del árbol a partir de las cuales se obtienen diferentes productos de aprovechamiento forestal: **tronco, ramas de >7 cm, ramas de <7 cm y hojas**, tal como veremos en el siguiente apartado. La proporción entre componentes varía mucho entre especies forestales. En la **Figura 1** vemos los valores de biomasa para cuatro de las especies que se pueden utilizar en la zona donde se lleva a cabo Polyfarming: encina (*Quercus ilex*), roble (*Quercus pubescens*), pino carrasco (*Pinus halepensis*), chopo (*Populus nigra*). Comprobamos que el pino carrasco y la encina dedican proporcionalmente menos biomasa al tronco y más a las ramas, sobretodo las menores de 7 cm, que el chopo y, especialmente, el roble.

A partir de la información del **Inventario Ecológico y Forestal de Cataluña** se han obtenido ecuaciones de peso de tronco,

ramas de <7 cm, ramas de más de 7 cm y hojas en función del tamaño del árbol para las cuatro especies anteriores. Estas ecuaciones han permitido determinar para las cuatro especies cómo varían las diferentes fracciones en función del tamaño del árbol (**Figura 2**).

Se aprecian **diferencias** obvias **entre tamaños**, pero también diferencias importantes **entre especies** en las distintas fracciones. Los valores de tronco son ligeramente más altos para la encina, pero varían de manera similar entre especies. La encina también tiene valores más altos de ramas de > 7 cm para los diámetros más bajos, pero después se reduce y es el chopo el que aumenta más. En el caso de las ramas de <7 cm y de las hojas se obtienen valores mucho más elevados para la encina y, en menor medida, para el pino carrasco que para el chopo y el roble.

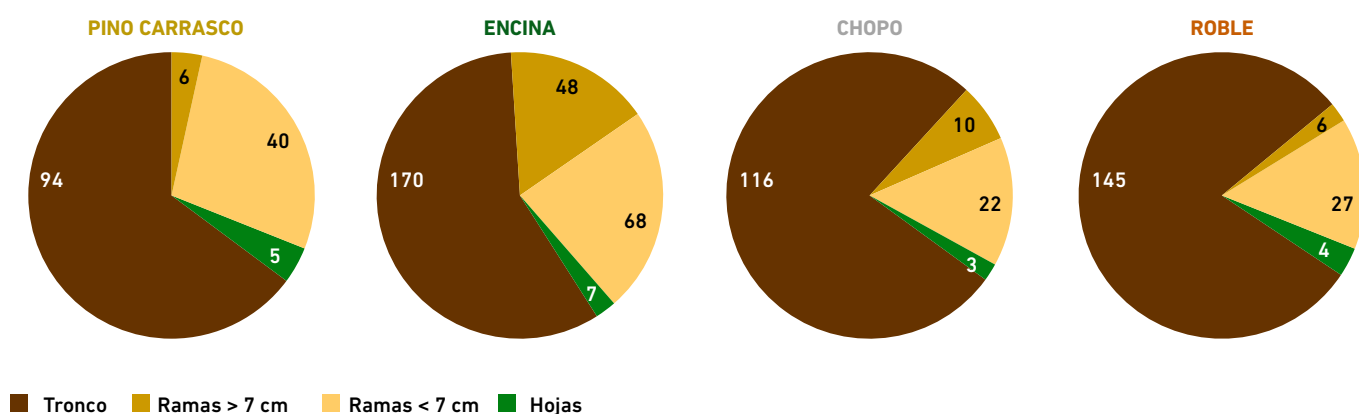


Figura 1. Distribución de la biomasa aérea en los diferentes componentes del árbol (tronco, ramas de >7 cm, ramas de <7 cm y hojas para un árbol estándar de 20 cm de diámetro normal de cuatro especies mediterráneas: pino carrasco, chopo, encina y roble. Los números en cada compartimento indican los valores absolutos de peso (en kg de materia seca por árbol).

■ Productos generados a partir de las diferentes fracciones del árbol

Son muchos los productos principales que genera el bosque mediterráneo con los aprovechamientos forestales: **según las especies se producen vigas, palos, chapa de madera serrada de calidad o leñas**. Estos productos provienen mayoritariamente de los troncos o las ramas más gruesas.

Pero las restantes fracciones del árbol también pueden convertirse en una fuente de recursos importante para los aprovechamientos agrícola y ganadero. Una parte de estos recursos, los que se desarrollan en el sistema Polyfarming, se muestran en la **Figura 3** y se describen a continuación.

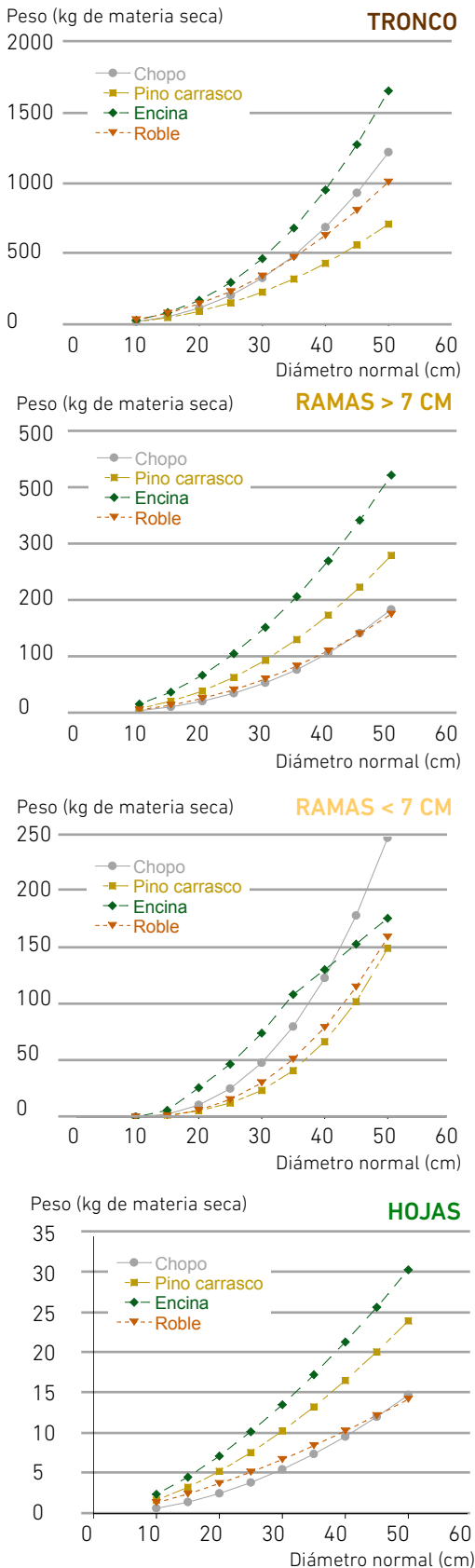


Figura 2. Peso (kg de materia seca por árbol) de las diferentes fracciones de la biomasa aérea: tronco; ramas de >7 cm; ramas de <7 cm, y hojas, en función del tamaño del árbol (diámetro normal, en cm) para las cuatro especies consideradas: chopo, pino carrasco, encina y roble.

- **Troncos.** Son los principales productos de los aprovechamientos forestales y en muchos casos los únicos. En función de la especie y la calidad de los árboles de los troncos se obtiene **leña, madera, vigas y palos**.
- **Ramas mayores de 7 cm.** Las ramas más grandes también pueden servir para producir leñas. Pero los troncos procedentes de las cortas y que no son adecuados para otros usos pueden utilizarse para enterrarlos bajo el suelo del huerto y los frutales, los llamados **cultivos sobre camas de madera**. Para esta técnica es preferible utilizar troncos de dimensiones superiores a los 20 cm que permiten obtener volúmenes de madera enterrada más grandes.
- **Ramas menores de 7 cm.** Las ramas menores de 7 cm contienen lignina soluble o poco polimerizada que es la base para la formación de un humus altamente reactivo. Estas ramas son el material base para elaborar dos productos que mejoran los suelos agrícolas: (i) el **BRF**, que se obtiene por trituración de estas ramas recién cortadas; y (ii) el **biochar**, que se produce a partir de la pirólisis de las ramas secas. En el primer caso, se obtiene un humus estable que mejora la estructura y capacidad de retención de agua del suelo. En el segundo caso, se produce un carbón vegetal que mejora las propiedades físicas del suelo.
- **Hojas.** Las hojas verdes de los árboles que se acaban de cortar pueden ser un perfecto complemento de la **alimentación del ganado**, especialmente en invierno que es cuando se realizan las cortas. Una especie que se adapta perfectamente a este uso es la **encina**, así como otras frondosas que **no pierden las hojas en invierno**. En cambio, los robles y otras especies caducifolias no pueden utilizarse para este uso, porque no tienen hojas verdes cuando se realiza la corta en invierno. En el caso de los pinos, no es posible compatibilizar las cortas en invierno con el consumo de las ramas por parte de los animales, porque no comen las acículas.
- **Suelo del bosque.** El humus del suelo del bosque es la base para obtener los microorganismos de montaña. Estos microorganismos permiten producir **biofertilizantes**, que sirven para nutrir y fortalecer las plantas del huerto o los frutales sin bloquear los procesos biológicos que se dan en un suelo sano.

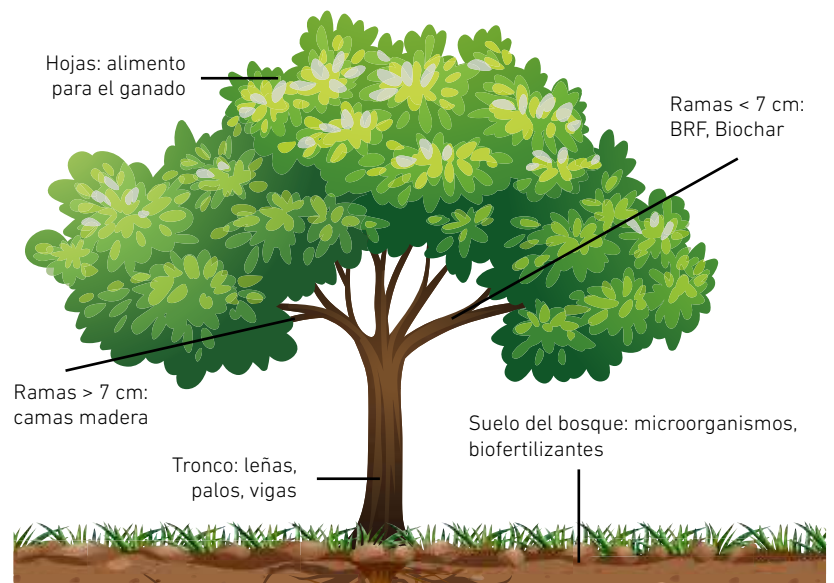


Figura 3. Esquema de los diferentes productos que se obtienen de las diferentes fracciones de la parte aérea de los árboles tras un aprovechamiento forestal.

Análisis del bosque como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa

El bosque es un sistema productivo importante, por los materiales que produce y porque puede crear unos stocks de carbono muy grandes. A diferencia de los sistemas agrícolas, la nutrición de las plantas en el bosque es el resultado de procesos naturales. Sin embargo, la mayoría de nuestros bosques se encuentran muy transformados y la actividad biológica del suelo, y con ella la productividad, se encuentra reducida. Además, la dinámica del bosque funciona a una escala de tiempo larga que es difícil de apreciar desde una perspectiva humana.

■ Aplicación de los criterios del sistema regenerativo a un bosque

El modelo productivo regenerativo engloba cinco principios básicos que pueden aplicarse a un sistema forestal.

1) La diversidad de plantas.

El funcionamiento del bosque es mejor cuanto mayor es la riqueza de especies. Esto suele ir ligado a una mayor heterogeneidad ambiental, mayor mezcla de especies y de elementos de madurez del bosque (**Figura 1**). Sin embargo, la diversidad de muchos de nuestros bosques está muy reducida, debido a que **la gestión ha favorecido bosques monoespecíficos** y ha eliminado elementos de madurez del bosque (árboles senescentes y madera muerta). No obstante, este efecto de la gestión no es inevitable, y es posible hacer una gestión en bosques productivos que favorezca una mayor diversidad y la recuperación y mantenimiento de los elementos de madurez.

Un factor básico para mantener estas características de diversidad, así como para garantizar unas buenas condiciones de crecimiento del bosque, son las condiciones de crecimiento del árbol, expresadas en la **forma de su copa**, y las condiciones de crecimiento del bosque, expresadas en la **estructura** o manera en que se agrupan los árboles de diferentes edad y tamaño en el espacio. Estas dos características fundamentales están inevitablemente relacionadas y el conocimiento de su funcionamiento nos permite guiar la dinámica del bosque para conseguir las mejores condiciones de estabilidad y producción, de una manera sostenible. En aprovechamientos muy intensos, donde se dejan pocos o ningún árbol (cortas a hecho), **la corta puede producir situaciones temporales de pérdida de condiciones micro-climáticas y falta de producción**. Durante un tiempo el bosque deja de ser bosque, y debemos entender como funciona en este estado y cuáles son los elementos (estrato arbustivo, estrato herbáceo, restos de corta, humus del suelo) que garantizan el mantenimiento de la actividad biológica del suelo.

2) El retorno de los materiales vegetales al suelo.

La forma de retorno principal en el bosque son las hojas. La acumulación de las hojas se produce siguiendo la micro-topografía, lo que lleva a una variabilidad espacial



Figura 1. Bosque mixto en otoño. Foto: Danier, fuente: iStock.



Figura 2. Hojas en el suelo del bosque. Foto: MJ Broncano.

importante (**Figura 2**). Se trata de un material con un cierto grado de lignificación y con un contenido en nitrógeno bajo. **La descomposición se produce en** superficie, en las condiciones de humedad y temperatura del microclima interior del bosque. El proceso se realiza principalmente por hongos, que las descomponen formando un humus forestal estable. Para que este proceso continúe, es necesario que se mantenga el aporte de hojas y las condiciones microclimáticas del interior del bosque. Esto se garantiza con una presencia continua de árboles. **El objetivo de la gestión del bosque en un contexto regenerativo es que las condiciones de bosque se mantengan de manera continuada**. El crecimiento, retorno e incorporación de los materiales orgánicos al suelo no debe interrumpirse en ningún momento. También existe un retorno en forma de ramas, sobre todo ligadas al aprovechamiento forestal. Estas ramas tienen una descomposición mucho más lenta que depende del grado de trituración en que se dejen. La madera de grandes dimensiones es el material aprovechado y no suele formar parte del retorno.

El aprovechamiento del bosque produce un cambio en las condiciones microclimáticas y en las edáficas (por la remoción del suelo en el arrastre de los troncos). Esto favorece una mineralización del humus forestal, afecta a los procesos biológicos y puede representar una pérdida importante de los stocks de carbono del suelo.

3) Las intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo.

Cuando los aprovechamientos son muy intensos, sus efectos sobre el humus forestal pueden ser importantes y **llegar a dejar el suelo descubierto**, llevando a una degradación de la actividad biológica del suelo. La utilización de maquinaria pesada (**Figure 3**) necesaria para la extracción de los troncos grandes también **puede producir compactación y destrucción** de la capa superficial del suelo si se trabaja en condiciones de humedad elevada. En el aprovechamiento del **bosque desde el punto de vista regenerativo**, las intervenciones son dispersas y ocasionales y no generan un impacto importante. Este tipo de gestión mantiene siempre el suelo cubierto y no provoca fenómenos de compactación del suelo del bosque.

4) El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono.

El **bosque es el sistema terrestre que es capaz de mantener un stock de carbono más grande en la parte aérea** (aunque no debe hacernos olvidar la importancia de los stocks en el suelo). Este stock aéreo sigue unas variaciones en forma de diente de sierra, ligadas al aprovechamiento del bosque, con un stock medio a lo largo del tiempo. Este valor medio es el que determina el mayor o menor efecto de un bosque como secuestrador de carbono. Un elemento determinante de este stock medio es la presencia de árboles de grandes dimensiones.

El **aprovechamiento del bosque** afecta de manera más o menos importante al ciclo del carbono del sistema a través de tres procesos diferentes: disminuyendo los stocks de carbono de la parte aérea (extracción de troncos, **Figura 4**), **disminuyendo los stocks de carbono del suelo** (aumento de los procesos de mineralización), y **eliminando temporalmente una parte más o menos importante** (o incluso todo) del retorno de hojas que alimenta el suelo. Estos procesos tienen un impacto temporal, pero si se alargan en el tiempo pueden generar una pérdida de producción del sistema. Un bosque con buena capacidad productiva tiene capacidad de compensar las **extracciones** (madera) y **pérdidas** (suelo) **de carbono** provocadas por los aprovechamientos. Es importante tener presentes en la gestión los elementos que pueden afectar a esta capacidad productiva: diversidad, producción continuada, condiciones microambientales del interior de bosque y factores que bloquean la red trófica del suelo. Debido a la escala de tiempo de la dinámica forestal, estos elementos de la gestión del bosque pueden pasar desapercibidos.



Figura 3. Maquinaria pesada para la extracción de troncos. Crédito: Marc Gràcia.

5) El agua como factor limitante de la productividad del sistema.

Los elementos principales para el **mejor aprovechamiento del agua** en el bosque son el mantenimiento de un humus forestal y la presencia de madera muerta en el suelo del bosque. El **sistema regenerativo** de gestión del bosque **produce y mantiene un humus forestal importante** y crea una estructura dominada por árboles de grandes dimensiones pero que es abierta y que mantiene todas las edades. Esto permite un aprovechamiento más eficiente del agua y mayor capacidad de adaptarse a los cambios ambientales (diversidad de condiciones, edades y especies).

La **estructura también tiene un efecto importante** en la forma en que los árboles aprovechan el agua disponible. En bosques jóvenes con densidades muy altas, la cubierta forestal puede ser tan cerrada que en el momento de la lluvia retenga una cantidad de agua muy importante que no llega al suelo. La disminución de la densidad de árboles y la presencia de árboles maduros y senescentes, con copas más claras, permite una **mejor llegada de agua al suelo**. Al mismo tiempo, la reducción de la densidad de árboles ayuda a disminuir la competencia entre ellos por el agua, que es el factor limitante. En la situación de cambio climático actual, esta modificación de las condiciones de estructura del bosque (reducción de la densidad de pies) es la manera más rápida para ayudar al bosque a adaptarse a unas condiciones de clima más secas que las que tenía cuando empezó a crecer.



Figura 4. Camión con troncos saliendo del bosque. Foto: Pxfuel, CC0.





Bases de un sistema de producción regenerativo

Gestión del prado y los animales desde una perspectiva productiva regenerativa

- Funcionamiento del pasto
- Tipos de especies de pasto y combinaciones de ellas
- Necesidades y comportamiento de los animales en el pasto
- Tipos de animales domésticos de granja
- Principales razas de animales domésticos de granja
- El papel de los escarabajos coprófagos en los pastos con ganado
- Análisis del pasto como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa

Funcionamiento del pasto

El punto óptimo de reposo del pasto es el momento óptimo para el pastoreo, ya que combina las necesidades de las plantas y las necesidades del ganado. En este punto la planta ha pasado ya la fase de máximo crecimiento, ha recuperado las reservas de las raíces, consume agua de manera más eficiente, y su valor nutricional es equilibrado. Si el ganado pastorea antes de este punto se produce una degradación del pasto y, si lo hace después, hay una pérdida de producción.

■ Funcionamiento de la planta de pasto

Conocer el funcionamiento de la ecofisiología del rebrote de la planta es fundamental para garantizar un buen pastoreo y los beneficios ambientales y económicos asociados. El funcionamiento del rebrote puede sintetizarse en las **curvas de crecimiento después del pastoreo de la parte aérea y la parte subterránea (Figura 1)**. Los cambios que se van produciendo a lo largo del tiempo son de tres tipos:

(a) Patrón de crecimiento (cambios cuantitativos). La planta de pasto (1), después de ser pastoreada (2), inicia el rebrote de la parte aérea utilizando las reservas acumuladas en las raíces. El crecimiento de la parte aérea se mantiene a expensas de las raíces (3) consumiendo las reservas acumuladas. Esto se mantiene hasta que la capacidad fotosintética de las nuevas hojas es suficiente para generar un sobrante que pueda volverse a almacenarse como reserva en las raíces (4). A partir de este momento se produce un **crecimiento muy rápido de la parte aérea y una recuperación de las reservas** acumuladas en las raíces. El crecimiento durante este periodo puede llegar a ser más de 10 veces superior que el crecimiento durante los primeros días del rebrote. Un poco antes de llegar a la madurez de la planta (5), las reservas de las raíces ya se han recuperado y el crecimiento de la parte aérea disminuye rápidamente hasta pararse (6). Esto coincide con la aparición de los primordios florales y la reproducción de las plantas.

(b) Variaciones en el valor nutricional de la planta (cambios cualitativos). El pasto del inicio del rebrote (2-3) es pobre en fibra y rico en compuestos nitrogenados solubles que pueden provocar diarrea a las vacas. **Antes de llegar a su punto de madurez (5), la composición del pasto es más equilibrada**, con una mejor proporción de fibra y con el nitrógeno en forma de aminoácidos, más adecuados para la nutrición animal. A partir de este momento, el contenido en proteína disminuye y la planta empieza a lignificarse, produciéndose una **pérdida del valor nutricional**. Esta pérdida es más acentuada en las plantas C4 que en las plantas C3. Desde el punto de vista nutricional mientras la planta se encuentra en una fase de crecimiento (antes de entrar en la madurez), **existen diferencias importantes del valor nutricional dentro de la misma planta**. El tercio superior de la planta, donde se produce el crecimiento, es el que posee menor contenido de pared celular y alto contenido en proteína (que se sitúa en torno al 14-18%

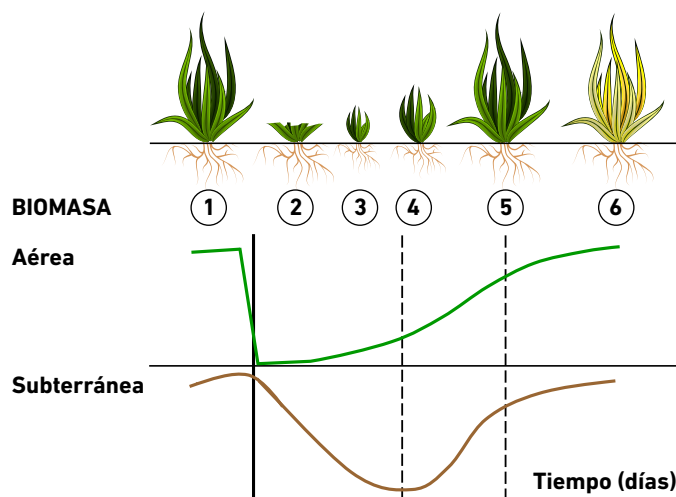


Figura 1. Cambios en la materia orgánica de la parte aérea y subterránea de una planta de pasto después del pastoreo.

independientemente de la especie). Como consecuencia, este tercio superior de la planta tiene un mayor valor nutricional que el resto.

(c) Variaciones en el consumo de agua. A partir del inicio de la madurez de la planta (5) el crecimiento se reduce rápidamente hasta hacerse cero. Sin embargo, se mantiene el consumo de agua por parte de la planta, de manera que **incrementa mucho el gasto de agua** por unidad de materia seca producida. Si la planta se vuelve a pastorear (o se cosecha) antes de este momento, el consumo de agua por unidad de producción será muy inferior. Esto es lo que explica que el pasto pastoreado en el **punto óptimo** puede alargar más el período de crecimiento cuando llega la época seca.

■ El punto óptimo de reposo del pasto

El punto óptimo de reposo es **el momento óptimo para el pastoreo del prado** combinando las necesidades de las plantas y las necesidades del ganado (Figura 2). A partir de la información anterior, se deduce que el punto óptimo de reposo se produce antes de la entrada de la planta en la madurez (5). En este momento se cumplen una serie de **aspectos importantes**: (i) la planta ha pasado ya la fase de máximo crecimiento; (ii) la planta ha recuperado las reservas de las raíces; (iii) el consumo de agua por kg de materia orgánica producido es el más eficiente; y (iv) el valor nutricional de la planta es el más equilibrado. Si no se puede pastorear en ese momento, se producen diferentes efectos negativos:



Figura 2. Pasto en el punto óptimo de reposo, con las gramíneas a punto de espigar. Foto: Marc Gracia.



Figura 3. Pasto después del punto óptimo de reposo, donde se ven muchas gramíneas ya espigadas. Foto: Marc Gracia

- **Pastoreo antes del punto óptimo de reposo.** Si los animales entran a pastorear antes del punto óptimo de reposo se está perdiendo producción porque **no se aprovecha toda la fase de crecimiento exponencial** (entre 4 y 5), y el pasto no ofrece unas características nutricionales equilibradas. Pero lo que es más importante, la planta no ha podido recuperar las reservas de las raíces, de manera que **su capacidad de rebrotada queda reducida**. Si esta situación se repite de manera continuada, la planta pierde la capacidad de rebrotar, provocando una degradación e incluso una pérdida del pasto. Resumiendo, el pastoreo antes del punto óptimo de reposo representa una pérdida de producción y una degradación del pasto, y si se repite en el tiempo puede ser difícil de recuperar.
- **Pastoreo después del punto óptimo de reposo.** Si los animales entran a pastorear después del punto óptimo de reposo, se está produciendo una pérdida de producción cuantitativa, ya que la planta permanece en el pasto con una producción muy pequeña, y también cualitativa porque se produce una **disminución del valor nutricional de la planta**. Además, el consumo de agua por unidad de materia seca generada es mayor, lo que representa también una reducción de la producción en la estación seca. Resumiendo, el pastoreo después del punto óptimo de reposo **representa una pérdida de producción** para el ganadero.

■ Criterios para la determinación del punto óptimo de un pasto

La determinación del punto óptimo de reposo es un punto crítico en el manejo del pasto, ya que éste es el momento preciso en el que los animales deben entrar en el pasto. El tiempo necesario para alcanzar el **punto óptimo de reposo** puede ser desde **18 hasta 120 días**, según el clima, la especie, la estación y las condiciones climáticas del momento. Dependiendo del tipo de planta, este punto óptimo durará unos pocos días o se alargará más en el tiempo. Es importante conocer los **criterios que nos permitan identificar este punto óptimo**.

- **Altura del pasto.** La altura del pasto, teniendo en cuenta el

clima, la especie y la estación, se utiliza como criterio. Así, por ejemplo, en climas templados húmedos las referencias son de 25-30 cm de altura para el punto óptimo. Aunque cada ganadero puede tener referencias para su zona, este criterio nos puede llevar a confusión porque, dependiendo de las condiciones climáticas concretas de cada año, **la planta puede modificar su ciclo fenológico** variando la altura a la que se llega al punto óptimo. Así, en años secos la planta adelanta la maduración y producción de semillas y el punto óptimo se alcanza con alturas inferiores.

- **Hojas basales marchitas o en senescencia.** Esta es una indicación general, válida para cualquier especie. Cuando las primeras hojas basales se marchitan o secan, es el momento de poner el ganado en el pasto.
- **Para las gramíneas,** el punto óptimo coincide con la aparición de los primordios florales en la base del tallo. En la práctica esto se determina cuando empiezan a espigar los primeros individuos del pasto.
- **Para las leguminosas,** el pasto está en su punto óptimo de reposo cuando un **30-50% de las plantas están florecidas**. Hay que tener cuidado porque en determinadas estaciones las plantas pueden estar permanentemente florecidas y este criterio no sirve.

En pastos con varias especies, que es la situación general y deseable, cada especie tiene un **ciclo vegetativo específico** que pocas veces coincide con el ciclo de las otras especies presentes en el pasto. Así pues, no hay un punto óptimo ideal para todas las especies, simultáneamente. Para poder decidir el tiempo óptimo de reposo en pastos mixtos existen dos alternativas:

- **En un pasto bien establecido, se calcula un punto óptimo de reposo promedio,** el más próximo posible a la mayoría de las especies, y evitando que las especies importantes estén por debajo de su punto óptimo.
- También **se puede priorizar una determinada especie,** bien porque se desea aumentar su densidad o porque presenta un evidente nivel de degradación. En este caso se gestiona todo el pasto (tiempo óptimo de reposo) en base a esta especie que se quiere incrementar o proteger, sin tener en cuenta la situación de las demás.

Tipos de especies de pasto y combinaciones de ellas

Los pastos son recursos vegetales que sirven de alimento al ganado. Los pastos herbáceos pueden surgir de manera espontánea o bien se pueden sembrar. La mayoría de las especies de pasto no presentan mucha altura y las raíces no suelen ser muy profundas, generando un tapiz herbáceo diverso y denso. Estas especies presentan una gran adaptación al pastoreo o a la siega. Pertenecen fundamentalmente a dos grandes familias: las gramíneas y las leguminosas. En los prados, las mezclas de dos o más especies forrajeras, principalmente gramíneas y leguminosas, ofrecen más ventajas que las siembras puras.



Figura 1. Primer plano de la gramínea dácilo (*Dactylis glomerata*). Foto: MJ Broncano



Figura 2. Primer plano de la leguminosa alfalfa (*Medicago sativa*). Foto: MJ Broncano

■ Especies de pasto

El pasto, según la Sociedad Española de Pastos (SEP), “es **cualquier recurso vegetal que sirve de alimento al ganado**, bien directamente (en pastoreo) o bien como forraje”. Los **pastos herbáceos** se constituyen con gramíneas, leguminosas y otras especies de carácter herbáceo que pueden surgir de manera espontánea o bien se pueden sembrar. Estos pastos pueden incluir otras especies arbustivas y/o arbóreas, que pueden también alimentar el ganado, siempre que las gramíneas y otros forrajes herbáceos sigan siendo predominantes, son los **pastos arbustivos** y los **pastos arbóreos**, respectivamente. También se incluyen los pastos de origen agrícola, que han sido cultivados, y dan lugar a los **cultivos forrajeros**.

La mayoría de las especies de pasto son plantas que **suelen vivir varios años o son perennes**. Por lo general no presentan mucha altura y las raíces no suelen ser muy profundas generando un tapiz herbáceo diverso y denso. Estas especies presentan una **gran adaptación al pastoreo o a la siega** (henificado o ensilado) y, con un manejo adecuado, pueden utilizarse para cualquiera de estos casos. En función de las condiciones geográficas, edáficas y climatológicas donde se encuentre el prado contendrá unas especies u otras adaptadas a esas condiciones.

Las especies que crecen en los pastos pertenecen fundamentalmente a dos grandes familias: las **gramíneas** y las **leguminosas (Tabla 1)**. También tienen cierta importancia, pero en menor grado, las familias de las **compuestas**, las **crucíferas** y las **quenopodiáceas**.

- La familia más abundante en los prados son las **gramíneas (Figura 1)**. Esta es una familia muy amplia que incluye especies de gran utilidad para la alimentación animal, bien sea por pastoreo o siega. Son la principal **f fuente de energía** para el ganado, con valores altos de fibra, pero con un bajo aporte proteico. Esto hace que presenten una **baja digestibilidad** y frecuentemente muestran deficiencias en minerales. Son plantas que necesitan del N para crecer.
- El segundo grupo en importancia forrajera es la familia de las **leguminosas (Figura 2)**. Se trata de especies que producen forrajes de **gran calidad nutritiva** para los animales por su riqueza en proteínas y **alta digestibilidad**. Esto se debe a la capacidad de fijar N atmosférico. Son plantas más selectivas respecto al medio que las gramíneas y presentan semillas duras que generan un banco de semillas en el suelo de larga duración. Si bien su consumo por los animales tiene un componente beneficioso por el **efecto antimicrobiano** de sus metabolitos secundarios, también son necesarias algunas precauciones, ya que su ingestión directa puede provocar **timpanismo** en el animal (excepto el loto y la esparceta).

	Especie	Vida	Talla	Periodo de deestablecimiento	Rapidez de implantación	Productividad	Resistencia al pastoreo	Palatabilidad	Calidad nutritiva	Resistencia a heladas	Resistencia a la sequia
GRAMÍNEAS	RAY GRASS INGLÉS (<i>Lolium perenne</i>)	Perenne	80 cm	Primavera-Otoño	Muy alta	10-12 Ton MS/Ha primer año	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja
	DACTILO (<i>Dactylis glomerata</i>)	Perenne	60-120 cm	Primavera	Media	9 Ton MS/Ha	Alta	Baja	Alta	Media	Media
	CEBADA (<i>Hordeum vulgare</i>)	Anual	20-120 cm	Primavera-Otoño	Alta	5-8 Ton MS/Ha	Media	Media	Media	Media	Media
	AVENA (<i>Avena sativa</i>)	Anual	150 cm	Otoño	Alta	11 Ton MS/Ha	Media	Alta	Alta	Baja	Baja
LEGUMINOSAS	ALFALFA (<i>Medicago sativa</i>)	Perenne	10-80 cm	Otoño	Muy alta	8-12 Ton MS/Ha	Media	Alta	Muy alta	Alta	Alta
	ESPARCETA (<i>Onobrychis viciifolia</i>)	Perenne	15-80 cm	Primavera-Otoño	Alta	4-5 Ton MS/Ha	Media	Alta	Alta	Alta	Alta
	TRÉBOL BLANCO (<i>Trifolium subterraneum</i>)	Anual	20-30 cm	Otoño	Baja	2-12 Ton MS/Ha	Muy alta	Alta	Alta	Baja	Alta
	VEZA (<i>Vicia sativa</i>)	Anual	60-150 cm	Otoño	Alta	6-8 Ton MS/Ha	Media	Alta	Alta	Media	Alta
OTRAS FAMILIAS	COLZA (<i>Brassica napus</i>)	Anual o Bianual	30-150 cm	Finales de verano	Alta	9 Ton MS/Ha	Baja	Alta	Muy alta	Alta	Alta
	ORGAZA (<i>Atriplex halimus</i>)	Perenne	100-300 cm	Primavera-Otoño	Media	1-5 Ton MS/Ha	Alta	Baja	Baja	Alta	Alta

Tabla 1. Características de las principales especies de pasto. MS, materia seca.

• También podemos encontrar **otras familias**: brasicáceas, quenopodiáceas, solanáceas, compuestas, etc. Están presentes en abundancia variable y pueden ser anuales o perennes. Tienen un **papel regulador de la biodiversidad** y aportan al ganado, además de alimento, compuestos antioxidantes o medicinales, entre otros. Suelen utilizarse como cultivos forrajeros.

En los prados las **mezclas o asociaciones** entre dos o más especies forrajeras, principalmente gramíneas y leguminosas, ofrecen **ventajas con respecto a las siembras puras**. Una de las mejoras más destacadas es a nivel de la calidad nutritiva del prado: las gramíneas ofrecen los hidratos de carbono mientras que las leguminosas **aportan las proteínas y sales**

necesarias para el ganado. La mezcla de especies también favorece la disminución del riesgo de meteorización o timpanismo del ganado, debido principalmente al consumo directo de leguminosas. El suelo se ve enriquecido gracias a la facultad de las leguminosas de fijar en el suelo el nitrógeno atmosférico, esto beneficia a las gramíneas y **evita el abonado**. Además, el hecho de tener especies con diferentes características de crecimiento, precocidad y tamaño, asegura diferentes producciones a lo largo del año y **favorece el aprovechamiento por parte del ganado**. La vida del prado se prolonga, ya que las diferentes especies se van sucediendo en la producción. Por último, la mezcla de especies también confiere **diversidad** de flora y de fauna y **estabilidad**, al minimizar los efectos climáticos o de gestión.

Necesidades y comportamiento de los animales en el pasto

El manejo del pasto requiere combinar las características de su funcionamiento con las necesidades y comportamiento de los animales. Los aspectos a considerar para el manejo del pasto son: 1) la forma de comer de los animales, 2) la cantidad que comen, 3) las necesidades nutricionales que tienen, y 4) el impacto que provocan en la parcela. Estos aspectos varían considerablemente si se lleva a cabo un pastoreo libre en toda la superficie de pasto, o si se emplea un pastoreo intensivo controlado en el que el pasto se divide en parcelas y el rebaño entra únicamente en una de ellas cada día.



Figura 1. Rebaño de vacas siguiendo un pastoreo libre en el Pla de la Calma (Montseny, Barcelona). Foto: MJ Broncano.

Para alcanzar el máximo rendimiento en el manejo del pasto, deben combinarse las características del funcionamiento de la planta con el comportamiento y necesidades de los animales. Los **aspectos a considerar para el manejo del pasto** son: 1) la forma de comer de los animales, 2) la cantidad que comen, 3) las necesidades nutricionales que tienen, y 4) el impacto que provocan en la parcela. Para entender el funcionamiento del animal consideraremos un pasto con comida para alimentar un rebaño de vacas durante 10 días. A lo largo de esta ficha compararemos dos situaciones diferentes: (i) **pastoreo libre**, en el que los animales disponen desde el primer día al último de toda la superficie de pasto (Figura 1); (ii) **pastoreo intensivo controlado**, en la que el pasto se divide en 10 parcelas y se introducen los animales cada día en una parcela diferente (Figura 2).

■ Forma de comer de los animales

Los animales comen de manera diferente si tienen un espacio grande disponible durante bastantes días o si el espacio es más pequeño y lo disfrutan durante menos tiempo.

- **En el pastoreo libre**, los animales deambulan por la zona de pasto y van eligiendo las plantas que más les interesan, realizando un pastoreo selectivo de las mismas. Esto quiere decir que el primer día los animales comen las plantas que más le gustan. En los días sucesivos, **a medida que las mejores plantas se agotan, empiezan a comer las plantas que menos les atraen**, y, así, sucesivamente

hasta los últimos días en los que se acaban comiendo las plantas menos beneficiosas. El pastoreo libre implica que cada día los animales cambian de alimentación, de forma que tiene un efecto negativo sobre la producción.

- **En el pastoreo intensivo controlado**, los animales solo disponen cada día de la cantidad de alimento necesario (una décima parte del prado) (Figura 3). En estas condiciones el comportamiento de pastoreo de los animales cambia y pastan de una forma más agresiva, en la que **saben que deben comer todo lo que hay en la parcela**. Cuando se trata de un rebaño, al estar los animales en densidades altas, la presencia de los otros animales en un espacio reducido provoca que las vacas adquieran este **patrón de pastoreo agresivo**. El resultado de este comportamiento en la alimentación de las vacas es que los animales comen cada día la misma calidad de pasto (mezcla) y no hay un cambio de alimentación, al contrario que en el caso del pastoreo libre.

■ Cantidad que comen los animales

La cantidad que comen los animales también varía según si disponen de un espacio grande durante bastantes días o de un espacio pequeño durante menos tiempo.

- **En el pastoreo libre**, se ha observado que la cantidad de alimento que come una vaca desde el momento que entra en un prado nuevo disminuye de manera importante a lo largo de los días. Este comportamiento no se debe a la disminución de la cantidad o la calidad del pasto, sino



Figura 2. Rebaño de vacas en una parcela siguiendo un pastoreo intensivo controlado en la finca Planeses (Girona). Foto: MJ Broncano.

que va ligado al hecho de que el pasto se va pisando y ensuciando y al propio comportamiento del animal.

- **En el pastoreo intensivo controlado**, no se produce este efecto de la reducción de la cantidad de hierba comida ya que cada día se trata de un pasto nuevo.

■ Necesidades nutricionales de los animales

El tipo de pastoreo permite separar más o menos las diferentes necesidades nutricionales que pueden tener los animales en un rebaño.

- **En el pastoreo libre**, todos los animales tienen la misma alimentación, independientemente de que sus necesidades nutricionales sean diferentes (las necesidades nutricionales dependen de la edad, el sexo y el estado reproductivo de cada individuo).
- **En el pastoreo intensivo controlado**, el ganadero puede dividir el rebaño en dos lotes, uno con las **necesidades nutricionales más altas, y otro con los individuos con menos necesidades nutricionales**. El lote con mayores requisitos nutricionales puede entrar primero en las parcelas y aprovecharán las partes superiores de las plantas, que tienen mayor valor nutricional. Una vez sale este, entra el segundo lote, con necesidades nutricionales menores, que come las partes intermedias e inferiores de las plantas.

■ Impacto de los animales sobre la parcela

El impacto de los animales sobre las parcelas es diferente según el tipo de pastoreo, ya que el sobrepastoreo del pasto y la compactación del suelo dependen de si están más o menos tiempo en la parcela.

- **En el pastoreo libre**, los animales permanecen en la parcela varios días, con lo cual, para estaciones de crecimiento favorable, el rebrote de las primeras plantas comidas (las mejores para la vaca) se inicia estando los animales todavía en la parcela. Los animales seleccionan principalmente estos rebrotes, por lo que **no se respetan las necesidades de la planta y se produce un sobrepastoreo**. Además, el comportamiento divagante de los animales a lo largo de toda la parcela durante toda su estancia (bastantes días en muchos casos de pastoreo libre), tiene un importante efecto sobre la compactación del suelo.
- **En el pastoreo intensivo controlado**, las vacas solamente están un día en cada parcela y, por lo tanto, **no tienen tiempo de comerse los rebrotes de las primeras plantas que se comieron**. Además, el efecto de compactación por pisoteo desaparece porque las vacas solamente están un día en la parcela, se mueven menos y la parcela tiene un tiempo de recuperación (días de descanso) muy elevado.



Figura 3. En el pastoreo intensivo controlado el pasto está dividido en parcelas, y los animales permanecen poco tiempo en cada una. Foto: Ángela Justamante.

Tipos de animales domésticos de granja

Los principales tipos de animales domésticos de granja se agrupan en dos grandes categorías en función del aparato digestivo que poseen y del tipo de alimento que consumen: animales rumiantes o poligástricos (vacas, ovejas y cabras) y animales monogástricos (cerdos, aves y conejos). En esta ficha se describen algunas de las características que distinguen a estas especies: tipo de alimentación, tamaño, aprovechamiento principal, necesidades energéticas, uso del medio, alimentos preferidos y promedio de emisiones de CO₂ de cada una.



Figura 1. Pollos comiendo en un prado en la granja Planeses. Foto: AVVideo.

En las granjas se pueden producir **distintos tipos de animales** en función de los productos finales que se quieran obtener. Según la especie animal que se introduzca hablaremos de diferentes clases de ganado: **vacas** (ganado bovino), **ovejas** (ganado ovino), **cabras** (ganado caprino), **cerdos** (ganado porcino) y otras menos comunes, pero no por ello menos importantes como **aves** (avicultura) (**Figura 1**) o **conejos** (cunicultura).

Este conjunto de animales se agrupa en dos grandes tipologías en función del aparato digestivo que poseen y que va a determinar el tipo de alimento que consuman (**Tabla 1**): animales **rumiantes** o **poligástricos** (vacas, ovejas y cabras) y animales **monogástricos** (cerdos, aves y conejos).

Todos los **animales rumiantes son herbívoros**. Poseen un estómago dividido en 4 compartimentos con una boca especializada en captar el pasto: con una lengua larga y áspera y unos incisivos que sujetan la hierba y permite su corte. Entre ellos podemos distinguir **diferentes tipos en función de la parte vegetal que consumen**. Así, entre las especies de granja encontramos que tanto las vacas como las ovejas son rumiantes pastoreadores, alimentándose

principalmente de pasto herbáceo, con boca más ancha para captar mayor volumen de hierba. Por su parte, las cabras son rumiantes ramoneadores, además de pasto se alimentan de hojas, brotes, semillas, frutos, capullos y corteza, poseen un cuello con músculos más desarrollados para poder alcanzar y masticar alimentos más resistentes. En cambio, los animales monogástricos tienen un solo estómago (excepto las aves). Muchos de ellos pueden consumir gran variedad de alimentos: los cerdos, las gallinas y patos son omnívoros mientras que los conejos son herbívoros. Todos poseen **diferentes formas de masticar los alimentos** (excepto las aves que no tienen dientes sino molleja) y **diferente digestión**.

Las **necesidades nutritivas dependen principalmente del sexo, la edad y del estado fisiológico** en el que se encuentra el animal. Dentro de una misma especie, las necesidades energéticas, y, por lo tanto, el uso de los recursos, variarán en función de la finalidad productiva que esta posea: **carne, leche o huevos (Tabla 1)**. Así, para un animal en producción lechera será básico conocer el momento del ciclo productivo en el que se encuentra: si está lactando y produciendo leche o si está en periodo de secado.

	Especie	Tipo alimentación	Tamaño	Aprovechamiento	Necesidades energéticas *	Uso del medio	Alimentos preferidos	Promedio de emisiones de CO ₂ (kg eq/kg proteína)
RUMIANTES	VACAS (<i>Bos primigenius taurus</i>)	Herbívoro pastoreador	Grande (toro: 300 a 900kg)	Carne (peso 600kg)	Final gestación: 8,7 Inicio lactancia: 9,7	Pastos herbáceos, arbustivos y arbolados	Brotos de especies arbóreas y arbustivas como la encina, roble, madroño, coscoja, el lentisco...bellotas	295
				Leche (peso 600kg)	Final gestación: 7,6 Inicio lactancia: 22,6	Pastos herbáceos	Pasto, hierbas y plantas: tallos, semillas, hojas y raíces.	87
	OVEJAS (<i>Ovis aries</i>)	Herbívoro pastoreador	Mediano (macho: 45 a 160 kg)	Carne (50kg)	0,62	Pastos herbáceos, arbustivos y arbolados	Brotos de especies arbóreas y arbustivas como la encina, el madroño, el brezo, el lentisco...	201
				Leche (50kg)	Mantenimiento: 0,41 Inicio lactancia: 0,83	Pastos herbáceos	Pasto, hierbas y plantas: tallos, semillas, hojas y raíces.	148
	CABRAS (<i>Capra aegagrus hircus</i>)	Herbívoro ramoneador	Mediano (20 a 140 kg)	Carne (50kg)	Mantenimiento: 0,6-0,8 Inicio lactancia: 0,9	Pastos herbáceos, arbustivos y arbolados	Pastos Arbustivos: Jara, Retama y Lentisco. Frutos: Bellota y Algarroba. Restos de Cultivos: Rastrojeras	201
				Leche (50kg)	Mantenimiento: 0,69 Inicio lactancia: 1,20	Pastos herbáceos	Pasto, hierbas y plantas: tallos, semillas, hojas y raíces.	148
MONOGÁSTRICOS	CERDOS (<i>Sus scrofa domestica</i>)	Omnívoro	Mediano - Grande (110 a 360kg)	Carne	Mantenimiento: 2850 Inicio lactancia: 3100	Pastos herbáceos, arbustivos y arbolados	Cereales, frutos, vegetales, insectos, pequeños mamíferos, restos vegetales y animales...	55
	GALLINAS (<i>Gallus gallus domesticus</i>)	Omnívoro	Pequeño (0,62 a 4 kg)	Carne	2950-3180	Pastos herbáceos	Cereales, pasto fresco, aprox. gusanos, insectos...y semillas	35 (pollo)
				Huevos	2850-3450	Pastos herbáceos		31 (gallinas)
	PATOS (<i>Anas sp.</i>)	Omnívoro	Pequeño (0,72 a 1,6 kg)	Carne	2400-3200	Pastos herbáceos	Semillas, cereales, plantas, insectos, algas, peces	sin datos
CONEJOS (<i>Oryctolagus cuniculus</i>)	Herbívoro pastoreador	Pequeño (1 a 2,5 kg)	Carne	2140-2380	Pastos herbáceos	Hierbas: gramíneas> leguminosas y compuestas> umbelíferas (zanahorias), corteza y hojas de árbol	sin datos	

Tabla 1. Características de los principales tipos de animales domésticos de granja. * Ruminantes: Unidades forrajeras (UFL)/día, Cerdos, gallinas, patos y conejos: energía metabolizable (EM) (kcal/kg).

Principales razas de animales domésticos de granja

Las razas ganaderas se han originado por la adaptación de los animales a su entorno medioambiental y geográfico y la acción dirigida por el hombre para incrementar la producción de los animales de granja. El conjunto de razas de nuestro país está recopilado en el Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España (2019) que las distingue entre razas autóctonas de fomento, autóctonas en peligro de extinción y las razas integradas, de fuera de la Península. En esta ficha se exponen algunas de las razas más representativas de los diferentes tipos de ganadería.

Una raza se define como una población de animales suficientemente uniforme como para que se la pueda considerar diferente de otros animales de la misma especie (Reglamento 2016/1012, de 8 de junio de 2016 sobre cría animal). Existen dos factores principales que dan origen de las razas ganaderas:

1) **La acción medioambiental y geográfica:** dependiendo del lugar en el que viven, los animales han ido modificando su morfología y fisiología con la finalidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales. En este grupo entran las **razas autóctonas**, con sistemas de producción tradicionales, que requieren animales que, aunque menos productivos, gozan de características funcionales muy valiosas, que los convierten en singulares en sus lugares de producción y que permiten avanzar hacia una necesaria sostenibilidad (Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España, 2019).

2) **La acción del hombre mediante la reproducción dirigida:** las especies ganaderas son mejoradas con fines productivos. Así, las razas lecheras han sido mejoradas para tener unas ubres grandes, con gran potencial para producir leche, mucho más de lo que necesita la cría para su desarrollo. **Las razas destinadas a carne suelen ser de mayor tamaño**, más prolíficas y precoces: se desarrollan más rápidamente y alcanzan antes la madurez sexual.

En España las principales razas ganaderas presentes en el territorio se reúnen en el **Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España (2019)**. Allí se encuentran desde las **"razas autóctonas"** que podrán ser bien de **"fomento"** (en expansión) o bien **"en peligro de extinción"**, hasta las **"razas integradas"** procedentes de fuera de la Península, que llevan más de 20 años en el territorio y presentan controles de genealogía y rendimiento.

A continuación, se exponen algunas de las razas más destacadas dentro de cada tipo de ganadería y finalidad productiva.



Figura 1. Rebaño de vacas de la raza Simmental o Fleckvieh, que es la raza que se emplea en Polyfarming. Foto: Maria Josep Broncano.




■ Razas de vacuno

En España existen **46 razas de vacas**, que incluyen 8 razas de fomento, 32 razas en peligro de extinción y 6 razas integradas con rendimientos conocidos. Las más representativas son:

a) Vacas de carne

MORUCHA		RUBIA GALLEGA		BRUNA DE LOS PIRINEOS	
<p>Raza autóctona de fomento localmente adaptada a la zona de dehesa que proviene del Tronco Negro Ibérico. Presenta la fertilidad más alta de todas las razas cárnicas españolas, con una productividad de 0,75 terneros/año.</p>		<p>Raza autóctona de fomento de más de 500 años antigüedad originaria de Galicia. Se caracteriza por ser muy rústica y fácilmente adaptable a cualquier territorio. Docilidad y mansedumbre que facilita su manejo. Productividad de 0,69 terneros/año.</p>		<p>Raza en peligro de extinción extendida en el Pirineo y Prepirineo catalán. Se cría en extensivo en pastos de alta montaña, con trashumancia desde los valles. Animal dócil.</p>	

b) Vacas de leche

FRISONA		PARDA		SIMMENTAL	
<p>Raza integrada que es la primera en producción lechera y en producción de queso en España. Representa el 60% del censo total.</p>		<p>Raza integrada que ocupa el segundo lugar en producción láctea para la fabricación de quesos. Abundante en el litoral cantábrico: Asturias, Santander y País Vasco, donde se ha aclimatado fácilmente.</p>		<p>Raza integrada con más de cuatro décadas en España. Es de las más importantes y de mayor distribución mundial con doble propósito, producen leche y carne. Es la más fértil entre las razas.</p>	

■ Razas de ovino

En España hay **44 razas autóctonas de ovejas**, de las cuales 10 son de fomento y 34 están consideradas en peligro de extinción. De razas integradas hay 4, más 2 razas que son foráneas y que se encuentran en expansión.

a) Ovejas de carne

CHURRA		MERINA		RIPOLLESA	
<p>Raza autóctona de fomento rústica y de las más primitivas de la Península. Censo muy elevado, con gran producción tanto de leche como de lechazos de alta calidad.</p>		<p>Raza autóctona de fomento, ya descrita por los romanos. Es la raza más apreciada por todo el mundo para la producción de lana y la raza que ha dado origen a la mayoría de las razas cárnicas actuales.</p>		<p>Raza autóctona en peligro de extinción. Es de origen catalán. Muy rústica, aprovecha recursos de difícil valorización cuando falta forraje. Su carne está relacionada con la tradición gastronómica tradicional.</p>	

b) Ovejas de leche

LATXA		MANCHEGA		CARRANZANA	
<p>Raza autóctona de fomento, abundante en el nordeste peninsular. Adaptada a zonas montañosas y elevada pluviometría. Leche destinada a producción de quesos D.O.P Idiazabal y Roncal. Lana basta y larga.</p>		<p>Raza autóctona de fomento, que debe su nombre a la zona geográfica donde más abunda. Adaptada a climas secos y calurosos. Elevada rusticidad. Instinto gregario. Alta longevidad y vida útil. Producción de queso con D.O.P Manchego.</p>		<p>Raza autóctona de fomento abundante en el norte peninsular. Adaptada a zonas montañosas y elevada pluviometría. Utilizada para la producción de queso de D.O.P Idiazabal.</p>	

Principales razas de animales domésticos de granja

Razas de caprino

Encontramos un total de **22 razas descritas en el catálogo**, de las cuales 3 son de fomento y 19 reciben la catalogación de "en peligro de extinción". Destacan las siguientes:

a) Cabras de carne

RETINTA



Raza autóctona en peligro de extinción. Su nombre procede del color rojo de su capa. Raza cuyo origen se considera muy antiguo. Se cría en extensivo en Extremadura para su carne: "chivo lechal".

MALLORQUINA



Raza autóctona en peligro de extinción. Se extiende por las Sierra de la Tramuntana y de Llevant de la isla de Mallorca. Se cría de manera extensiva y es apreciada por su carne y por su cornamenta (hecho que ha generado cotos de caza).

PIRENAICA



Raza autóctona en peligro de extinción. Se originó y se distribuye en los Pirineos, principalmente en el aragonés. Es una raza adaptada a los climas fríos de montaña cuyo uso productivo principal es la carne.

b) Cabras de leche

MURCIANO-GRANADINA



Raza autóctona más numerosa en España cuyo origen procede del sudeste peninsular. Es apreciada por la alta producción de leche y por el contenido en grasa de ésta. Es fundamental en la elaboración de los Quesos de Murcia con D.O.P.

MALAGUEÑA



Raza autóctona, originaria de Málaga. Compagina la gran producción de leche con la producción de chivo lechal de gran calidad. Presenta una elevada rusticidad, siendo muy adaptable a distintos sistemas de producción y ambientes, incluso en zonas muy desfavorecidas.

FLORIDA



Raza autóctona cuyo nombre procede del pelaje moteado rojo sobre fondo blanco o viceversa. Raza que se extiende por Andalucía y Extremadura. Animal de gran rusticidad apreciada por su producción de leche con alto contenido en grasa.

Razas de porcino

Hay **16 razas de cerdos en la Península**, de las cuales 3 están declaradas de fomento, 9 en peligro de extinción y 4 como razas integradas. De entre éstas destacamos:

IBÉRICO



Raza autóctona evolucionada a partir del *Sus scrofa ferus*. Sistema tradicional de explotación de cebo extensivo con aprovechamiento de recursos naturales de la dehesa (hierbas y bellotas). Los productos de cerdo ibérico presentan gran calidad gastronómica.

DUROC



Raza integrada procedente de los EEUU ampliamente distribuida en Europa. Es rústica y adaptada a climas cálidos. Destaca por proporcionar calidad a la carne por la grasa infiltrada en los productos.

CELTA



Raza autóctona en peligro de extinción. Originaria del Tronco Celta de origen europeo. Tradicionalmente la raza se ha explotado en régimen extensivo en la comunidad gallega. Destacan entre sus productos el lacon gallego y el chorizo gallego.

■ Razas de aviar

Entre las razas oficiales existen **20 razas de gallinas reconocidas en España**. De éstas 19 están consideradas en peligro de extinción. Otras razas, aunque no están en el catálogo, son muy utilizadas tanto para la producción de carne como la de huevos.

a) Gallinas de carne

CORNISH		BROILER		EMPORDANESA
<p>Raza no incluida en el Catálogo oficial. Debe su nombre a que proceden del condado de Cornualles. Estos pollos, así como los cruces de Cornualles, son la raza más utilizada en la industria de la carne de pollo. Son pájaros pesados y musculosos con carne abundante y jugosa.</p>		<p>Raza no incluida en el Catálogo oficial. La variedad Broiler proviene del cruce entre un macho de raza Cornish y una hembra Barred Rock hacia 1930. Esta variedad se desarrolló para la producción de carne ya que los pollos crecen muy rápidamente y producen una carne muy apreciada.</p>		<p>Raza autóctona en peligro de extinción. Originaria de la comarca catalana del Empordà. Es semipesada con doble aptitud: carne y huevos. Adaptada a las bajas temperaturas del invierno mediterráneo.</p>

b) Gallinas de huevos

CASTELLANA NEGRA		MENORQUINA		PLYMOUTH ROCK barrada	
<p>Raza autóctona en peligro de extinción. Esta raza ligera se cree que fue traída por los árabes. Extendida por toda la península es más abundante en el centro. Es una raza muy rústica y resistente a las enfermedades. Gran productora de huevos de gran tamaño.</p>		<p>Raza autóctona en peligro de extinción. Seleccionada por los ingleses durante la ocupación en Menorca en el s.XVIII, fue distribuida a nivel internacional. Se trata una gallina de rusticidad media con gran aptitud para la producción de huevos.</p>		<p>Raza no incluida en el Catálogo oficial. Originaria de Estados Unidos, fue importada a Europa hacia 1880. Raza semipesada, considerada como una de las mejores razas de doble propósito, aunque la variedad barrada destaca por la producción de huevos.</p>	

■ Razas de conejos

El conejo europeo (*Oryctolagus cuniculus*) fue catalogado en el 2019 como una **especie en peligro** por la UICN. De la domesticación de esta especie surgieron muchas razas para diferentes usos: pelo, piel, carne o mascotas. **En España existen dos razas cárnicas** que se encuentran en peligro de extinción.

COMÚN DOMÉSTICO O PARDO ESPAÑOL		GIGANTE ESPAÑOL		NEOZELANDÉS	
<p>Raza autóctona en peligro de extinción. Su origen se cree en la época romana y es considerado una de las razas más primitivas. Destaca por su rusticidad y discreta reproducción. Se ha visto desplazado por razas más grandes y productivas.</p>		<p>Raza autóctona en peligro de extinción. Surgió a principios del siglo XX, se extiende en diferentes núcleos de crianza por el territorio español. Son animales de maduración lenta que producen una carne muy magra.</p>		<p>Raza no incluida en el Catálogo oficial. Conejo muy extendido por todo el mundo, surgió en 1912 en Estados Unidos con la función de producir carne. En general es una raza prolífica, con hembras muy fértiles, buenos índices de crecimiento y buen rendimiento en canal.</p>	

Fotos provenientes de Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España, con permiso de MAPA.
Foto conejo raza neozelandés: Unplash, Minsha Walker

El papel de los escarabajos coprófagos en los pastos con ganado

En los pastos ganaderos se producen una gran cantidad de excrementos. Los escarabajos coprófagos juegan un papel fundamental en el reciclado de este estiércol, ya que entierran la materia orgánica para alimentarse y reproducirse, y, al mismo tiempo, destruyen los huevos y larvas de moscas y otros parásitos mientras remueven el suelo. Por estas razones, los escarabajos coprófagos son necesarios para cerrar el ciclo de la incorporación de la materia orgánica de los excrementos al suelo.

■ Dinámica del estiércol en los pastos ganaderos

En los pastos ganaderos, la producción forrajera depende estrechamente del reciclaje de la materia orgánica producida y de la **cantidad de nutrientes disponibles**. Gran parte de esta materia orgánica procede de los excrementos de los animales. Para que nos hagamos una idea, un bovino adulto produce 12 boñigas diarias en promedio, de manera que cada ejemplar puede liberar de 4 a 6 kilos diarios de materia seca en sus excrementos. Esta es una cantidad enorme. Afortunadamente, **el estiércol desaparece** rápidamente de manera natural durante gran parte del año por **acción de los escarabajos coprófagos**, que entierran esta materia orgánica para alimentarse y reproducirse (**Figura 1**). Al enterrar el estiércol, se destruyen los huevos y larvas de moscas y otros parásitos y se remueve el suelo, con lo que se incrementa su permeabilidad y aireación. La cantidad de estiércol enterrado por los escarabajos estercoleros depende del tamaño y la abundancia de individuos de cada especie (Lumaret y Martínez, 2005). Las especies grandes **pueden enterrar hasta 500 gramos de estiércol** por individuo en una noche.

Sin embargo, **cundo no hay escarabajos** o su número es muy bajo, las boñigas no son enterradas y **pueden permanecer sobre el pasto durante meses, incluso años**. Tal como se explica detalladamente en el libro de Begon et al. (2006), un ejemplo emblemático de este fenómeno se produjo en Australia. Durante los últimos dos siglos la población de vacas había aumentado de solo siete individuos (traídas por los primeros colonos ingleses en 1788) a unos 30 millones. Todas estas vacas producían alrededor de 300 millones de boñigas por día, que cubrían hasta 2,5 millones de hectáreas por año con estiércol. Los detritívoros nativos australianos no eran capaces de degradar estos excrementos, de manera que la pérdida de pastos debajo del estiércol supuso una enorme carga económica para la agricultura australiana. Al final, se tomó la decisión en 1963 de llevar a Australia escarabajos coprófagos de origen africano, capaces de enterrar el estiércol bovino, para volver a hacer productiva la ganadería del país.

■ Tipos de escarabajos coprófagos

Los escarabajos coprófagos utilizan una gran variedad de recursos alimenticios, en donde los excrementos de mamíferos son el principal recurso, seguido en



Figura 1. Escarabajos coprófagos alimentándose de una boñiga de vaca. Foto: ID 126525345 © Charissa Lotter | Dreamstime.com.

importancia por la carroña. Los escarabajos presentan un comportamiento diferente a la hora de manipular el estiércol para su alimentación y reproducción (Martínez et al. 2015). Esto permite clasificarlos en tres grupos (**Figura 2**): (i) **escarabajos cavadores**, que separan porciones de estiércol y las entierran debajo de la boñiga a través de galerías; (ii) **escarabajos rodadores**, que cortan bolas de estiércol y luego las transportan a cierta distancia con las patas traseras para enterrarlas (son los típicos escarabajos peloteros); (iii) **escarabajos moradores**, que no mueven el alimento, sino que permanecen dentro o debajo de la boñiga. Las principales características y representantes de estos tres grupos los tenemos en la Tabla 1.

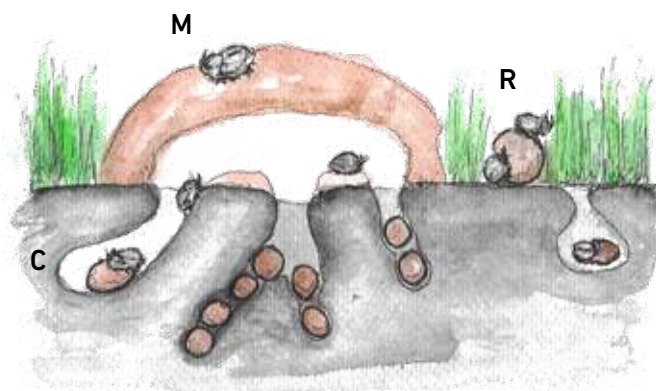


Figura 2. Representación de una boñiga y la manera en que los tres tipos de escarabajos coprófagos aprovechan el estiércol. C, cavadores; M, moradores; R, rodadores. Dibujo acuarela: Victoria Wainer, basada en una figura de: Martínez et al. (2015) La cría de escarabajos estercoleros. Secretaría de Educación de Veracruz, México.




Tipos de escarabajos	Manera de aprovechar el estiércol	Características morfológicas	Géneros destacados	Imagen
Cavadores	Entierran trozos de estiércol debajo de la boñiga donde hacen el nido	Especies robustas, con las patas delanteras cortas y anchas adaptadas para cavar con facilidad. Gran dimorfismo sexual	<i>Geotrupes</i> <i>Copris</i> <i>Onthophagus</i>	
Rodadores	Transportan bolas de estiércol lejos de la boñiga para hacer el nido	Menos robustos pero con patas traseras más largas y mejor adaptadas para el transporte	<i>Scarabeus</i> <i>Sisyphus</i>	
Moradores	Permanecen dentro o debajo de la boñiga sin hacer nido	Pequeños y sin dimorfismo sexual	<i>Aphodius</i>	

Tabla 1. Principales características de los tres grupos de escarabajos coprófagos.

■ Ciclo de vida

El estiércol es un recurso de uso múltiple a lo largo de todo el ciclo de vida de los escarabajos coprófagos: los adultos obtienen nutrientes de la fracción líquida y **las larvas se alimentan de la parte sólida**; pero al mismo tiempo, el estiércol sirve como lugar de encuentro de los adultos para la cópula y de puesta de los huevos (Martínez et al. 2015).

En cada bola o masa de estiércol que se ha amasado o enterrado, la hembra pone un huevo. Las bolas de estiércol se endurecen y secan en la superficie, pero se mantienen húmedas y frescas en el interior, de manera que las larvas pueden desarrollarse y acaban convirtiéndose en adultos. Los adultos jóvenes emergen a la superficie, se alimentan intensamente y, al cabo de un tiempo, buscan una pareja, preparan el nido e inician de nuevo el ciclo reproductivo.

La **época reproductiva** de la mayoría de las especies de escarabajos coprófagos se concentra durante el **verano**, aunque se prolonga hasta el otoño. En ese momento, los adultos jóvenes o estadios de desarrollo se entierran en diapausa hasta la siguiente temporada de lluvias en primavera, en que emergen y se empiezan a reproducir (Lumaret y Martínez 2005). La mayoría de las especies de escarabajos coprófagos tienen como descendencia **una sola generación al año** (especies univoltinas), aunque algunas especies pueden tener dos al año (bivoltinas) e incluso más de dos (multivoltinas).

■ Beneficios ambientales y económicos de los escarabajos coprófagos

Estos escarabajos coprófagos generan importantes beneficios ambientales y económicos a los ganaderos. Cuando no hay suficientes escarabajos en los pastos, se acumula el estiércol sobre el pasto durante meses, a veces años, y **aumentan las plagas como moscas y parásitos que dañan al ganado y a los humanos**. En ocasiones los pastos incluso se abandonan por no ser productivos. Esto representa grandes pérdidas económicas para los ganaderos que deben gastar grandes cantidades de dinero

para eliminar el estiércol del pasto. Sobre estas bases, se puede decir que **el valor económico de los insectos coprófagos es muy alto**. Por ejemplo, en Estados Unidos se ha estimado que, en ausencia de estos escarabajos, se gastarían 2 millones de dólares por año (Fincher 1981, en Lumaret y Martínez 2005).

■ El principal riesgo para los escarabajos coprófagos

El buen ajuste entre la fauna de escarabajos coprófagos de Europa occidental con la utilización de los excrementos del ganado permite normalmente minimizar estos problemas. Pero los ejemplos anteriores muestran el **peligro de lo que podría suceder si se destruyera** o simplemente se disminuyera la riqueza y diversidad de estos insectos.

En la actualidad, el principal riesgo para los escarabajos coprófagos son los **residuos de ciertos medicamentos que se encuentran en los excrementos del ganado** y pueden ser tóxicos para los insectos coprófagos. Estos productos, entre los que destaca la **ivermectina**, se utilizan sobre un largo espectro de especies endoparásitas y ectoparásitas del ganado, ya que actúan a una débil concentración y su persistencia en el organismo protege al animal durante varias semanas (Lumaret y Martínez, 2005). Precisamente debido a su persistencia, aparecen en las boñigas de los animales tratados y, por su gran toxicidad, **eliminan las larvas de escarabajos coprófagos** (Sánchez-Bayo y Wyckhuys, 2019), se bioacumulan en los insectos y se trasladan a otros animales que se alimentan de ellos (Verdú et al., 2020). Además, las boñigas de los animales tratados con ivermectina pueden ser más atractivas que aquellas de los animales no tratados, lo que aumenta los factores de riesgo para los insectos coprófagos. Esta mortalidad es un **gran riesgo para las explotaciones ganaderas**, ya que la desaparición, aunque sea temporal, de los escarabajos coprófagos puede alargar extraordinariamente el tiempo de desaparición de las boñigas de la superficie del suelo.

Análisis del pasto como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa

El pasto es un sistema productivo que cumple los criterios del modelo regenerativo cuando la gestión del ganado se controla, es decir, si los animales pastan en el momento óptimo. Este sistema mantiene su productividad cuando (1) hay una elevada diversidad de especies, (2) se mantiene el retorno de los materiales al pasto mediante los excrementos del ganado, (3) la gestión del ganado evita que haya compactación del suelo y sobrepastoreo, (4) un pasto bien gestionado tiene capacidad de compensar las salidas producidas por los aprovechamientos ganaderos, y (5) optimiza el uso del agua y ayuda a que el suelo tenga buena capacidad de infiltración y retención de agua.



Figura 1. En primavera hay una gran cantidad y diversidad de plantas que proporcionan un alimento abundante para el ganado (Santa Pau, Girona). Foto: MJ Broncano.

■ Aplicación de los criterios del sistema regenerativo a un pasto

El modelo productivo regenerativo sigue 5 criterios básicos que pueden aplicarse a un sistema pastoral.

(1) La diversidad de plantas.

En un pasto es fundamental pastorear en el punto óptimo para obtener la máxima producción y la máxima cantidad de alimento para la red trófica del suelo. Para que este alimento sea más diverso, es necesario que haya una **elevada diversidad de plantas gestionadas adecuadamente (Figura 1)**. Esta elevada diversidad permite que, en cualquier época del año, haya una especie que **produzca lo máximo posible en esa época** para mantener el funcionamiento de la actividad biológica del suelo. Así, en los lugares donde los inviernos son fríos, pero todavía permiten la producción del pasto, el hecho de que haya determinadas especies en la mezcla que puedan crecer en esas condiciones hará que la producción del pasto en esa época sea significativa. Lo mismo pasa con los veranos secos, hay especies más tolerantes a la sequía que pueden crecer, aunque haya poca agua disponible. Evidentemente todo esto tiene un límite, porque en determinados extremos de frío o de sequía ninguna especie de pasto puede crecer.

La **mayor diversidad** de plantas en cada momento permite mejorar el valor nutricional, tanto para la cadena trófica del suelo como para el ganado. Un caso característico es el de

las **leguminosas**: en ocasiones no son las plantas que tienen la máxima productividad, pero **incorporarlas en la mezcla de especies es fundamental**, ya que fijan nitrógeno lo que aumenta la fertilidad del suelo. En otros casos hay especies como el **centeno** que **ayudan a reducir la presencia de especies adventicias**, especialmente al principio de la instalación del pasto, o tienen otras características que mejoran el funcionamiento general del sistema.

(2) El retorno de los materiales vegetales al suelo.

El retorno de la parte aérea se produce mayoritariamente a través de los excrementos del ganado (**Figura 2**). Estos excrementos se descomponen en el pasto principalmente por efecto de los **escarabajos coprófagos** y otros insectos. Por ello, si los excrementos tienen productos químicos que afectan negativamente a estos insectos, los excrementos tardan más en descomponerse, el retorno no se produce adecuadamente y el pasto se va degradando.

(3) Las intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo.

Un pasto bien gestionado no se labra ni necesita que se añadan agroquímicos, por lo que no sufre intervenciones que bloqueen el funcionamiento del suelo. Cuando los animales que pastan en el prado se gestionan de la manera adecuada, con intensidades altas, pero tiempos de permanencia muy



Figura 2. El retorno de los materiales vegetales se produce principalmente a través de los excrementos de los animales. Foto: Marc Gracia.

cortos y periodos largos de recuperación, no hay efecto de compactación del suelo. Del mismo modo, si se pasta en el **punto óptimo de reposo, no hay sobrepastoreo** y las plantas se recuperan perfectamente porque tienen reservas suficientes en las raíces (**Figura 3**).

(4) El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono.

Si el pastoreo se hace en el punto óptimo de retorno, las raíces han recuperado todas sus reservas y **es el momento en que hay más carbono en el suelo**. En cambio, si el pastoreo se lleva a cabo antes del punto óptimo, se acaba produciendo un agotamiento de las raíces, lo que lleva a la degradación del pasto y a la pérdida de carbono del suelo.

La gestión de animales sobre el prado permite obtener unos aprovechamientos (como carne, leche o huevos) que son exportaciones fuera del sistema. Sin embargo, un pasto bien gestionado tiene capacidad de compensar esas salidas producidas por los aprovechamientos sin reducir el stock de carbono y la productividad del sistema.

Cuando **se producen excedentes de pasto**, en momentos en que el prado tiene el máximo crecimiento y los animales no lo pueden consumir, se corta la hierba y se guarda para cuando sea necesaria. En este caso, hay que pensar **cómo devolver esta salida al prado**, ya que puede provocar pérdida de carbono en el suelo y productividad del sistema. Si es posible, estos excedentes se pueden dar al ganado en el mismo prado, que recupera gran parte del carbono con los excrementos. Si no es posible, por ejemplo, porque el clima es muy frío o muy caluroso y los animales no pueden estar el prado, se tiene que **llevar el estiércol de nuevo al prado**, un proceso más costoso pero que evita salidas que hacen que el sistema vaya perdiendo productividad y carbono.

En momentos concretos del año se tiene que añadir forraje extra externo, ya que no hay excedentes del propio pasto.

Esto tiene un coste económico, pero tiene también un **doble beneficio**: permite alimentar el ganado y aumentar la cantidad de carbono del suelo de manera más rápida. Esta situación es especialmente interesante cuando se empieza a instalar un pasto en suelos degradados.

(5) El agua como factor limitante de la productividad del sistema.

En un pasto de calidad, con un suelo con alto contenido en materia orgánica, la **capacidad de infiltración y retención de agua** es mucho mayor que en un pasto que crece en un suelo mucho más pobre. Además, cuando el pastoreo se hace en el punto óptimo de reposo, el agua se aprovecha de manera mucho más eficiente, ya que el consumo de agua por unidad de producción es muy inferior.

Siempre que sea posible **la utilización de riego** en el pasto a un coste económicamente asumible, es rentable aplicarlo, ya que hace aumentar mucho la producción.



Figura 3. Primer plano de gramínea rebrotando después de haber sido pastoreada. Foto: MJ. Broncano.





Bases de un sistema de producción regenerativo

Gestión de los cultivos desde una perspectiva productiva regenerativa

- Aspectos que determinan el manejo de los cultivos
- Combinación de cultivos en el tiempo y el espacio para una mayor producción y actividad biológica del sistema
- Tipos de frutales leñosos
- Tipos de cultivos de huerta
- Análisis de los cultivos como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa

Aspectos que determinan el manejo de los cultivos

El funcionamiento de los cultivos, tanto los frutales como los de huerta o los extensivos, se basa en una serie de aspectos relacionados con su gestión. Estos aspectos son los siguientes: 1) labranza del suelo, 2) fertilidad del suelo, 3) protección del suelo, 4) manejo de plantas adventicias, y 5) uso de insecticidas y fungicidas. Estos aspectos varían considerablemente si se lleva a cabo una agricultura convencional, o si se implementa una agricultura basada en el modelo productivo regenerativo.

Para entender el funcionamiento de los cultivos se deben revisar los siguientes **aspectos de la gestión** de éstos: 1) labranza del suelo, 2) fertilidad del suelo, 3) protección del suelo, 4) manejo de plantas adventicias, y 5) uso de insecticidas y fungicidas. Esto es válido tanto para los frutales como para los cultivos extensivos o los de huerta. A lo largo de esta ficha se comparan dos situaciones diferentes: (i) **agricultura convencional**, en la que se pueden utilizar las diferentes alternativas tecnológicas disponibles actualmente (**Figura 1**); (ii) **agricultura regenerativa**, en el que se tienen en consideración los principios de la misma (**Figura 2**).

■ Labranza del suelo

La labranza o no del suelo es uno de los principales aspectos que diferencian la agricultura convencional de la regenerativa.

- En la **agricultura convencional**, gran parte del esfuerzo empleado en el cultivo se invierte en preparar la tierra para sembrar mediante la labranza del suelo (**Figura 1**). Al arar el suelo, la tierra **pierde compactación** y está más suelta, lo que permite que las raíces se abran paso fácilmente. Al mismo tiempo, **se airea el suelo**, algo necesario para la respiración de las plantas. Con el arado también se eliminan las plantas adventicias y se **facilita la germinación** y crecimiento de los cultivos.

- En la **agricultura regenerativa**, no se hacen roturaciones o labranzas del suelo, lo que implica mantenerlo intacto (**Figura 2**). De esta manera, **no se rompe su estructura y se mantiene la biodiversidad**, ya que no se desequilibra el medio en el que viven los microorganismos y la fauna. Por otra parte, no alterar el suelo reduce el riesgo de erosión y **evita la pérdida de fertilidad**. Además, las condiciones de humedad se mantienen durante más tiempo en los cultivos porque **el agua no se evapora tanto**. Por otro lado, cuando hay frutales, el hecho de no arar evita cortes y heridas en las raíces más superficiales de los árboles.

■ Fertilidad del suelo

Otro de los aspectos principales que diferencian la agricultura convencional de la regenerativa es la manera que emplean para mejorar la fertilidad del suelo.



Figura 1. Huerto convencional con el suelo arado y sin plantas adventicias. Foto: Pxfuel, CC0-BY 4.0.



Figura 2. Huerto sin labranza, en el que el suelo siempre debe estar cubierto por cultivos y/o plantas adventicias. Foto: Angela Justamante.

- En la **agricultura convencional** se fertiliza para alimentar directamente a la planta. La alimentación de las plantas se basa casi exclusivamente en el **suministro de fertilizantes químicos** en las cantidades adecuadas para conseguir la máxima producción de los cultivos. El **uso excesivo** de estos productos ocasiona grandes problemas para el entorno y los seres vivos, ya que en altas concentraciones pueden ser dañinos para los organismos y pueden limitar las relaciones entre la planta y la cadena trófica del suelo.

- En la **agricultura regenerativa** no se alimentan las plantas, sino que se alimenta el suelo. En este tipo de agricultura



Figura 3. Trabajador aplicando BRF en el suelo del huerto sin labranza, con el objetivo de aumentar la materia orgánica y ayudar a estructurar el suelo. Finca de Planeses (Cataluña). Foto: AVVideo.

no se utilizan abonos ni fertilizantes químicos. El suelo alcanza el equilibrio con el propio ciclo de vida de las plantas y de los animales. Al principio se incorpora al suelo materia orgánica, en forma de materia seca o triturada, que ayuda a estructurarlo. La materia orgánica tarda en descomponerse, pero poco a poco estará disponible para alimentar a la planta, a la vez que favorece la aireación del suelo y el funcionamiento de la red trófica. De esta manera, a medida que pasa el tiempo la **fertilidad del suelo va aumentando (Figure 3)**. Para ayudar y mantener este proceso puede plantarse abono verde en otoño, que se corta en primavera y se deja en la superficie del suelo.

■ Protección del suelo

La protección al suelo también varía claramente entre los dos modelos agrícolas.

- En la **agricultura convencional**, el objetivo de arar es dejar el suelo desnudo, sin vegetación. Esto facilita la posterior germinación y crecimiento de los cultivos. El problema de dejar el suelo al descubierto es la exposición directa a los rayos solares, que puede provocar una **pérdida muy importante de agua por evaporación**, creando más dependencia del riego. Otra consecuencia es la **desprotección** del suelo frente a la lluvia, que también lo deteriora.

- En la **agricultura regenerativa**, los restos de cultivos permanecen en la superficie del suelo, a fin de que éste esté **más protegido frente a los rayos solares**. La materia orgánica en la superficie sirve de acolchado del suelo y **evita que éste se desque en exceso**. Al mismo tiempo, esta capa también protege de las lluvias intensas y reduce el riesgo de erosión del suelo.

■ Manejo de las plantas adventicias

El tratamiento y manejo de las plantas adventicias es otro de los puntos que diferencia ambos modelos.

- En la **agricultura convencional**, las plantas adventicias son un problema muy importante, ya que a menudo crecen antes y más rápido que los cultivos, y acaban consumiendo una parte importante de los nutrientes que se aportan para mejorar la producción. Por ello, el éxito de la agricultura convencional depende en gran medida de la **aplicación de herbicidas** cada vez más potentes que eliminan estas plantas. Ahora bien, está demostrado que el uso excesivo de herbicidas tiene **efectos nocivos** para la salud humana y el medio ambiente.

- En la **agricultura regenerativa**, las plantas adventicias no se eliminan radicalmente, sino que se controlan. Se considera que estas plantas desempeñan un **papel en la construcción de la fertilidad del suelo** y en el equilibrio de la red trófica, ya que aportan comida y refugio a animales beneficiosos. Por tanto, **no se utilizan nunca herbicidas** y las plantas adventicias se dejan crecer hasta que compiten excesivamente con los cultivos, momento en que se cortan y se dejan en el propio campo como abono para el sistema.

■ Uso de insecticidas y fungicidas

El uso o no de insecticidas y fungicidas para controlar enfermedades y plagas de los cultivos también diferencia ambos sistemas.

- En la **agricultura convencional**, el control de enfermedades y plagas se basa en el uso de **productos fitosanitarios** como insecticidas o fungicidas. El uso de estos productos químicos se ha generalizado debido a su facilidad de aplicación y su eficacia. Normalmente son de acción rápida, lo que limita el daño de los cultivos. El problema es que los pesticidas, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), **son perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente**.

- En la **agricultura regenerativa**, se considera que las plagas y enfermedades siempre están presentes en las plantas, pero no por ello deben utilizarse productos químicos. En este modelo agrícola, **el control de las enfermedades se basa en hacer crecer plantas sanas en un suelo vivo**, si la planta se alimenta correctamente, es más resistente a las plagas. Además, **se potencia el control de plagas mediante predadores y parásitos naturales** que se ven favorecidos por la diversidad de plantas y en especial por la presencia de plantas con flor. Cuando es necesario utilizar productos para el control directo de una plaga, por ejemplo, para obtener frutos de calidad, se deben utilizar aquellos que tengan una persistencia baja en el sistema.

Combinación de cultivos en el tiempo y el espacio para una mayor producción y actividad biológica del sistema

El aumento de la biodiversidad vegetal conlleva un aumento de la producción y la actividad biológica de los sistemas productivos. Una de las estrategias para conseguir la máxima producción de los cultivos es combinar en el espacio y en el tiempo los elementos del sistema. Entre los modelos de producción que se basan en combinar los cultivos a lo largo del tiempo destacamos el método de Fukuoka, el de rotación de leguminosas y el *pasture cropping*. Entre los que se basan en combinar los cultivos en el espacio destacamos la agroforestería y los sistemas de cultivos intensivos sin labranza.

La biodiversidad es un aspecto clave para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas. El aumento de la biodiversidad vegetal conlleva un aumento de la producción del sistema y su actividad biológica. **La biodiversidad se asocia a una mayor complejidad del sistema productivo**, que es la base para la amortiguación de las fluctuaciones ambientales, la menor vulnerabilidad a enfermedades y plagas, la prevención de la erosión del suelo y la estabilidad del rendimiento del sistema. La **manera de combinar en el espacio y en el tiempo** los elementos principales del sistema (árboles, plantas de pasto, cultivos extensivos, cultivos de huerta, frutales e incluso animales) es una de las bases para conseguir la máxima producción de los cultivos.

■ Combinación de cultivos en el tiempo

Hay toda una serie de modelos de producción que se basan en combinar los cultivos a lo largo del tiempo. Entre ellos destacamos los siguientes:

- **Método de Fukuoka.** En este tipo de agricultura se llevan a cabo un conjunto de técnicas descritas por **Masanobu Fukuoka**, biólogo, agricultor y filósofo japonés, con las cuales se tiende a reproducir lo más fielmente posible las condiciones naturales. La base del método Fukuoka es **la rotación de los cultivos**, que permite atender al momento adecuado para llevar a cabo las diferentes actuaciones en el cultivo y el suelo. Si se respetan los ciclos y fisiologías naturales de las plantas, su desarrollo se potencia. En el cultivo de arroz, Fukuoka siembra a principios de otoño semillas de trébol blanco, que es una leguminosa que enriquece en nitrógeno el suelo. Después siembra semillas de centeno y cebada entre el arroz. Cuando llega el momento, cosecha el arroz, lo siega, lo trilla y devuelve la paja al campo. Entonces el trébol blanco ya ha crecido y permite reducir las plantas adventicias y fijar nitrógeno en el suelo. En ese momento el centeno y la cebada crecen entre el trébol y la paja. Justo antes de cosecharlos, se vuelve a sembrar el arroz y se reinicia el ciclo. De este modo junto al arroz se pueden cultivar otros cereales de invierno en el mismo campo durante muchos años, sin que disminuya la fertilidad del suelo.

- **Método de alternancia de leguminosas.** El método que propone Luis Carlos Pinheiro, ingeniero agrónomo brasileño, también se basa en la **rotación de cultivos** a lo largo del tiempo. En su caso, él propone la alternancia de un año de una especie leguminosa y un segundo año de una especie no leguminosa (cereal u oleaginosa), a fin de mantener cada dos años la fertilización de nitrógeno. La rotación permite que el ambiente no sea siempre

igual y esto **reduce la presencia de parásitos y plantas adventicias**. Los primeros años es importante sembrar la leguminosa a elevada densidad y no cosechar, a fin de que sirva como abono verde del sistema. Las leguminosas se pueden combinar con algo de centeno, que permite eliminar las plantas adventicias y favorece la penetración en el suelo. En los años sucesivos se van alternando leguminosas y no leguminosas, y la fertilidad del suelo y las cosechas mejoran progresivamente.

- **Cultivos de cereal sobre pastos permanentes (CCPP) o *Pasture cropping*.** Este método es una práctica agrícola desarrollada originariamente en Nueva Gales del Sur (Australia). Implica sembrar cereales de invierno directamente sobre prados perennes que están activos en verano, lo que permite que el ganado pueda pastorear hasta el momento de la siembra. Los períodos de crecimiento de **los cultivos de cereales y los pastos están separados (Figura 1)**: los cultivos de invierno crecen de noviembre a mayo y los pastos de estación cálida crecen de marzo a noviembre. Después de la cosecha del cereal, la parcela está de nuevo lista para pastar tan pronto como respondan los pastos de verano a la eliminación de la cubierta. **El procedimiento para sembrar el cereal sobre el pasto** en el CCPP requiere una serie de pasos: (i) antes de la siembra se utiliza un pastoreo de alta intensidad para reducir la biomasa del pasto y suprimir las plantas adventicias; (ii) el método de siembra busca minimizar el daño al pasto mientras se logra un buen contacto suelo-semilla; (iii) finalmente, el espaciado entre hileras de cereal no puede ser excesivamente ancho (pues se reduce el rendimiento del cultivo) ni excesivamente próximo, ya que causa demasiado daño al pasto. Este sistema tiene un impacto ambiental positivo, ya que mejora el manejo de la erosión y la salinidad de las tierras secas, el aumento del carbono orgánico y la cobertura del suelo y la promoción de la agrobiodiversidad, incluidas las especies nativas, aunque resulta en un menor contenido total de agua del suelo.

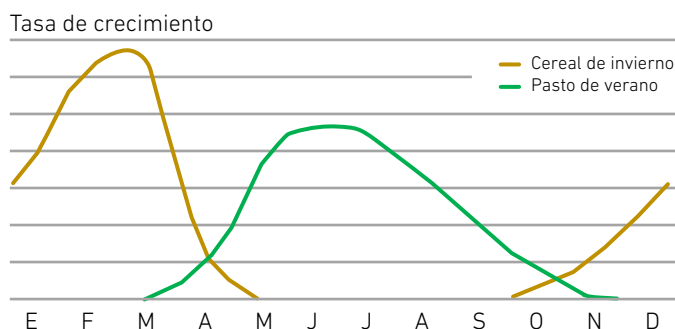


Figura 1. Crecimiento del cultivo de cereal de invierno y el pasto de verano a lo largo del año en el método *Pasture cropping* (Cultivos de Cereal sobre Pastos Permanentes, CCPP).



Figura 2. Sistema de agroforestería donde se combinan los árboles con los cultivos herbáceos. Foto: National Agroforestry Center, CC-BY.

■ Combinación de cultivos en el espacio

También existen diversos modelos que permiten combinar los cultivos en el espacio, aumentando con ello la biodiversidad y las ventajas que ésta tiene en la producción del sistema.

- **Agroforestería.** La agroforestería es un sistema de cultivo que **combina árboles y agricultura (cultivos o ganado) en el mismo terreno (Figura 2)**. Estos elementos diferentes se complementan entre sí. Esto conduce a una mayor capacidad de recuperación, una mayor biodiversidad y un uso más productivo, en comparación con un sistema de monocultivo. El resultado conjunto es muy positivo, ya que el sistema permite producir verduras, granos, forrajes y otras materias primas de los cultivos, junto a madera y frutas de los árboles. Esta multiplicidad de productos permite a los agricultores acceder a diferentes mercados, asegurándose un rendimiento sostenible. Entre otros, **los beneficios de la combinación** de árboles y cultivos son: (i) los árboles sirven para fijar los suelos, y sus restos (hojas muertas, ramas, cortezas) para abonarlos naturalmente; (ii) la asociación de especies agrícolas y forestales hace que el sistema sea más resistente a ataques de plagas y enfermedades; (iii) los árboles y cultivos fijadores de nitrógeno pueden aumentar la cantidad de nitrógeno disponible para todo el sistema; (iv) los árboles pueden dar protección a los cultivos, y sombra y refugio al ganado.

- **Cultivos intensivos sin labranza.** Estos sistemas muestran una alta variedad biológica, ya que en ellos crecen simultáneamente diversos cultivos y diversas plantas silvestres (**Figura 3**). Esta heterogeneidad vegetal constituye por sí misma una forma de **protección preventiva**, debido entre otras, a las siguientes razones: en primer lugar, genera **gran disponibilidad de pequeños hábitats** y una multiplicidad de fuentes de alimentos, lo que hace que se puedan mantener **poblaciones permanentes de depredadores y parásitos de las plagas**; por otra parte, la variedad de especies permite **aportes continuos de materia orgánica** que ayudan a mejorar la estructura del suelo y mantienen una cobertura durante la mayor parte del año, lo que permite controlar la erosión.



Figura 3. Detalle de un huerto sin labranza, con presencia simultánea de coles y plantas silvestres. Foto: MJ Broncano.

■ ¿Por qué es mejor una elevada diversidad de plantas en los sistemas agrícolas?

La elevada diversidad de plantas en los sistemas agrícolas regenerativos, en contraposición a la homogeneización y simplificación de los agroecosistemas intensivos, tiene una serie de ventajas destacadas:

- **Mayor diferenciación de hábitats.** La elevada diversidad de plantas conlleva, normalmente, una mayor diferenciación de hábitats y microclimas diversos. En concreto, el refugio que brindan los árboles cuando se combinan con otras plantas permite mejorar el rendimiento de los cultivos y el ganado cercanos.
- **Control de la erosión de suelo.** La presencia casi continua de una elevada diversidad de plantas permite controlar, a través de las cubiertas vegetales, la escorrentía y la erosión del suelo.
- **Combinación con leguminosas.** La presencia de árboles y plantas fijadoras de nitrógeno puede aumentar sustancialmente el aporte de nitrógeno al suelo y, por tanto, mejorar la fertilidad de los agroecosistemas en su conjunto.
- **Mejor uso de los recursos.** Una mayor diversidad de plantas permite utilizar de manera más eficiente la luz y los nutrientes que los sistemas con uno o pocos cultivos. Plantas de diferentes alturas, formas de hojas y profundidades de raíces contribuyen a este mejor aprovechamiento de los recursos.
- **Control de plagas y enfermedades.** Los sistemas con muchos cultivos son menos vulnerables a enfermedades y plagas que los monocultivos ya que, al haber muchas plantas, se garantiza que haya flores durante el máximo periodo posible, y se aseguran fuentes de alimento y hospedaje para especies beneficiosas o depredadoras.
- **Resistencia al cambio climático.** Se ha demostrado que los agroecosistemas con elevada diversidad de especies tienen una mayor resistencia al cambio climático que los de un solo cultivo que predominan en la industria agrícola convencional.
- **Conservación de la biodiversidad del entorno.** Las granjas con elevada diversidad de cultivos proporcionan hábitats más seguros y estables para la biodiversidad natural de las zonas donde se encuentran.
- **Disminución de los riesgos para el agricultor.** Estos sistemas con múltiples cultivos proporcionan una economía agrícola más diversa y estable. Los riesgos económicos se reducen cuando los sistemas producen múltiples productos.

Tipos de frutales leñosos

El cultivo de frutales leñosos permite la diversificación de cultivos en la finca regenerativa junto con la producción de fruta y de maderas nobles. Los árboles frutales se clasifican (1) según su adaptación climática y (2) por las características de sus frutos. Cada ámbito climático determina cuáles son las especies y variedades de frutales que mejor pueden crecer en una zona. El cumplimiento del tiempo necesario de reposo o latencia, inducido por las bajas temperaturas, es básico para la óptima producción y calidad de los frutos en frutales de hoja caduca.

■ Clasificación de los frutales leñosos

En los tratados de Fruticultura (Urbina, 2001) son dos los sistemas más habituales de clasificar los árboles frutales: 1) según su adaptación climática y 2) por las características de sus frutos.

• Según la adaptación climática (Tabla 1):

- **Frutales de zona templado-fría.** Soportan bajas temperaturas invernales (entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ o $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) sin sufrir daños. Necesitan el frío invernal para salir del reposo y no son adecuadas para zonas con inviernos templados. Algunas especies son: el manzano (**Figura 1**), el peral, el cerezo, el membrillero y el ciruelo europeo, así como algunas especies de pequeños frutos como el frambueso y el grosellero.
- **Frutales de zona templado-cálida.** Son especies más sensibles a las bajas temperaturas invernales (inferiores a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$), pero necesitan del frío invernal en su reposo. Están adaptadas a veranos cálidos. Algunas especies son: el melocotonero o el albaricoquero y, en zonas más cálidas, el almendro, el pistacho, el avellano, el nogal, el olivo y la vid.
- **Frutales subtropicales.** Especies muy sensibles a las bajas temperaturas invernales (inferiores a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). No necesitan el frío invernal durante el reposo y tienen necesidades moderadas o altas de calor durante el periodo vegetativo. En este grupo destacan, ordenadas de menor a mayor necesidad de calor: la higuera, el caqui, el naranjo, el limonero, el mandarino, el aguacate, el chirimoyo y el níspero; y la más exigente, la palmera datilera.
- **Frutales tropicales.** No soportan temperaturas inferiores a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, necesitan climas cálidos. Destacan la platanera, el mango y la papaya.

• Según la característica productivas y el tipo de frutos:

- **Frutales de fruta dulce:** **a) de pepita:** peral, manzano o membrillero. **b) de hueso:** melocotonero, albaricoquero, cerezo o ciruelo. **c) otras especies:** higuera, kiwi, caqui, platanera, piña, etc.
- **Frutales de frutos secos:** almendro, avellano, nogal, pistacho, etc.
- **Frutales de pequeños frutos:** grosellero, frambueso, zarzamora, arándano, endrino, etc.
- **Cítricos:** naranjo, limonero, mandarino, pomelo, etc.
- **Vid**
- **Olivo**
- **Frutales exóticos** (lichi, papaya, etc.) y otros frutales.



Figura 1. Cultivo de manzanos. Foto: Pxhere, CCO.

■ Finalidad del cultivo

Los árboles y arbustos frutales se cultivan principalmente para **producir frutos**. La producción de fruta puede destinarse a consumo directo, como sucede con los frutos frescos o los frutos secos (cuando se consumen las semillas) o bien se destinará a su transformación en vino (uva), sidra (manzana) zumos o conservas (**Tabla 1**). También pueden cultivarse con finalidades viverísticas, ornamentales o para la producción de **maderas nobles**.

Dos de las especies más utilizadas y de mayor interés económico para la **producción de madera de calidad son el cerezo y el nogal (Tabla 1)**. Las maderas nobles o de calidad son aquellas que se destinan a la producción de chapa o tablonos que se utiliza para muebles, tarimas, instrumentos musicales, etc. En la actualidad nuestro país es deficitario en la producción de estas maderas por lo que el sector se ve obligado a importarla. Sus plantaciones son cada vez más valoradas por los propietarios ya que son una alternativa rentable que, además, puede combinarse con la **agroforestería**. Esta técnica de producción mixta intercala cultivos agrícolas o ganaderos con las plantaciones de cerezos y nogales. Estos sistemas han demostrado ser una fuente de biodiversidad, disminuyen el uso de pesticidas y aumentan la capacidad de almacenamiento de CO_2 del suelo.

■ Necesidades ambientales de los árboles frutales

Una de las necesidades ambientales que más afectan a la producción de frutas en los árboles frutales de hoja caduca (correspondientes a los frutales de zona templada, fría

y cálida) es el **reposo o dormancia**, que es la suspensión temporal del crecimiento de cualquier estructura de la planta que contenga un meristemo. El reposo está inducido por las bajas temperaturas del otoño, junto al acortamiento del día. Cada especie y variedad se caracteriza por necesitar una duración de reposo diferente que, si no se obtiene, produce un retraso en la **brotación**. Este retraso hace que la planta disponga de menor cantidad de nutrientes (por la falta de superficie foliar necesaria para realizar la fotosíntesis), con efectos negativos muy importantes sobre

la producción de frutas: menor producción y calidad (menor tamaño, coloración y firmeza).

Existen diferentes modelos para contabilizar los periodos de latencia, estos son importantes pues son **indicadores agroclimáticos** que ayudan en la toma de decisiones sobre las especies y variedades de frutales que se pueden cultivar en una zona. El **modelo Weinberger** de horas-frío (HF) es uno de los más utilizados, en este modelo una hora con temperaturas por debajo de 7,2 °C se contabiliza como una **Hora de Frío (HF)** (Tabla 1).

	ESPECIE	Tolerancias bajas temperaturas	Frío invernal (HF, horas de frío)	Necesidad de calor	Tipo de fruto	Tipo de consumo principal
ZONA TEMPLADO-FRÍA	MANZANO (<i>Malus domestica</i>)	MUY ALTA	500-1700	BAJA	FRUTA DULCE (pepita)	FRUTO FRESCO TRANSFORMACIÓN (sidra)
	PERAL (<i>Pyrus communis</i>)	MUY ALTA	500-1500	BAJA	FRUTA DULCE (pepita)	FRUTO FRESCO
	CEREZO (<i>Prunus avium</i>)	MUY ALTA	500-1500	BAJA	FRUTA DULCE (hueso)	FRUTO FRESCO MADERA NOBLE
	FRAMBUESO (<i>Rubus idaeus</i>)	MUY ALTA	750-1700	BAJA	PEQUEÑOS FRUTOS	FRUTO FRESCO TRANSFORMACIÓN (conserva)
ZONA TEMPLADO-CÁLIDA	MELOCOTONERO (<i>Prunus persica</i>)	ALTA	100-1100	MEDIA	FRUTA DULCE (hueso)	FRUTO FRESCO TRANSFORMACIÓN (conserva)
	NOGAL (<i>Juglans regia</i>)	ALTA	600-800	MEDIA	FRUTO SECO (hueso)	FRUTO FRESCO MADERA NOBLE
	OLIVO (<i>Olea europaea</i>)	MEDIA	100-500*	ALTA	FRUTO OLEAGINOSO (hueso)	TRANSFORMACIÓN (conserva, aceite)
ZONA SUBTROPICAL	HIGUERA (<i>Ficus carica</i>)	BAJA	90-350	ALTA	FRUTA DE GRANO	FRUTO FRESCO TRANSFORMACIÓN (seco)
	LIMONERO (<i>Citrus X limon</i>)	BAJA	NO	ALTA	FRUTA CÍTRICA	FRUTO FRESCO
ZONA TROPICAL	PLATANERA (<i>Musa paradisiaca</i>)	MUY BAJA	NO	MUY ALTA	FRUTA TROPICAL	FRUTO FRESCO
	MANGO (<i>Mangifera indica</i>)	MUY BAJA	NO	MUY ALTA	FRUTA TROPICAL	FRUTO FRESCO

Tabla 1. Características de algunas de las principales especies de árboles frutales relacionadas con su capacidad de respuesta a los factores ambientales y con sus frutos.

Tipos de cultivos de huerta

Los principales cultivos de huerta son las hortalizas y las plantas aromáticas. Estos cultivos se caracterizan por sembrarse a menor escala y de manera más intensiva. Se pueden clasificar (1) según sus requisitos ambientales y (2) por sus características específicas y morfológicas. Para escoger qué especies plantar, por un lado, es esencial saber cuáles son capaces de adecuarse a las condiciones agroclimáticas de la zona; por otro lado, se deben conocer las características ligadas a la familia a la que pertenecen, su morfología y su relación con el medio, ya que las especies de una misma familia suelen tener unos requisitos y problemáticas similares. Todo ello, nos permite la alternancia espacial y temporal de las especies para obtener una mayor rentabilidad.



Figura 1. Huerto de agricultura regenerativa en la finca Les Planeses (Cataluña), donde se lleva a cabo el sistema Polyfarming. Foto: Ángela Justamante.

Los cultivos de huerta (Figura 1) se caracterizan por estar sembrados en áreas de menor tamaño, de una manera intensiva y por tener un valor por unidad de área sembrada elevado. Los principales cultivos que se producen en los huertos son las **hortalizas**, pero también se incluyen las plantas aromáticas o medicinales. En el grupo de las hortalizas, que no tiene ningún fundamento botánico, se engloban las llamadas verduras, legumbres y frutos o raíces de algunas plantas (algunos ejemplos son tomates, zanahorias, pimientos...). Las **plantas aromáticas** suelen acompañar a las hortalizas, ya que son muy fáciles de cultivar y contribuyen de manera positiva al cultivo, entre otras cosas, favorecen la polinización, alejan a las plagas y atraen insectos beneficiosos que las protege. Las especies más utilizadas son la albahaca, la lavanda, la menta o el romero, entre otras.

■ Clasificación de los cultivos hortícolas según sus requerimientos ambientales

En el cultivo de huerta es necesario conocer las **condiciones agroclimáticas** de la zona para poder plantar especies que puedan adecuarse a esas condiciones durante su periodo de crecimiento. Entre las características climáticas más importantes se encuentran la **temperatura, los periodos libres de heladas, la estación del año**, que determina la variación diaria de temperatura y el número de horas de insolación o la distribución de las lluvias. También se deben tener en cuenta las características del suelo, como pH, salinidad, textura y estructura. De entre este conjunto de factores, dos de los más utilizados para la clasificación de las hortalizas son:

• Según **sus requisitos térmicos**:

- **Cultivos de estación fría tolerantes a las heladas**: brócoli, haba, lechuga o zanahoria.
- **Cultivos de estación fría no tolerantes a las heladas**: cebolla, puerro, ajo o espárrago.
- **Cultivos de estación cálida** con temperaturas medias mensuales entre **18-30°C**: tomate, maíz, melón o pepino.
- **Cultivos de estación cálida** con temperaturas medias mensuales **superiores a 21°C**: berenjena o sandía.

• Según la **tolerancia a la salinidad del suelo** se clasifican en:

- **Cultivos sensibles a la salinidad**: zanahoria, fresa o cebolla.
- **Cultivos moderadamente sensibles**: patata, nabo o maíz.
- **Cultivos tolerantes a la salinidad**: remolacha, calabacín o cebada.

Los **cultivos y las variedades locales** son aquellos que están más adaptados a las condiciones de crecimiento de cada zona. Se caracterizan por tener una **elevada diversidad genética y ser más resistentes** a los ataques de los organismos que se alimentan de ellas. En cuanto a las variedades híbridas, se han extendido ampliamente porque son más productivas que las variedades locales y sus productos más homogéneos, pero al contrario que las variedades locales, necesitan una mayor cantidad de insumos externos para su crecimiento y protección.



Figura 2. A: Cultivo de acelgas, familia botánica Quenopodiáceas . Foto: MJ Broncano. B: Cultivo de tomates, familia botánica Solanáceas. Foto: Pikist, CC0.

■ Clasificación de los cultivos hortícolas según sus características específicas y morfológicas

Un huerto suele contener diferentes tipos de plantas hortícolas tanto en el espacio (**policultivos**) como en el tiempo (**rotaciones**). Esta diversidad se asocia a una mayor producción y rentabilidad de los cultivos, pues implica diferentes aprovechamientos de los recursos, tanto a nivel aéreo (luz) como del suelo (agua y nutrientes).

Para decidir qué especies plantar en el huerto y cuándo hacerlo, es necesario saber a qué familia pertenecen las plantas, ya que las especies de la misma familia suelen tener necesidades y problemáticas muy similares. También es importante conocer la forma y la **profundidad de las raíces** y, así, evitar el solapamiento y la competencia a nivel subterráneo. Otros aspectos a tener en cuenta son: 1) la parte de **la planta que se aprovecha** y 2) el tipo de aporte que la planta realiza en el medio donde crece (puede ser fertilizante o bien extractora de nutrientes).

Los cultivos hortícolas pueden clasificarse según la familia botánica, su ciclo de vida, la profundidad de sus raíces o en función de la parte de la planta que se aprovecha. En concreto:

- Según la **familia botánica a la que pertenecen**:

- **Compuestas:** Lechuga, escarola, alcachofa o girasol.
- **Crucíferas:** col, nabo o rábano.
- **Cucurbitáceas:** calabaza, melón, pepino o sandía.
- **Leguminosas:** garbanzo, guisante, haba, judía o lenteja.

- **Liliáceas:** ajo, cebolla, espárrago o puerro.
- **Quenopodiáceas:** acelga (**Figura 2A**), espinaca o remolacha.
- **Solanáceas:** berenjena, patata, pimiento o tomate (**Figura 2B**).
- **Umbelíferas:** apio, chirivía, perejil o zanahoria.

- Según su **ciclo de vida**:

- **Anuales:** patata, berenjena, calabaza, pepino, haba, espinaca o lechuga.
- **Bianuales:** coliflor, nabo, rábano, zanahoria, apio, acelga o puerro.
- **Perennes:** alcachofa, fresa, espárrago o ajo.

- Según la **profundidad de sus raíces**:

- **Superficiales** (45-60 cm): ajo, apio, cebolla, coliflor, endivia, lechuga, patata, puerro o rábano.
- **Intermedias** (90-120 cm): berenjena, guisante, melón, pepino, pimiento, zanahoria o haba.
- **Profundas** (>120cm): alcachofa, calabaza, chirivía, sandía, tomate o cardo.

- Según la **parte de la planta que se aprovecha**:

- **Raíces y tubérculos:** patata, rábano, nabo o zanahoria.
- **Flores, semillas y frutos:** haba, guisante, coliflor, calabaza, melón o alcachofa.
- **Hojas:** col, lechuga o escarola.
- **Bulbos y tallos:** ajo, cebolla, espárrago o puerro.

Análisis de los cultivos como sistema productivo desde una perspectiva regenerativa

Los cultivos cumplen los principios del modelo regenerativo y mantienen su productividad cuando: (1) hay una elevada diversidad de especies por la rotación de cultivos en el tiempo o el espacio; (2) se mantiene el retorno de los materiales vegetales verdes o secos al suelo; (3) no se realizan intervenciones que alteran el suelo como el arado o la utilización de insecticidas, herbicidas o fertilizantes químicos; (4) existe un balance entre la extracción y entradas de carbono en el suelo; y (5) la materia orgánica del suelo mantiene su capacidad de retención de agua y esto se complementa con un riego adecuado.

■ Aplicación de los principios del modelo regenerativo a los cultivos

El modelo productivo regenerativo se define por cinco **principios básicos** que pueden aplicarse a los cultivos. El análisis de estos principios en el caso de los cultivos permite evaluar cómo está funcionando el sistema y cuáles son las intervenciones que pueden ayudar a mejorarlo de la manera más eficiente

1) La diversidad y cantidad de plantas

En la agricultura regenerativa, la máxima producción de cultivos se consigue con la máxima diversidad. Esto se basa en la necesidad de tener plantas cubriendo el suelo y creciendo **durante la mayor parte del año**. Además, si estas plantas tienen características diferentes (mayor tolerancia a las condiciones ambientales, mayor profundidad de las raíces, ...) es más fácil que puedan aprovechar mejor todos los recursos disponibles. La máxima diversidad de plantas se consigue al **combinar en el tiempo y en el espacio** los diferentes cultivos e incluso los animales.

Hay diferentes modelos de producción que permiten combinar los cultivos a lo largo del tiempo. Todos se basan en las rotaciones de los cultivos a lo largo del año o entre años. En el **método de Fukuoka**, las rotaciones se llevan a cabo en el mismo año. Junto al arroz que es el cultivo base, se cultivan otros cereales en invierno como centeno y cebada en el mismo campo, e incluso se compatibilizan con la plantación de trébol blanco, que es una leguminosa que enriquece en nitrógeno el suelo. En el **sistema del pasture cropping** se combinan a lo largo del año los cultivos de cereal de invierno con los de pastos de estación cálida, y estos períodos prácticamente no se solapan. En otros casos, como el **método de alternancia de leguminosas** que propone Pinheiro, las rotaciones se realizan en diferentes años: un año se siembra una especie leguminosa y un segundo año se siembra una especie no leguminosa (cereal u oleaginosa), a fin de mantener cada dos años la fertilización de nitrógeno.

Otros modelos **combinan los cultivos en el espacio**, aumentando con ello la biodiversidad y las ventajas que ésta tiene en la producción del sistema. El caso más claro es **la agroforestería**, que combina árboles y cultivos en el mismo terreno. Estos elementos diferentes se complementan entre sí y se obtiene una mayor biodiversidad y una mayor



Figura 1. Huerto sin labranza mostrando la gran variedad de plantas creciendo en él. Foto: MJ Broncano.

cantidad y variedad de productos. Pero cualquier **huerto sin labranza** también tiene una alta variedad biológica, ya que crecen simultáneamente los cultivos y las plantas silvestres, lo que da lugar a una importante heterogeneidad de especies y de recursos disponibles (**Figura 1**).

2) El retorno de los materiales vegetales al suelo

El sistema de producción regenerativo requiere el retorno de los materiales vegetales al suelo. La **incorporación más importante se produce a través de las raíces**, pero la que podemos gestionar es la incorporación de la parte aérea en superficie que, además de aportar nutrientes, juega un papel importante en la cobertura de la superficie del suelo.

El **balance entre mineralización y humificación es clave** en este retorno. Si el proceso se conduce por bacterias, los materiales se consumen rápidamente y representan un aporte nutritivo inmediato. En cambio, si la descomposición la generan los hongos, la materia vegetal permanece más tiempo en el suelo y crea un humus estable. Así, si el retorno son **restos verdes de los cultivos** o las plantas adventicias en su momento de máxima producción, el proceso de descomposición es más rápido. En cambio, si los restos son de estas plantas cuando ya se han lignificado o incluso secado, la **descomposición es mucho más lenta** y puede obtenerse una fase intermedia de descomposición que es **el humus más estable**.

En los diferentes tipos de cultivos hay determinadas particularidades. Así, en el **pasture cropping**, el retorno de material vegetal al suelo se combina con el retorno que se



Figura 2. En el modelo regenerativo se puede utilizar maquinaria agrícola no muy pesada para evitar la compactación del suelo. Foto: CC0.

produce con los **excrementos de los animales**. En los casos de producción vegetal intensiva, como suele ser el caso de la huerta, es necesario el aporte de materiales externos transformados (como pueden ser el **BRF** o el **compost**) para compensar las salidas que se producen con las cosechas.

3) Las intervenciones que bloquean el funcionamiento de los procesos biológicos del suelo

A diferencia de la agricultura convencional, en la agricultura regenerativa **no se realizan intervenciones que bloqueen los procesos biológicos del suelo**: no se labra la tierra, no se compacta el suelo, no se utilizan insecticidas ni herbicidas, no se añaden fertilizantes químicos. La manera de funcionar del modelo regenerativo permite compensar estas intervenciones con el aprovechamiento de los recursos de la zona y la potenciación del funcionamiento de los procesos naturales.

No obstante, **la agricultura regenerativa también utiliza maquinaria**. El tractor se utiliza en diferentes actividades en los cultivos: en la producción vegetal extensiva (y también en el *pasture cropping*) se utiliza sembradora de siembra directa para proteger la semilla y aumentar la producción, y si la cosecha es grande también se hace con cosechadora. En todos estos casos, se ha de tener presente que esta maquinaria puede ocasionar una **compactación del terreno** y una alteración por tanto de la estructura del suelo. Este riesgo de compactación se reduce utilizando **maquinaria que no sea muy pesada (Figura 2)** y evitando intervenir cuando las condiciones no sean las adecuadas, por ejemplo, cuando el suelo está muy mojado, a fin de conseguir que el impacto sea el menor posible.

4) El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono

El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono dependen del balance global de stocks: cuando se extraen productos obtenidos de los cultivos del sistema, provoca a una pérdida global de **stocks de carbono**. Cuando esta exportación es pequeña, el sistema tiene capacidad de **recuperarse de manera natural**. Con el retorno de los restos verdes y la paja tanto de los cultivos como de las plantas adventicias, y considerando la elevada diversidad de plantas, en la mayor



Figura 3. BRF cubriendo las zanjas del riego en la finca de Planeses. Foto: Marc Gràcia.

parte de los casos el sistema permite producir grano o frutas sin necesidad de inputs externos.

Sin embargo, **si se extrae mucho carbono del sistema se deben buscar los mecanismos para devolverlo**. Esto pasa a menudo en la huerta, que tiene una producción elevada y de la que se extrae una gran cantidad de productos. En este caso las salidas afectan al stock total y a la actividad biológica del suelo y provocan un empobrecimiento progresivo del sistema. Por ello, **en la huerta es necesario añadir BRF o compost**, que son externos del huerto y tienen elevadas cantidades de materia orgánica y nutrientes, para equilibrar de nuevo el sistema (**Figura 3**).

5) El agua como factor limitante de la productividad del sistema

La base del modelo regenerativo es aumentar la cantidad de materia orgánica y, con ella, aumenta sustancialmente la **capacidad de retención de agua del suelo**. A pesar de ello, en determinadas épocas del año, como el verano en el Mediterráneo, el agua puede llegar a ser limitante para los cultivos. Por ello en el modelo regenerativo **se cortan las malas hierbas antes del verano**, ya que así se reduce el consumo de agua para los cultivos. En cualquier caso, si hay agua disponible para el riego, mejora mucho la potencialidad de la estación para los cultivos, ya que en cualquier sistema terrestre a más agua más producción. En el caso de la huerta, esta necesidad de riego es especialmente relevante y, de hecho, para muchos cultivos de huerta es obligado disponer de agua de riego para conseguir unas producciones aceptables.



El sistema Polyfarming

- El sistema Polyfarming
- El bosque como fuente de recursos
- El ganado como herramienta de gestión
- Los cultivos como receptores de recursos
- Funcionamiento del sistema Polyfarming





El sistema Polyfarming

El sistema Polyfarming

- Componentes del sistema Polyfarming.

Componentes del sistema Polyfarming

El sistema Polyfarming propone una nueva manera de interrelacionar los diferentes usos a escala de finca, de forma que mejore la rentabilidad económica de las fincas que lo apliquen. Existen muchas técnicas agropecuarias prometedoras, pero la idea no es recopilarlas sin más, sino combinarlas a fin de establecer sinergias entre el aprovechamiento agrícola, ganadero y forestal. Polyfarming está en marcha a escala real en Planeses, una finca de agricultura regenerativa ubicada en Cataluña.



Figura 1. Vista de la finca Planeses (Girona, NE España) con los diferentes componentes del sistema Polyfarming: (1) bosque; (2) frutales sobre pasto donde pasta el rebaño de vacas; (3) pollos y conejos en pasto; (4) huerto sin labrar. Foto: AVVideo.

■ El sistema Polyfarming: una gestión plurifuncional agro-silvo-pastoral integrada

El objetivo del sistema Polyfarming es demostrar que se puede aplicar una nueva gestión plurifuncional agro-silvo-pastoral en las fincas de la montaña mediterránea, en la que se integren los diferentes usos de la finca. Este sistema se presenta como alternativa de gestión rentable que aborda el problema del abandono de las actividades agrícolas y ganaderas en zonas de montaña mediterránea y los **problemas ambientales** (degradación de suelos, vulnerabilidad al cambio climático, pérdida de biodiversidad) y **socio-económicos** (desigualdades territoriales, pérdida de capacidad productiva del territorio) que este abandono está causando.

El sistema Polyfarming se ha puesto **en marcha en una finca piloto**, donde se implementa y se valora a escala real. El funcionamiento a escala real del Polyfarming es fundamental para poder llegar a los colectivos de propietarios que tienen que garantizar su replicabilidad en el territorio. En la finca Planeses (Girona, Cataluña) (**Figura 1**), se encuentran los diferentes elementos considerados: el bosque, los frutales sobre pasto donde pastan las vacas, los pastos con animales pequeños (pollos y conejos) y el huerto sin labrar.

■ Componentes del sistema Polyfarming

El sistema Polyfarming se basa en el siguiente esquema (**Figura 2**):

- **El bosque es una fuente de recursos**, de manera que la gestión forestal permite obtener productos de calidad, como madera y leña, y al mismo tiempo también se obtienen otros subproductos del aprovechamiento forestal, como restos de corta, claras y limpieza de sotobosque. Estos subproductos se utilizan para el resto de las actividades de la finca en forma de biochar, BRF, camas de madera o biofertilizantes.
- **El ganado es una herramienta importante para la gestión** de las otras actividades: limpieza del sotobosque, gestión de frutales con pasto, mejora de la fertilidad del huerto, etc. Al mismo tiempo su integración con los otros usos reduce significativamente sus costes y, por tanto, aumenta su rentabilidad.
- **Los cultivos (huerto y frutales) pueden gestionarse de manera más sostenible** y rentable sobre superficies pequeñas, utilizando los recursos del bosque (biochar, BRF, camas de madera, biofertilizantes) y desarrollando pastos para completar las necesidades del ganado.

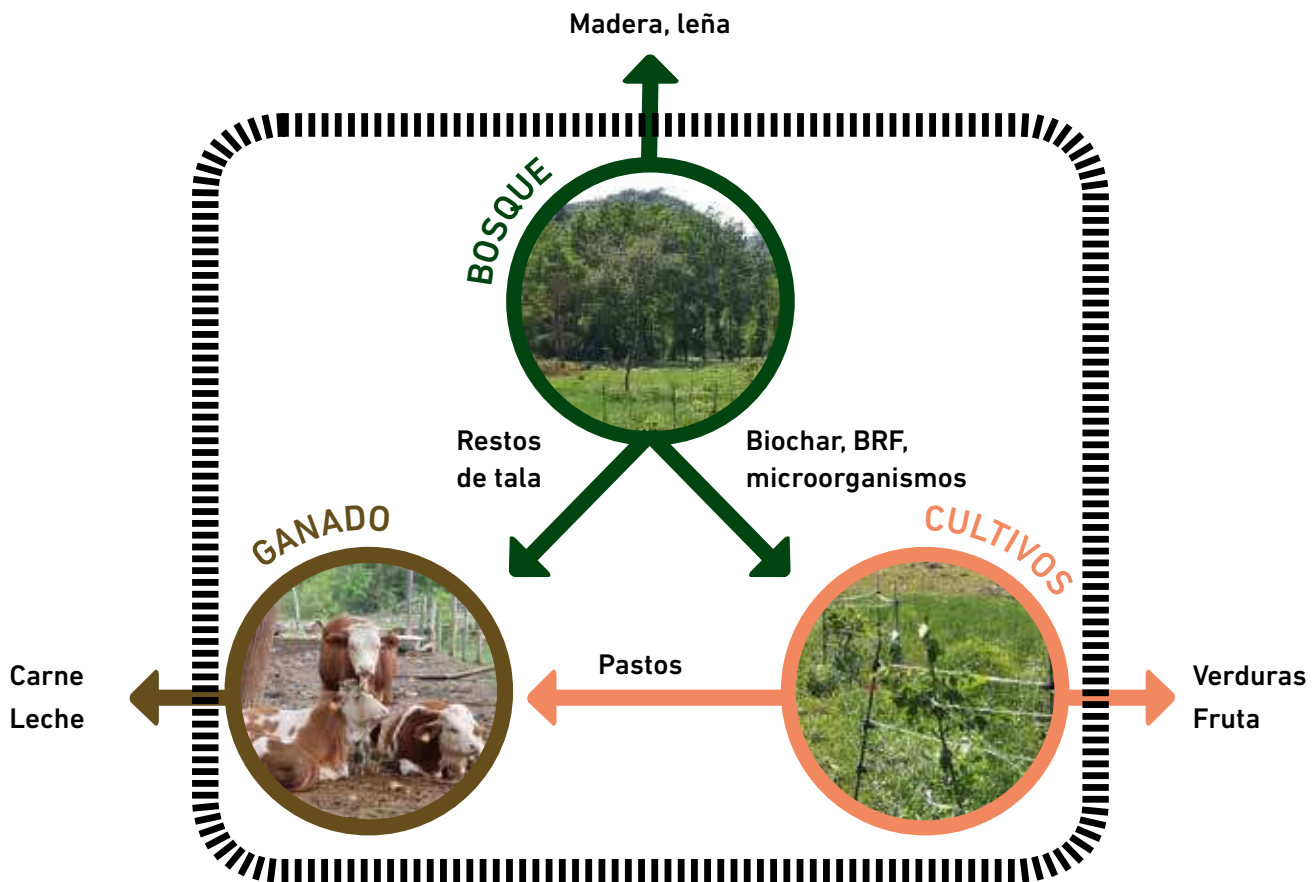


Figura 2. Esquema de los componentes del sistema polyfarming a nivel de finca. Crédito: Lucas Wainer

■ Gestión integrada de los diferentes usos

El **esquema metodológico** de acuerdo a la planificación agro-silvo-pastoral integrada, define una nueva manera de interrelacionar las diferentes técnicas a escala de finca, de manera que se establecen sinergias entre el aprovechamiento agrícola, ganadero y forestal. El sistema Polyfarming se basa en los siguientes componentes.

- **Gestión integrada del bosque** que permite el uso de los subproductos del aprovechamiento forestal (restos de corta, claras y limpieza de sotobosque) como recurso base para las restantes actividades de la finca.
- **Gestión del ganado mediante pastoreo controlado**, a fin de que el ganado sea una herramienta importante para la gestión de las otras actividades (limpieza del sotobosque, gestión de frutales, mejora de la fertilidad del suelo).
- **Gestión múltiple de frutales** con la producción de pastos para completar las necesidades del ganado.
- **Gestión autosuficiente de huertos de montaña sin laboreo**, utilizando los recursos del bosque: biochar, BRF, cultivo sobre camas de madera, biofertilizantes.

■ Beneficios del sistema Polyfarming

La gestión plurifuncional de fincas de montaña tiene **importantes beneficios** a todos los niveles.

- **Mejora la productividad del sistema**, ya que mejora la fertilidad del suelo.
- **Mejora la adaptación a los efectos del cambio climático**, porque aumenta la resistencia a la sequía.
- **Mejora la diversidad y el paisaje de la finca.**
- **Mejora la utilización de los recursos de la finca**, ya que pone en producción recursos que en ocasiones están abandonados, como pastos o bosque.
- Propone **tecnologías accesibles** para todos los agricultores.
- **Evita la dependencia** del agricultor de los productos de la industria agroquímica.
- **Mejora de manera importante la rentabilidad económica** de la explotación como consecuencia de los puntos anteriores.
- **Puede combinarse con actividades recreativas**, propias o en coordinación con el sector turístico de la zona.





El sistema Polyfarming

El bosque como fuente de recursos

- Aprovechamiento del bosque
- BRF (Madera de Ramas Astillada)
- Biochar
- Cultivo sobre camas de madera
- Abono orgánico fermentado tipo Bocashi
- Biofertilizantes a base de reproducir microorganismos de montaña

Aprovechamiento del bosque

La principal característica que determina el aprovechamiento forestal es la calidad del bosque (forma y tamaño de los árboles), ligada a la calidad de estación. Los criterios de corta se diferencian según la calidad de estación. En bosques de calidad baja, la intervención sobre el terreno es de baja intensidad, con el objetivo de conseguir una disminución de la densidad. En bosques de calidad alta, la intervención sobre el terreno se realiza identificando los árboles de futuro e interviniendo para mejorar sus condiciones de crecimiento.

■ Aprovechamiento del bosque mediterráneo

En bosques gestionados, la principal perturbación es la corta o aprovechamiento forestal. **A diferencia de la perturbación natural**, donde la madera permanece siempre en el sitio, generando un retorno de carbono y una protección del suelo, en un aprovechamiento forestal **se produce una extracción importante** del sistema. El gestor debe controlar los efectos de esta extracción a la vez que promueve individuos que le permitan obtener el producto más adecuado a sus necesidades en el menor tiempo posible. Esto lo consigue dirigiendo la diferenciación de los árboles, a fin de tener las copas más adecuadas en cada momento de la vida del árbol, y controlando el retorno de carbono y las condiciones ambientales para su incorporación al suelo.

■ Cortas en bosques de calidad alta y de calidad baja

La principal característica que interviene en la planificación del aprovechamiento forestal es la calidad del bosque (forma y tamaño de los árboles), ligada a la calidad de estación (potencialidad productiva del terreno). Para bosques mediterráneos, la **altura media se puede utilizar como un buen indicador de calidad de estación**. Aunque en realidad hay un gradiente de situaciones, analizaremos las cortas en dos calidades y situaciones contrastadas:

- (i) **Calidad baja**, en la que la altura de los árboles no supera los 8m, va ligada a densidades elevadas y diámetros pequeños.
- (ii) **Calidad alta**, con alturas superiores a los 12m, que

permite plantear una gestión para la obtención de árboles de mejor conformación y mayores diámetros.

Las condiciones de **calidad de estación**, combinadas con la **historia de gestión de la parcela**, determinan el estado actual del bosque y su capacidad de alcanzar con el tiempo una determinada estructura como respuesta a la corta. En la **Figura 1** se muestra el efecto combinado de la calidad de estación y el modelo de gestión aplicado en la estructura de un encinar.

- **Una corta intensa** genera una estructura con un gran número de rebrotes tanto para calidades altas como bajas. A medida que las cortas son de menor intensidad el cierre de copas genera una selección natural de rebrotes disminuyendo su densidad. Este efecto es más importante en calidades altas donde el mayor crecimiento permite un mayor cierre de copas.

- **En cortas de baja intensidad** (gestión irregular) este efecto de selección hace que en calidades altas la estructura resultante presente **individuos mayoritariamente con un solo pie (rebrote)**. En cambio, para calidades de estación baja, donde el menor crecimiento no permite un cierre completo de copas (o este se produce de manera muy lenta), el efecto de selección natural de rebrotes es menor, y encontraremos estructuras que mantienen un número de rebrotes elevado por individuo.

La manera de aplicar las cortas será diferente según la calidad:

- **En bosques de calidad baja** la intervención sobre el terreno se hace con un criterio espacial, con el objetivo de conseguir **una disminución de la densidad**. Debido al carácter principal



Figura 1. Estructuras del encinar en función del modelo de gestión que se aplica (bosque de rebrote regular, bosque de rebrote irregular y fustal sobre cepa) y de la calidad de estación (alta y baja). Fuente: *Manuale de gestió d'hàbitats. Els alzinars*. Ilustración: Agnès Perelló.



Figura 2. Trabajador forestal desramando una encina en la finca Planeses. Foto: AVVVideo.

de mejora del bosque de esta intervención, la intensidad de corta es baja, no superior al 30% del área basal.

- **En bosques de calidad alta**, la intervención sobre el terreno se hace identificando los árboles de futuro e interviniendo para mejorar sus condiciones de crecimiento (corta de los mayores competidores). El objetivo es producir árboles bien conformados y de dimensiones importantes.

Este **proceso de selección de rebrotes** que se acaba de describir será más o menos rápido según la **velocidad de respuesta de los individuos**, es decir, del tiempo que el individuo tarda en reaccionar y empieza a ocupar el nuevo espacio disponible. Esta capacidad de respuesta depende de las condiciones en las que ha crecido el individuo y de las características de la especie. La reacción de un individuo será más rápida cuanto más joven y vigoroso sea. Este vigor del individuo viene determinado sobre todo por el **tamaño de su copa**, que se puede valorar por el % de la altura del árbol que ocupa la copa viva. El vigor es máximo cuando hay más del 30% de copa viva. Este % dependerá del grado de competencia en el que ha crecido el individuo (relacionado con la gestión pasada de la parcela), el tiempo durante el cual se encuentra sometido a esta competencia y las características de **tolerancia a la sombra** de cada especie, que disminuyen con la edad del individuo. En condiciones de mucha sombra (es decir, mucha competencia), las especies tolerantes a la sombra, como la encina, tienen mayor capacidad de mantener copas vivas durante más tiempo que especies no tolerantes a la sombra, como los pinos, y por lo tanto mantienen durante más tiempo la capacidad de responder a la liberación de la competencia.

■ Realización de los aprovechamientos forestales

Una vez que se ha decidido qué árboles aprovechar, los pies seleccionados **se cortan y se desraman con la motosierra** (Figura 2). El desembosque se realiza habitualmente por arrastre de los troncos con tractor agrícola adaptado desde las pistas. El arrastre se realiza hacia arriba en distancias máximas de 60-80 m, de manera que hay que diseñar el sistema de pistas para evitar que el arrastre sea más largo.

Esto implica que las **distancias entre pistas no pueden ser superiores a 200 m**. Cuando es para leña, los pies pueden trocearse en el bosque, aunque lo normal es que este proceso se haga una vez llegan a la pista. Entonces se cortan en piezas de 2-2,20 m (medidas para el transporte en camión) y se apilan para su traslado. Al final del aprovechamiento, conviene **apilar los restos de ramas** para facilitar el acceso a la zona y reducir el riesgo de incendio.

■ Criterios de corta

Los criterios de corta se diferencian según la calidad de estación. En cada caso los criterios son:

• Calidad de estación baja

- Se realizan cortas de poca intensidad.
- Los pies a cortar se eligen principalmente por un criterio de distribución homogénea en el espacio.
- **Las cortas no requieren marcaje sobre el terreno de los árboles a cortar**, se puede ir haciendo directamente durante el aprovechamiento.

• Calidad de estación alta

- Se realizan cortas más intensas.
- La selección de los árboles para realizar la corta se basa en la selección de los árboles que se dejan sin cortar, los 'árboles del futuro'.
- Para favorecer los árboles que nos interesa que crezcan, primero se estudia sobre el terreno cuáles son. Una vez elegidos, se cortan los árboles que afectan al desarrollo de éstos.
- Las características de los árboles de futuro, por **orden de prioridad**, son: (1) copas bien desarrolladas, (2) corteza lisa, (3) diámetro grande (en relación con la media de la parcela), y (4) tronco bien formado. En la **Figura 3** se ilustra una de estas características, el tipo de corteza.
- Si existen **árboles de interés para la fauna** (árboles con cavidades y árboles muertos en pie de grandes dimensiones), éstos **no se cortarán**.



Figura 3. La corteza como indicadora de la capacidad de respuesta del árbol: la imagen de la izquierda muestra un árbol con corteza más lisa, con mayor capacidad de respuesta que el de la derecha. Foto: MJ Broncano.

BRF (Madera de Ramas Astillada)

El BRF es una técnica desarrollada en Canadá en los años 80, donde se conoce con el nombre de Bois Raméal Fragmenté (BRF). La técnica consiste en el astillado de ramas pequeñas, a partir de las cuales se inicia un proceso fúngico conducido por basidiomicetos como base para la formación de un humus estable que mejora la estructura y capacidad de retención de agua del suelo.

■ Producción del BRF

El material de base para la producción del BRF son las **ramas menores de 7 cm**, que son las que contienen lignina soluble o poco polimerizada, la base necesaria para la formación de un humus altamente reactivo. Estas ramas **se trituran después de la corta** con una trituradora (**Figura 1**) antes de que la madera se haya secado. Si la corta es en verano, en pocos días la rama ya queda seca por lo que debe triturarse rápidamente. En invierno, las ramas se secan más lentamente y se dispone de más tiempo para triturarlas. Las astillas obtenidas de esta manera inician un proceso de descomposición fúngico conducido por basidiomicetos (podredumbre blanca), que, a partir de la lignina, produce ácidos fúlvicos y húmicos, que son la base para la formación de agregados en el suelo. Así, se consigue un **humus estable, de larga duración, similar a un humus forestal**, diferente del humus producido a partir de otros restos orgánicos que no contienen lignina. De esta forma, el compost, por ejemplo, **es útil para mejorar la vida del suelo y aportar nutrientes** a las plantas.

El factor limitante para su producción es por tanto la presencia de volúmenes importantes de ramas recién cortadas menores de 7 cm. En zonas de montaña, donde el bosque es un recurso importante, **la disponibilidad de ramas procedentes de cortas de bosque suele representar un recurso abundante** para la producción de BRF. Dos de los factores

determinantes en la cantidad y el tipo de humus producido son el tamaño del árbol y el tipo de especie.

- **El tamaño del árbol** determina en gran parte el peso de ramas de <7cm. A mayor diámetro mayor será la cantidad de material obtenido después del desramado. Para obtener una cantidad suficiente de material de forma eficiente es mejor **utilizar árboles de más de 20 cm** de diámetro a la altura del pecho.
- **El tipo de especie** utilizada para hacer la astilla también juega un papel importante en el tipo de humus producido. Todos los trabajos realizados recomiendan limitar el uso de coníferas a menos del 10% del material total utilizado. **Los mejores resultados se consiguen con caducifolios**, debido a la estructura de su lignina. Por el contrario, las frondosas de hoja perenne funcionan peor debido a la transformación de su lignina por "podredumbres marrones" que producen polifenoles y compuestos alifáticos.

■ Aplicación del BRF

El momento de aplicación de estas astillas puede ser muy distinto, lo que condiciona las características del producto en el momento de su aplicación y la facilidad de manipularlo.

- En el **sistema estándar**, las astillas se extienden en su lugar definitivo rápidamente después del astillado de las



Figura 1. Astillado de las ramas en el campo con una trituradora para producir BRF. Foto: Montse González, AVVideo.



Figura 2. Pila de BRF que se deja descomponer directamente en el campo durante varios meses antes de su aplicación. Foto: J.Luis Ordóñez.

ramas para evitar que el material se deseque. Se evita que se apilen porque en las pilas grandes se producen condiciones anaeróbicas que favorecen el inicio de la fermentación del material.

- En el **sistema Polyfarming**, en cambio, dejamos las astillas en pilas pequeñas dentro del bosque **entre 4 y 12 meses (Figura 2)**. Al hacerse las pilas en invierno y de pequeño tamaño se evita en parte que se produzca una fermentación con el aumento asociado de las temperaturas. Cuando, pasados unos meses, el material se recoge para ser transportado a su lugar de utilización nos encontramos que está **parcialmente descompuesto**, con un aspecto y olor parecido al humus forestal, y resulta más fácil de manipular y transportar que las astillas originales.

La **aplicación del BRF** también se puede llevar a cabo de diferentes maneras:

- **Directamente en el campo.** El BRF se aplica directamente en los cultivos, sean de huerta o frutales.
- **En la cama de animales.** Las astillas previamente descompuestas durante unos meses en el bosque pueden utilizarse para la cama de los animales. En el sistema Polyfarming se utilizan principalmente en la **cama de los pollitos** donde, mezcladas con otros materiales como el biochar, ofrecen un ambiente saludable para los animales a la vez que estos las **enriquecen con sus excrementos**. Esta cama se va removiendo para facilitar la absorción del estiércol de los animales y obtener un sustrato de alta calidad que se utiliza para el huerto y para la producción de plantel.

■ Beneficios del BRF para las explotaciones agrícolas

El BRF puede representar importantes beneficios para las explotaciones agrícolas que lo utilicen. A corto plazo puede haber un interés inmediato ya que:

- **Aumenta la productividad del suelo y disminuye los costes de gestión.** El BRF favorece el control de las malas hierbas, lo cual mejora el rendimiento de las explotaciones agroforestales en zonas desfavorecidas.
- **Permite el aprovechamiento de subproductos forestales.** Da una salida al aprovechamiento de biomasa forestal (restos de limpiezas de márgenes, podas, etc.) que actualmente no tiene ningún uso comercial.

■ Beneficios del BRF para el medioambiente

Pero el BRF también puede representar mejoras significativas **a nivel medioambiental** a largo plazo:

- **Reducción del uso de agua.** Permite reducir significativamente el uso del agua, **hasta un 50%** en algunos casos, debido a la capacidad del humus en retenerla.
- **Aumento del secuestro de carbono.** Consigue introducir una parte del carbono secuestrado por el bosque en el sistema de producción agrícola, esto provoca un aumento muy importante en el stock de carbono secuestrado en el suelo, que es uno de los elementos fundamentales en la mitigación del cambio climático.
- **Mejora de la biodiversidad.** Es un sistema que permite aumentar la biodiversidad del suelo, ya que **mejora su estructura** y equilibra el pH.

Biochar

El biochar (o biocarbón) es el nombre que recibe el carbón vegetal que se produce a partir de pirólisis de biomasa de origen vegetal. El biochar mejora las propiedades físicas del suelo, ya que tiene un alto contenido orgánico, es muy resistente a la degradación y tiene elevada micro y meso-porosidad, lo que le confiere una elevada capacidad de retención de agua, nutrientes y microorganismos.

■ Producción de biochar

Aunque el biochar se puede obtener a través de la pirólisis de cualquier tipo de material orgánico, en el sistema Polyfarming la materia prima para elaborarlo incluye **subproductos de la gestión forestal**, principalmente ramas secas procedentes de las cortas de la temporada anterior.

La producción de biochar se puede hacer siguiendo diferentes métodos. En nuestro caso proponemos el uso de **calderas transportables autoconstruidas**, que son metálicas y tienen un bajo coste económico (**Figura 1**).

El proceso de producción de biochar **se inicia con una pequeña hoguera** en el interior del reactor, inicialmente es una combustión caracterizada por la presencia de oxígeno. Al ir añadiendo biomasa vegetal, el oxígeno de la parte inferior de la caldera se consume, **pasando de una combustión a una pirólisis**, que es la reacción que dará lugar al carbón. Cuando se ha llenado toda la caldera, se deja que la parte superior de la pila alcance una temperatura alta y empiece a ponerse blanca por las cenizas de la propia combustión. En ese momento **se apaga la hoguera con agua y se tapa**, de manera que no entre oxígeno, esto provoca que se produzca la pirólisis de toda la pila.

Al día siguiente ya se puede destapar la pila, (**Figura 2**) donde encontraremos el biochar (procedente de la pirólisis) con restos de cenizas (procedentes de la combustión). **Esta pila debe esparcirse en el suelo para que acabe de enfriarse** y evitar así que pudiera volverse a iniciar una combustión que transformaría todo el producto en cenizas.



Figura 1. Caldera transportable para producir biochar directamente en el bosque. Foto: AVVideo.



Figura 2. Muestra de biochar obtenido por pirólisis de biomasa vegetal. Foto: AVVideo.

■ Aplicación del biochar

El biochar puede **aplicarse directamente en el suelo** junto con otro tipo de mejoradores como abonos o compost. En ocasiones se tiene que humedecer para evitar pérdidas en el aire y que sea aspirado por quien lo aplica.



Figura 3. Activación del biochar en la cama de los pollitos. Foto: Ángela Justamante.

Sin embargo, para un uso más eficiente **es recomendable activar previamente el biochar** antes de incorporarlo en el suelo, es decir, cargarlo de nutrientes y microorganismos, que es lo que realmente utilizarán las plantas. En nuestro caso este activado se hace utilizando los animales. Una parte se activa **incorporándolo al proceso de compostaje de la cama de los pollitos (Figura 3)**. Otra parte se activa incorporándolo a la comida de los pollos, cuyos excrementos acabaran distribuyéndolo sobre los campos.

■ Beneficios del biochar para las explotaciones agrícolas

El biochar puede representar importantes beneficios para las explotaciones agrícolas, entre los que destacan:

- **Mejora de la estructura del suelo.** El biochar ayuda a regular el pH de los suelos muy ácidos, mejora sus propiedades físicas y químicas y tiene capacidad de amortiguar los cambios bruscos de temperatura.
- **Aumento de la retención de agua y nutrientes.** El biochar tiene una elevada capacidad de retención hídrica, lo que mejora la irrigación de las raíces y permite captar y retener nutrientes ya que reduce las pérdidas por lixiviación.
- **Estímulo de la actividad microbiana.** En los suelos donde se ha aplicado biochar se estimula la actividad microbiana.
- **Mejora de fertilizantes y abonos.** El uso del biochar como aditivo en fertilizantes y abonos orgánicos puede aportar mejoras en la eficiencia de estos.
- **Aumento de la productividad de los cultivos.** El biochar incrementa de manera significativa la productividad agronómica de suelos degradados y mejora la respuesta fisiológica de los cultivos frente a períodos de estrés hídrico.

■ Beneficios del biochar para el medio ambiente

El biochar también tiene importantes beneficios medioambientales que ayudan a combatir el cambio climático:

- **Secuestro de CO₂.** El biochar contribuye al secuestro de carbono de la atmósfera, ya que almacena más de tres veces su peso en CO₂, con lo que por cada kilo de biochar se secuestran más de 3 kilos de CO₂.
- **Sumidero de carbono orgánico no degradable.** Los materiales pirogénicos como el biochar poseen una elevada estabilidad bioquímica, por lo que el carbono que contiene puede mantenerse en el suelo durante mucho tiempo.
- **Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.** Al no quemarse, se evita la emisión de CO₂, además de la reducción de la formación de otros gases de efecto invernadero como el metano (CH₄) y el óxido nítrico (N₂O).

Cultivo sobre camas de madera

El cultivo sobre camas de madera es una técnica en la que se entierran troncos y ramas procedentes de las cortas bajo el suelo del huerto y los frutales. Estos restos actúan como esponja que ofrece una reserva de agua y microorganismos para mantener un suelo vivo, favorecer el crecimiento de las plantas y aumentar el contenido de carbono en el suelo. Al mismo tiempo, el carbono introducido permanecerá retirado del stock atmosférico entre 5 y 10 años.

■ Material para hacer las camas de madera

Para elaborar los montículos se pueden utilizar troncos, ramas, hojas o cualquier otro tipo de biomasa. Normalmente se utilizan troncos procedentes de las cortas realizadas en el bosque que no son adecuados para otros usos (**Figura 1**). En cuanto al diámetro de los troncos, es preferible utilizar **dimensiones superiores a los 20 cm** que permiten obtener volúmenes de madera enterrada más grandes.

En relación con el material vegetal para hacer las camas de madera, se pueden utilizar especies con características distintas de dureza. Las **maderas duras** se descomponen lentamente, pudiendo permanecer los troncos más de **10 años** reteniendo agua y liberando nutrientes. En cambio, las especies de **madera blanda** tienen una descomposición más rápida que puede producirse a partir de los **5 años**. Si se dispone de diferentes tipos de madera, una buena opción es mezclar maderas duras en la parte inferior de las camas con maderas blandas y ramas en la parte superior.

Para llevar a cabo esta técnica **algunas especies de árboles funcionan mejor que otras:**

- **Especies que funcionan mejor:** alisos, manzanos, álamos, abedules, arces, robles, encinas, sauces, etc.
- **Especies que funcionan bien:** cerezos, enebros o tejos (con madera ya envejecida si es posible), pinos, abetos o piceas (con troncos cortados hace años para evitar los niveles altos de taninos), eucaliptos, etc.
- **Especies a evitar:** cedro, nogal y otras especies de árboles consideradas alelopáticas, algarrobo y especies similares cuya madera tarda mucho en descomponerse, etc.



Figura 1. Pila de troncos que se utiliza como base de la técnica de camas de madera. Foto: Marc Gràcia.

■ Proceso de enterramiento de los troncos

Según el tipo de cultivo sobre el que se van a aplicar, la manera de enterrar los troncos es muy diferente:

- a) Cuando se colocan en **cultivos de frutales**, los troncos se introducen en agujeros profundos, de **50 cm de ancho y 50 de profundidad (Figura 2A)**. Encima de los troncos se colocan ramas y restos más pequeños. Sobre ellos se pone una capa de tierra y finalmente se colocan los frutales (**Figura 2B**).
- b) Para su uso en **cultivos de huerta**, los troncos se apilan directamente en el suelo o en zanjas poco profundas de unos **40 cm de ancho y 25 de profundidad**. Los troncos se colocan en la parte de abajo como una primera capa; encima se dispone una capa de biomasa más fina como ramas y pequeños troncos (**Figura 3A**). Los espacios entre troncos se pueden llenar con hojarasca y otros restos. Una vez colocado el material vegetal, se tapa con unos 20 cm de la tierra extraída de la zanja (**Figura 3B**). La plantación se hace sobre los montículos aprovechando el efecto norte/sur creado por los troncos (**Figura 3B**). Lo ideal es preparar la cama varias semanas antes de la plantación, pero también se puede plantar de inmediato.



Figura 2. Colocación de las camas de madera en los cultivos de frutales: A) agujero con los troncos colocados en la base; B) plantación del frutal encima de la cama de troncos. Fotos: Marc Gràcia.



Figura 3. Colocación de las camas de madera en los cultivos de huerta. A) disposición de la capa de troncos; B) los troncos se cubren con tierra extraída de la propia zanja. Fotos: AVVideo.

■ Beneficios del cultivo sobre camas de madera para las explotaciones agrícolas y el medio ambiente

El cultivo sobre camas de madera permite aprovechar los subproductos del bosque para mejorar las condiciones del suelo, la producción agrícola y el medio ambiente. Los principales beneficios son:

- La gradual descomposición de la madera es una **fuentes constante de nutrientes a largo plazo para las plantas**. Una cama grande puede dar un suministro constante de nutrientes durante 10-20 años.
- La madera de compostaje puede generar calor, lo que puede **aumentar la temporada de crecimiento de las plantas**.
- Se aumenta la aireación del suelo, ya que las ramas y troncos se van rompiendo poco a poco, lo que **mejora el drenaje del suelo**.
- Los troncos y las ramas actúan como una esponja: **el agua de lluvia se almacena** y luego se libera durante los períodos más secos.
- Participa en el secuestro de carbono en el suelo, ya que introduce un carbono de descomposición lenta que **ayuda a la mitigación del cambio climático**.
- Permite aprovechar restos forestales que no son aptos para otros usos, lo que ayuda a **mejorar la rentabilidad de las explotaciones agrícolas**.

Abono orgánico fermentado tipo Bocashi

El abono orgánico fermentado tipo Bocashi es el resultado de una semi-descomposición aeróbica de residuos orgánicos, se realiza mediante poblaciones de microorganismos que producen un material parcialmente estable de descomposición lenta. Este producto es capaz de fertilizar las plantas y, al mismo tiempo, mejorar el suelo. La palabra Bocashi procede del japonés, y significa cocer los materiales del abono aprovechando el calor que se genera con la fermentación aeróbica de los mismos.

■ Ingredientes y preparación del abono orgánico fermentado tipo Bocashi

Los principales ingredientes utilizados para elaborar el abono orgánico fermentado tipo Bocashi son:

- **Carbón vegetal**, permite mejorar las características físicas del suelo, lo que facilita la mejor distribución de las raíces, la aireación y la absorción de humedad.
- **Estiércol**, es la principal fuente de nitrógeno en la elaboración de los abonos orgánicos fermentados.
- **Cascarilla de arroz**, mejora las características físicas del suelo facilitando la aireación, la absorción de humedad y el filtrado de nutrientes.
- **Salvado de arroz**, favorece la fermentación de los abonos orgánicos y es muy rico en nutrientes como fósforo, potasio, calcio y magnesio.
- **Melaza de caña**, es la principal fuente energética para la fermentación de los abonos orgánicos y favorece la multiplicación de la actividad microbiológica.
- **Humus forestal**, es la principal fuente de inoculación microbiológica para la elaboración de los abonos orgánicos fermentados.
- **Tierra común**, tiene la función de darle una mayor homogeneidad física al abono y distribuir su humedad.
- **Harina de rocas y cenizas**, aportan minerales.
- **Agua**, asegura la homogeneización de la humedad de todos los ingredientes que componen el abono.

La mezcla de los ingredientes se realiza colocando **diferentes capas de los diferentes componentes en seco** y, al final, se voltea toda la masa hasta obtener una mezcla equilibrada (**Figura 1**). En este momento se añade el agua para lograr la humedad deseada. Una vez finalizada la mezcla de todos los ingredientes del abono, la masa se deja en el suelo con una altura de un metro y medio durante **tres días para iniciar la fermentación**. Durante estos tres primeros días la mezcla se voltea 2 veces al día para evitar que la tempe-



Figura 1. Mezcla de los diferentes ingredientes para preparar el abono orgánico tipo **Bocashi**. Foto: Marc Gràcia.



Figura 2. Aspecto final del abono orgánico tipo **Bocashi**. Foto: Marc Gràcia.

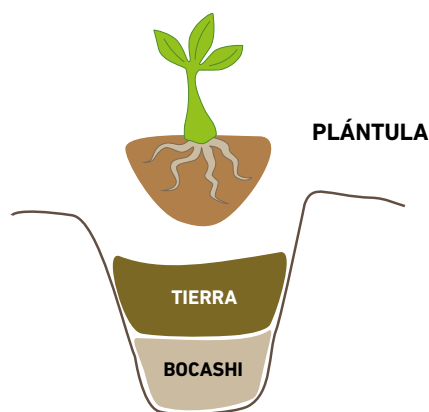


Figura 3. Manera de aplicación del abono orgánico tipo Bocashi.

ratura suba en exceso. **Pasados los tres primeros días la mezcla se esparce** formando una cubierta de unos 30 cm de espeso. Los primeros días se voltea una vez a día utilizando un motocultor. Con los días el tiempo de volteo se va espaciando. **A los 15 días, el abono orgánico fermentado ya ha conseguido su maduración y su temperatura es igual a la temperatura ambiente.** En este momento su color es gris claro, con un aspecto de polvo arenoso (Figura 2).

■ Aplicación del abono orgánico tipo Bocashi

Hay diferentes maneras de aplicación del abono orgánico tipo Bocashi. Para su utilización en el huerto nosotros proponemos la colocación del abono **directamente en la base del agujero donde se meterá la planta** en el momento del trasplante. El abono se aplica puro y se cubre con un poco de tierra para que no contacte directamente con la raíz de la plántula (Figura 3).

La cantidad de abono aplicada a los cultivos está condicionada por diferentes factores, como son la fertilidad de la tierra de cultivo, el clima y las necesidades nutricionales de las plantas a cultivar. **Las dosis de abono varían dependiendo del cultivo (Tabla 1).** Independientemente de la cantidad, una vez el abono orgánico se ha aplicado, se debe cubrir con tierra para que no se pierda fácilmente y así obtener mejores resultados.

Tabla 1. Dosis de abono tipo Bocashi recomendadas para algunos cultivos.

Cultivo	Dosis sugerida
Tomate	125 g en la base
Cebolla	25 g en la base
Remolacha	100 g en la base
Lechuga	50 g en la base
Pepino	50 g en la base

■ Almacenamiento del abono orgánico tipo Bocashi

En cuanto a su almacenaje, normalmente los agricultores elaboran los abonos orgánicos de acuerdo con las necesidades inmediatas de sus cultivos. Por este motivo, **no es muy común guardarlos más de dos meses** antes de aplicarlo en el campo. Si se guarda durante más tiempo, es recomendable almacenarlo bajo una cubierta para protegerlo del sol y la lluvia.

■ Beneficios del abono orgánico fermentado tipo Bocashi para las explotaciones agrícolas y el medio ambiente

- Se puede elaborar en la mayoría de los ambientes y climas donde se llevan a cabo actividades agropecuarias.
- Los materiales con los que se elabora son muy conocidos por los agricultores y fáciles de conseguir a nivel local.
- No exige inversiones económicas muy altas en infraestructuras rurales.
- El crecimiento de las plantas se estimula por una serie de **fitohormonas y fitorreguladores naturales** que se activan a través de estos abonos fermentados.
- Mediante la inoculación y reproducción de los microorganismos nativos presentes en el suelo, **los materiales se transforman gradualmente en nutrientes de excelente** calidad disponibles para las plantas.

Biofertilizantes a base de reproducir microorganismos de montaña

Los biofertilizantes son abonos con mucha energía preparados a base de microorganismos de diferentes orígenes disueltos en agua enriquecida con leche, melaza y minerales, y fermentados en condiciones anaeróbicas. Sirven para nutrir y fortalecer las plantas sin bloquear los procesos biológicos que se producen en un suelo sano. El bosque es la fuente de microorganismos de montaña con los que se elaboran los biofertilizantes.

■ Obtención de microorganismos de montaña

Los microorganismos de montaña, que son la base para obtener los biofertilizantes descritos en esta ficha, son un conjunto de organismos que se obtienen directamente del **humus del bosque** y que, por tanto, están adaptados a la zona de aplicación. Se obtienen de manera no selectiva, ya que se reproducen todos los organismos que hay en una muestra de humus de suelo. Esta muestra incluye **levaduras, hongos, protozoos y bacterias**.

Los microorganismos de montaña se obtienen mezclando humus del suelo del bosque con salvado de arroz (en partes iguales), añadiendo **melaza como fuente de energía** y, si hiciera falta, agua para llegar a la humedad adecuada. Los dos aspectos importantes que hay que considerar para que el proceso funcione correctamente son: 1) que la mezcla se haya realizado de forma uniforme, como si se estuviera haciendo la masa para un pastel; 2) que la mezcla tenga el **grado de humedad correcto**, que puede comprobarse por la prueba del puño: al coger una muestra de la mezcla con el puño y apretarla debe formar una bola maciza, pero cuando esta bola se lanza al aire y se deja caer sobre la misma mano que la ha lanzado, la bola debe desmenuzarse en pequeños trozos. Una vez alcanzada la homogeneidad y la humedad adecuada, la mezcla se coloca en recipientes herméticos. A medida que el recipiente se llena, debe irse compactando (se puede ir pisando) para que contenga el mínimo de humedad posible (Figura 1). Cuando el recipiente está lleno se cierra herméticamente y **se deja aproximadamente un mes**. El resultado es una masa compacta con olor a silo que se guarda en el mismo recipiente.



Figura 1. Compactación de la mezcla (humus del suelo del bosque, salvado de arroz y melaza) para la obtención de microorganismos de montaña. Foto: AVVideos.

■ Biofertilizantes a partir de microorganismos de montaña

INGREDIENTES

Los principales ingredientes utilizados son:

- **Microorganismos de montaña** (levaduras, hongos, protozoos y bacterias), son los que permiten que tenga lugar la fermentación del biofertilizante, colocados en una bolsa de malla a modo de gran bolsa de té.
- **Suero de leche**, tiene la función de reactivar el preparado y aportar proteínas, vitaminas y grasas.
- **Melaza**, aporta la energía necesaria para activar el metabolismo microbiológico durante el proceso de fermentación.
- **Harina de rocas**, permite activar y enriquecer la fermentación ya que tiene como función principal fertilizar el suelo y las plantas.
- **Cenizas**, proporcionan minerales y elementos para activar y enriquecer la fermentación.
- **Agua**, facilita el medio líquido donde se multiplican las reacciones químicas de la fermentación anaeróbica.

PREPARACIÓN

Para la preparación de un biofertilizante estándar, se utilizan las cantidades de los diferentes ingredientes que se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Ingredientes (y cantidades) para la preparación de un biofertilizante estándar.

Ingrediente	Cantidad
Microorganismos	40 kg
Leche (o suero) de vaca	2-4 l (o 20 l de suero)
Melaza	4 l
Harina de rocas	4 kg
Cenizas	4 kg
Agua	180 l

Los biofertilizantes se producen en **bidones de plástico de unos 200 litros de capacidad**, con anilla metálica o tapa enroscada para que queden herméticamente cerrados y se dé una buena fermentación. Se debe colocar una manguera acoplada a una **válvula con el extremo dentro de una botella llena con agua**, para evacuar los gases que se forman durante el proceso de fermentación impidiendo la entrada de aire (Figura 2).

La preparación del biofertilizante se realiza en las siguientes etapas:

1. Se introducen todos los ingredientes a la vez en el bidón de 200 l de capacidad (menos los microorganismos de montaña) y se remueven hasta conseguir una mezcla homogénea. **Los microorganismos de montaña se introducen dentro de una bolsa de malla** (a modo de bolsa de té gigante) que se introduce en el agua de mezcla.

2. **El bidón se tapa herméticamente** para que se inicie la fermentación anaeróbica del biofertilizante, asegurándose de que la manguera de evacuación de gases no está obturada y que el extremo queda dentro de una botella con agua para impedir la entrada de gases.

3. El recipiente que contiene la mezcla **se pone a reposar en la sombra** a temperatura ambiente, protegido de sol y la lluvia.

4. Hay que esperar un **tiempo mínimo de 20 a 30 días de fermentación anaeróbica** (el bidón ya lleva unos días sin que se produzca salida de gases), y abrir luego el bidón y verificar su calidad por su **olor (ácido agradable)** y color (marrón ámbar), antes de usarlo. No debe presentar olor a putrefacción ni ser de color azul violeta, su olor debe ser de fermentación y su color debe ser más o menos marrón.

■ Almacenamiento de los biofertilizantes

Una vez acabado el proceso, el biofertilizante está listo para ser aplicado. Antes de su aplicación, **el biofertilizante se puede envasar en recipientes preferentemente oscuros**, para que la luz no les afecte, y que no sean metálicos. También se puede dejar el producto en los mismos recipientes en los que se preparó. El tiempo que se pueden guardar los biofertilizantes puede oscilar entre **seis meses y un año**.



Figura 3. Aplicación de biofertilizantes de microorganismos de montaña en el huerto. Foto: Ángela Justamante.



Figura 2. Recipiente para preparar biofertilizantes cerrado herméticamente con una manguera acoplada a la botella llena de agua para evacuar los gases. Foto: Ángela Justamante.

■ Aplicación de los biofertilizantes

La aplicación del biofertilizante se realiza **vía foliar utilizando un pulverizador (Figura 3)**. Se aplica diluido, en dosis que pueden variar entre el 2 y el 10% (2 a 10 litros de biofertilizante en 100 litros de agua), preferentemente a primera y última hora del día, a razón de un par de veces por semana y también después de las lluvias.

■ Beneficios de los biofertilizantes para las explotaciones agrícolas y el medio ambiente

- Utilización de **recursos locales** fáciles de conseguir (melaza, leche, suero, etc.).
- **Inversión muy baja** en infraestructuras.
- **Tecnología de fácil desarrollo** por parte de los productores.
- **Resultados** que se observan **a corto plazo**.
- **Aumento de la resistencia de las plantas** contra el ataque de insectos y enfermedades.





El sistema Polyfarming

El ganado como herramienta de gestión

- Cría de pollitos y conejos jóvenes antes de su traslado al pasto
- Gestión de pollos en pasto
- Gestión de conejos en pasto
- Gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado

Cría de pollitos y conejos jóvenes antes de su traslado al pasto

Los pollitos, cuando llegan a la granja, se instalan en estructuras con temperatura controlada, buena ventilación, una cama de serrín sobre la que pueden reposar y agua potable y alimento a libre disposición. No se trasladan al campo hasta que transcurren cuatro semanas. Los conejos adultos se crían en jaulas individuales. Cuando la hembra está receptiva, se traslada a la jaula del macho donde se realiza la cópula. Después del parto, los gazapos (de 3 a 12 por camada) viven con la madre hasta que son destetados y se llevan al pasto, lo que ocurre aproximadamente al mes de vida.

■ Instalación y cría de los pollitos

- Estructuras para la instalación de los pollitos en la granja

Los pollitos se instalan en estructuras cerradas y aisladas, formadas por un cuarto de cría, que es un cajón grande donde la temperatura es elevada, y un patio delantero (**Figura 1**). Antes de la llegada de los pollitos, la estructura debe estar totalmente limpia y desinfectada al igual que los bebederos y comederos. **El tamaño de la estructura depende de la cantidad de pollitos a criar**, es imprescindible que tengan espacio suficiente para desarrollarse. En el proyecto **Polyfarming** la estructura está preparada para **200 pollitos**.

La **temperatura ideal** para la cría de pollitos recién nacidos es de 37°C. Esta temperatura se va reduciendo gradualmente hasta alcanzar los 30°C al final de la primera semana de vida. El aumento de temperatura se consigue con **lámparas de infrarrojos especiales** de las que hay múltiples modelos en el mercado. La humedad del área de cría no debe superar el 60%, lo que se consigue **manteniendo una buena ventilación**. Las estructuras deben estar siempre cerradas y protegidas de posibles depredadores.

- Alimentación y cuidado de los pollitos hasta su traslado al pasto

Los pollitos **llegan a la granja normalmente con un día**, todos ellos con las vacunas básicas puestas. No se llevan al pasto hasta que pasan cuatro semanas. Inicialmente hay 200 en cada estructura, y después de una semana se separan en dos lotes y se ponen 100 en cada una.

Desde el primer día, los pollitos deben tener agua potable y alimento a libre disposición (**Figura 1**). La dieta de los pollitos se compone de pienso compuesto granulado de iniciación para cría. **Hasta que cumplen el primer mes de edad no es conveniente darles granos ni hierba**. En el agua se añade vinagre de manzana que les aporta vitaminas y minerales para mantener su equilibrio interno y mejorar su sistema inmunológico. Posteriormente también se añade ajo fermentado, que tiene un efectivo poder antiparasitario.



Figura 1. Pollitos recién instalados en la estructura de cría, Finca Planeses. Foto: Marc Gràcia.



Figura 2. Esparciendo biochar en la cama de los pollitos, Finca Planeses. Foto: Ángela Justamante.

Los pollitos deben tener un **lecho o cama sobre el que puedan reposar**. Las camas pueden construirse con diversos materiales. En Polyfarming se utiliza una cama de serrín de madera de 20-25 cm de alto en la que **se incorporan microorganismos y biochar** para que se vaya compostando (**Figura 2**). La humedad de las camas debe controlarse para que esté siempre entre el 20% y el 25%. Para que no se compacte, se **remueve con un motocultor** a partir de los 10 días, primero cada 4 días y luego cada dos. Esta es una manera de no tener que ir cambiando la cama continuamente. La alternativa es poner un poco de serrín sobre la superficie de cemento e irlo cambiando regularmente. En el sistema Polyfarming el compost que se obtiene de la cama de los pollitos se utiliza posteriormente en el huerto.



Figura 3. Jaula individual para la cría de conejos de granja, Finca Planeses. Foto: Marc Gràcia.



Figura 4. Conejos pequeños en el nido. Foto: Núria Anglada.

■ Reproducción y cría de los conejos jóvenes

- Jaulas para el mantenimiento de los conejos adultos

Los conejos adultos, tanto machos como hembras, necesitan un espacio vital limpio, con mucha ventilación, y que esté protegido de la lluvia, el viento y las temperaturas excesivas. Los conejos se colocan en **jaulas individuales de madera o metálicas de alambre galvanizado** de tamaño aproximado 100x50 cm y 40 cm de altura (**Figura 3**). El hecho de que los conejos se críen en jaulas individuales permite un mayor control de su reproducción y un mejor control sanitario, que incluye la limpieza y desinfección de la jaula y el menor riesgo de contagio. Es importante que las jaulas sean fáciles de limpiar y que impidan que los conejos puedan escapar o sean atacados por posibles depredadores.

- Reproducción de los conejos

Para la cópula, la hembra se traslada a la jaula del macho. Si la hembra está en condiciones de cruzarse y el macho es activo, el apareamiento se realiza casi inmediatamente. El cortejo es muy corto: el macho acaricia a la hembra, la estimula y la monta, y en pocos segundos se produce la eyaculación. Tras la cópula, es mejor devolver la hembra a su jaula cuanto antes.

Si el apareamiento ha tenido éxito y hay embarazo, **la gestación dura 31 días**. Veinticinco días después de haberse cruzado, es necesario proporcionar a la hembra paja seca o lana para que prepare su nido. **Las camadas suelen ser de entre 3 y 12 gazapos (Figura 4)**. Hay diferentes ideas sobre cuando volver a montar a las hembras que acaban de parir: justo después de hacerlo, 10-12 días después, o cuando acaba el destete de los gazapos un mes después.

- Cuidado de los gazapos hasta su traslado al pasto

La hembra comparte espacio con los gazapos hasta que éstos son destetados. El **período de lactancia puede durar un máximo de 56 días**, aunque es durante las tres primeras semanas cuando los gazapos se alimentan sólo de leche, luego van sustituyéndola en su dieta por el pienso. Durante el período de embarazo y el de lactancia la hembra aumenta la cantidad de alimento diario que necesita. En estas fases es importante que haya comida y agua siempre disponible en las jaulas. La separación de las crías de la madre se produce normalmente al mes de vida aproximadamente. En ese momento, antes de llevarlos al campo, a las crías se les suministra la vacuna de la enterotoxina.

Gestión de pollos en pasto

La gestión de pollos en pasto se caracteriza porque los animales disponen todos los días de hierba fresca. Esto se consigue con el movimiento diario de los animales mediante un sistema de vallas y refugios móviles. Con este tipo de gestión, los pollos se convierten en un elemento importante del sistema planta-animal, y una herramienta principal para regenerar el suelo y el paisaje gracias a sus excrementos.

■ La alimentación de los pollos

Los pollos no son exclusivamente herbívoros, pero **comen mucha hierba**. La clave para manejar a estos pequeños animales en el prado es mantener la hierba fresca y en estado vegetativo. Los pollos no suelen alimentarse de plantas muy maduras, ya que son menos digeribles que las plantas jóvenes, tampoco se comen las plantas más altas, de hecho, lo que hacen es pisotearlas.

En el prado, los pollos también obtienen altas cantidades de proteína viva en forma de **lombrices e insectos, así como semillas** que también encuentran allí. En conjunto todos estos recursos pueden representar el 30-40% de su alimentación.

El resto de los recursos para completar una alimentación equilibrada lo aportan los productores **en los comederos**: una parte importante es en forma de pienso, pero también se pueden añadir granos de cereal. Si además el cereal está fermentado, es más digerible para los animales. También es conveniente aportar piedras pequeñas para facilitar el funcionamiento de la molleja y la digestión.

■ Características de los refugios (o corrales)

La primera prioridad para la crianza de pollos en pasto es proporcionarles hierba fresca todos los días. Por ello es importante **diseñar refugios o corrales que se muevan fácilmente**. Este sistema permite que los pollos coman pasto fresco en un trozo nuevo de prado cada día.

Los corrales que empleamos en el sistema Polyfarming, son adecuados por su bajo cos-



Figura 1. Refugios móviles para pollos criados en pasto. Foto: Marc Gràcia.



Figura 2. División del prado en sectores en los cuales se van moviendo los refugios móviles. Foto: AVVideo.



Figura 3. Movimiento de los pollos mediante un sistema de vallas y refugios móviles en pasto. Foto: J.Luis Ordóñez.

te y flexibilidad. Se trata de **estructuras de hierro sin suelo** de tamaño adecuado (3 x 4 m) y con ruedas para poderlos transportar a mano cada día (**Figura 1**). Estos corrales tienen una estructura elevada sobre la que se coloca un techo de lona o malla que les protege del sol, y en parte de la lluvia, y reduce el riesgo de depredadores. Por la noche los pollos en general se colocan bajo el techo del corral para dormir.

■ División del prado en sectores y movimiento de los animales

Los pollos se ponen en el prado a las 3-4 semanas de nacer. La gestión de los pollos se realiza en un **pasto dividido en pasillos** (**Figura 2**). Estos pasillos permiten ir moviendo a los animales diariamente mediante un sistema de vallas y refugios móviles. Para el movimiento de estas vallas **no hace falta maquinaria pesada, lo pueden llevar a cabo una o dos personas** (**Figura 3**).

El movimiento diario de los animales permite que éstos siempre puedan acceder a un pasto limpio que ofrece al animal el máximo de recursos que puede dar en las diferentes épocas del año.

■ Protección de los pollos contra depredadores y enfermedades

Los depredadores pueden provocar grandes pérdidas en las explotaciones, por ello es muy importante que los refugios ofrezcan a los animales el **máximo de protección frente a éstos**. En general, los pollos son susceptibles a la depredación por parte de aves y también de algunos mamíferos como el zorro. Esto se puede solucionar en parte colocando un pastor eléctrico alrededor del recinto para mantener a los depredadores alejados, o mediante la presencia en el campo de perros adiestrados.

En cuanto a las enfermedades, los sistemas de cría en pasto bien gestionados **necesitan en muy pocas ocasiones el uso de medicamentos**, ya que el propio sistema, junto con una limpieza apropiada, permite prevenir enfermedades antes de que se produzcan.

■ Beneficios de criar a los pollos en pasto para las explotaciones agrícolas y el medio ambiente

- Permite producir de **pollos con un alto valor nutricional**.
- Favorece el **control de plagas de cultivos**, ya que los pollos consumen muchos insectos que pueden ser perjudiciales.
- Ayuda a la prevención de enfermedades y **prácticamente elimina el uso de medicamentos**.
- **Ayuda a crear y mantener pastos de alta calidad** gracias a sus excrementos.
- **Aumenta la rentabilidad de la finca**, porque el equipo y el mantenimiento del sistema requiere una inversión pequeña.

Gestión de conejos en pasto

La gestión de conejos en pasto se lleva a cabo exclusivamente en el prado. Los animales se mueven diariamente, de forma que siempre disponen de un pasto nuevo que les aporta su máximo valor nutricional. El movimiento se lleva a cabo mediante un sistema de vallas y refugios móviles que protegen a los animales frente a las inclemencias climáticas y los depredadores. Además, con este sistema los animales se convierten en la herramienta clave para mantener un pasto de máxima calidad.

■ El sistema de cría de conejos en pasto

La cría de conejos en pasto es una actividad relativamente reciente y, aunque en España aún es poco conocida, está teniendo un éxito importante en países como Estados Unidos. La falta de conocimiento hace que se confunda con la producción ecológica, pero hay diferencias a nivel de concepto y técnica muy importantes entre estas dos maneras de producir. La producción ecológica se centra en el animal y su bienestar y sólo requiere una superficie mínima para que el animal pueda salir durante el último tercio de su vida. En cambio, **la producción de conejo en pasto tiene en cuenta tanto el animal como el pasto**, por lo que se busca un doble objetivo: (i) que el animal siempre disponga de un pasto nuevo con todos los elementos que pueda aprovechar, y (ii) que el animal sea la herramienta principal para mantener este pasto con la máxima calidad.

Este sistema de producción de conejos requiere unas condiciones técnicas muy diferentes a las del conejo ecológico, tanto en cuanto a las instalaciones, donde **se ha de trabajar con jaulas y vallas móviles para permitir el movimiento continuo de los animales**, como en el tipo de alimentación, ya que los conejos en pasto se alimentan en una parte muy importante, entre el 80 y el 100% según la época del año, únicamente del pasto.

■ La alimentación y medicación de los conejos

El engorde de conejos se hace exclusivamente en el prado, ya que su dieta es **100% herbívora (Figura 1)**. **El pasto se complementa con hojas de ramas procedentes de especias** como el almez y el fresno (en verano), la encina (en invierno), y plantas aromáticas (romero y orégano) para reforzar su sistema inmunitario.

Con este tipo de alimentación **prácticamente no hace falta usar antibióticos** y sólo se utilizan vacunas para las enfermedades víricas.



Figura 1. Los conejos son herbívoros y se alimentan básicamente de la hierba del prado. Foto: Marc Gràcia.



Figura 2. Refugios móviles para conejos criados en pasto. Foto: Marc Gràcia.

Figura 3. Los refugios sirven de protección a los conejos de las inclemencias climáticas y los depredadores. Foto: Marc Gràcia.



■ Características de los refugios y movimiento de los animales

El destete de los gazapos y su colocación en el prado se produce cuando tienen 30-40 días de edad. A partir de entonces, la gestión de los conejos se lleva a cabo en un **prado dividido en pasillos**. Los animales se mueven diariamente mediante un sistema de vallas y refugios móviles. Las vallas móviles mantienen a los conejos en un espacio limitado para conseguir el impacto adecuado sobre el pasto y garantizar el tiempo de recuperación suficiente. Para el movimiento de estas vallas **no hace falta maquinaria pesada**, lo pueden llevar a cabo una o dos personas.

Los refugios deben **proteger a los animales frente a las inclemencias climáticas y los depredadores**. Tanto los refugios como los bebederos y comederos, deben ser fáciles de mover. La estructura es muy similar a la de los corrales para pollos (ver ficha: "El sistema polyfarming: gestión de pollos en pasto"): una estructura de hierro con ruedas para poderlos transportar, con un techo de lona o malla que los proteja. La principal diferencia es que los refugios de conejos tienen una madera que ocupa toda la jaula, situada a unos 25 cm del suelo (**Figura 2**). Esto genera un espacio donde los conejos pueden esconderse para evitar el calor del verano, o bien subirse para protegerse cuando la humedad del suelo es excesiva.

El elemento básico de este sistema es el movimiento de los animales a lo largo del prado, de forma que los animales se mantienen en una **parcela de prado delimitada**, con una densidad elevada, pero sólo durante uno o dos días (según la época del año). Después los animales se mueven a una nueva parcela, y así sucesivamente hasta que vuelven a la parcela inicial. El tiempo que se tarda en volver a la misma parcela puede variar entre **60 y 80 días**. De esta manera cada parcela del prado está sometida a un impacto grande cuando los animales están presentes, pero luego dispone de un tiempo largo de recuperación.

■ Protección de los conejos contra las inclemencias climáticas y los depredadores

Al trabajar en espacios abiertos los animales están sometidos a las condiciones climáticas externas que se pueden dar a lo largo del año. Por ello, **uno de los puntos críticos de este sistema es** poner los medios que permitan dar protección a los animales de los agentes climáticos y los depredadores. Este es el objetivo del diseño de los diferentes elementos utilizados, especialmente de los refugios móviles (**Figura 3**). El movimiento diario de los animales ayuda a evitar los depredadores, ya que el riesgo de depredación aumenta cuando los animales se mantienen en un espacio fijo. También mantiene los espacios limpios, **rompiendo el ciclo de parásitos y limitando los problemas de humedad en las patas de los conejos** (que están ligados a la humedad y la suciedad).

En la protección frente a la depredación se utilizan alambradas eléctricas que se colocan en todo el perímetro del campo donde se encuentran las parcelas de pasto. Con este sistema los depredadores no pueden acceder desde fuera. También se emplean perros adiestrados, que puedan moverse alrededor de la parcela en la que están los conejos, pero sin entrar dentro de ésta.

■ Beneficios de la cría de conejos en pasto

La producción de conejos en pasto tiene claros beneficios tanto en aspectos ambientales como en el valor nutricional de la carne producida.

- A nivel medioambiental, **empleando este sistema los conejos pasan a ser la herramienta principal para regenerar un suelo fértil y un prado de calidad**. Esto es una manera muy eficiente de capturar carbono en el suelo y crear y conservar hábitats de alto valor natural.
- Desde el punto de vista del valor nutricional, **la carne obtenida presenta una mayor densidad y un contenido más elevado en vitaminas (A, D y K) y grasas de calidad (Omega 3)**. Además, la alimentación del conejo en el prado permite reducir (prácticamente eliminar) la utilización de antibióticos.
- Este **sistema de producción es escalable**; hay proyectos con pequeñas producciones (100 conejos al mes) y proyectos más grandes, de más de 1000 conejos al mes. En cualquier caso, con este sistema la producción a pequeña escala (de 100 a 500 conejos al mes) es competitiva respecto a proyectos más grandes. Además, **la inversión necesaria para ponerlo en marcha es pequeña en relación con proyectos convencionales**: muchas de las instalaciones pueden ser autoconstruidas y se requieren superficies pequeñas de pasto (a partir de 2 ha).

Gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado

El pastoreo intensivo controlado se basa en que el rebaño de vacas se desplaza cada día desde la parcela en la que se encuentran hasta otra que está en el punto óptimo de pastoreo. De esta manera, el ganado está poco tiempo en cada parcela y no existe el riesgo de que se alimente de los rebrotes de las primeras plantas que se comió. Además, el efecto de compactación del suelo por pisoteo es mucho menor. El diseño de este tipo de gestión se realiza dividiendo el pasto en parcelas permanentes de tamaño similar a las que se puede llegar por un sistema de caminos.



Figura 1. Vacas pastando en una de las parcelas delimitadas para la aplicación del sistema de pastoreo intensivo controlado. Foto: MJ Broncano.

En el sistema Polyfarming la gestión del rebaño de vacas se realiza mediante **pastoreo intensivo controlado**. Esta técnica se caracteriza por utilizar densidades de ganado muy altas en espacios pequeños con una permanencia muy corta y un periodo de recuperación muy largo. El objetivo es guiar al ganado para que se alimente del mejor pasto, **sin degradar el suelo ni las plantas (Figura 1)**.

■ División del prado en parcelas y movimiento del rebaño

El pastoreo intensivo controlado establece un plan de pastoreo a fin de controlar el estado y la evolución de la vegetación y, así, determinar el momento ideal para que las vacas pasten. Para ello, se diseña un sistema donde **el pasto se divide en parcelas permanentes** de tamaño similar mediante cercas e hilos (**Figura 2**).

Este plan de pastoreo garantiza que el movimiento de los animales se realiza desde la parcela en la que se encuentran hasta otra que está en el **punto óptimo de pastoreo**, siempre

teniendo en cuenta cuándo fue la última entrada de los animales. **El tiempo de retorno** a la misma parcela varía: en primavera normalmente los animales tardan alrededor de 25 días en volver a la misma, mientras que en verano tardan más, entre 60 y 70 días. Para el buen funcionamiento del sistema son necesarias como mínimo tantas parcelas como días tiene el periodo de retorno más largo.

El **momento óptimo para que las vacas pasten** en una parcela determinada es justo antes de que las plantas entren en la madurez. Si los animales pastan antes del tiempo óptimo, el pasto se consume antes de que la planta haya recuperado sus reservas y, como consecuencia, las plantas pueden acabar deteriorándose. Sin embargo, si pastan después, los animales no aprovecharán todos los nutrientes que les puede ofrecer la hierba.

El traslado de las vacas de una parcela a otra se realiza **a través de los caminos diseñados** para ello (**Figura 3**). Los movimientos pueden ser diarios o bien dos veces al día y los animales pueden ocupar una parcela completa o solo una parte, dependiendo del estado de la vegetación.

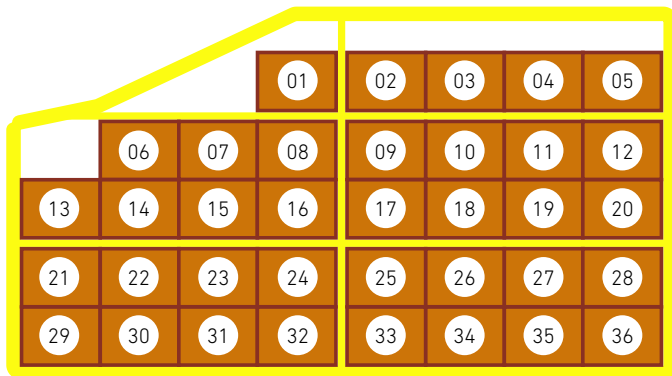


Figura 2. Diseño del sistema de parcelas en que se divide el pasto para aplicar el sistema de pastoreo intensivo controlado. Los números indican parcelas, las líneas amarillas son los caminos para que el rebaño se desplace entre parcelas.



Figura 3. El movimiento de las vacas de una parcela a otra se realiza a través de los caminos diseñados para ello. Foto: AVVideo.

■ Infraestructuras para la gestión de las vacas

Para la gestión de un rebaño de vacas, mediante pastoreo intensivo controlado, hacen falta una serie de infraestructuras. La más importante es **el vallado de todas las parcelas mediante hilo eléctrico**. Las parcelas y los caminos son permanentes, pero el sistema de hilos y postes que las limitan se puede modificar, en caso de que sea necesario hacer intervenciones como la siega del pasto o la reducción puntual del tamaño de la parcela.

El sistema de mangueras que conducen el agua para los abrevaderos, que deben estar en todas las parcelas, es otra estructura fundamental para poder llevar a cabo adecuadamente este sistema de gestión. Finalmente, si las vacas son de leche, otra infraestructura básica es **el establo de ordeño**, que debe estar situado en una zona central de la superficie de pasto para reducir el movimiento diario.

■ Alimentación de las vacas

Las vacas son animales herbívoros, de manera que **todo su alimento lo obtienen de las plantas**. Durante una buena parte del año, gran parte de su alimento lo obtienen directamente del pasto. Sin embargo, en algunos meses el pasto no crece y se les debe suministrar forraje adicional para completar su alimentación (**Figura 4**).

Este forraje **puede proceder de la propia finca**, a partir de la hierba cortada en los meses en que hay excedente. En caso de que no esté disponible el forraje propio, **se debe comprar**, y debe ser considerado una inversión para mejorar la finca, es una importación de carbono que debe volver al suelo con los excrementos de las vacas.

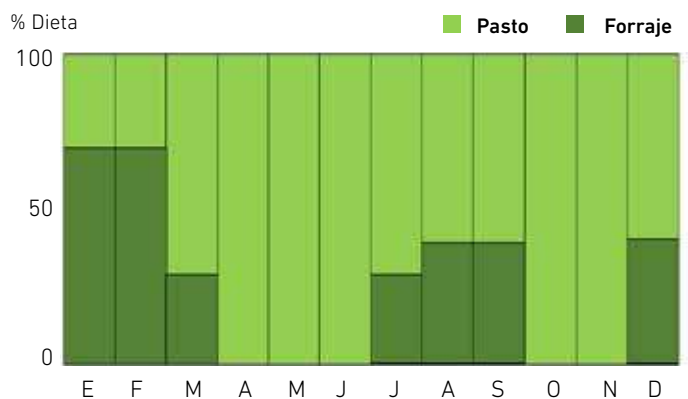


Figura 4. Proporción de la dieta de las vacas que procede del pasto o de forraje comprado en los diferentes meses del año. Los datos son de la granja Planeses, del año 2019.

■ Beneficios de la gestión de vacas mediante pastoreo intensivo controlado

La gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado tiene claros beneficios tanto para el medio ambiente como para las explotaciones agrícolas que lo lleven a cabo.

- Se **consigue que el pasto produzca el máximo para cada estación** y que los animales lo consuman en el mejor momento.
- **Los excrementos del ganado ayudan a mejorar la fertilidad del suelo** pues aumentan la materia orgánica y los nutrientes.
- El poco tiempo que pasan los animales en la parcela **evita que tengan un efecto de compactación del suelo**.
- Ayuda a crear y mantener pastos de alta calidad y con un **efecto de secuestro de carbono** en el suelo muy importante.
- Produce **carne y leche con un mayor valor nutricional**.





El sistema Polyfarming

Los cultivos como receptores de recursos

- Gestión de frutales sobre pasto
- Gestión de un huerto sin labranza I. Diseño, caminos, bancales, sistema de riego y plantación
- Gestión de un huerto sin labranza II. Control de plantas adventicias, uso de productos del bosque, biofertilizantes, abonos y pastoreo

Gestión de frutales sobre pasto

La gestión de árboles frutales en combinación con pasto y ganado es uno de los sistemas de agroforestería más extendidos. La plantación de frutales se realiza en primavera y requiere un buen sistema de riego y una protección individual para cada árbol, así como una serie de cuidados posteriores como protección contra plagas o podas. La instalación del pasto requiere la adecuación del terreno, el control de las malas hierbas, la siembra en el momento adecuado y el riego cuando sea posible. Esta combinación de frutales y pasto con ganado tiene claros beneficios mutuos.

■ Agroforestería: gestión de árboles frutales sobre un pasto con ganado

Uno de los tipos de sistemas agroforestales presentes en toda Europa es la agroforestería, en la que se utilizan **árboles** de alto valor. Estos pueden ser árboles frutales o árboles cultivados para madera de gran calidad **en combinación con cultivos herbáceos o pastos**. En estos sistemas, al valor de la producción de los árboles (en forma de fruta o madera) se añade lo que se obtiene de los cultivos y el uso del pasto para la alimentación del ganado (**Figura 1**).



Figura 1. Agroforestería. Dehesa Boyal en Bollullos Par del Condado (Huelva, España). Foto: Wikimedia Commons, CC-BY.

La utilización del ganado como herramienta de gestión en el sistema de frutales y pasto condiciona la **especie de frutal, la densidad y el diseño de la plantación de los frutales en el pasto**.

- Cuando **el animal que se utiliza es grande**, como es el caso de las vacas, hay que considerar que el efecto del pastoreo sobre el árbol llega hasta una altura considerable. Por ello debe elegirse una especie de frutal que se pueda **aprovechar formando un porte alto**, como nogales, manzanos o castaños. En estos casos la densidad de plantación suele ser baja, ya que los frutales se sitúan siguiendo las líneas que delimitan las parcelas. De esta manera, los frutales son más fáciles de proteger durante los primeros años, y permiten crear una mejor sombra para que el ganado pueda protegerse del calor excesivo. La plantación se hace en las líneas divisorias a razón de un árbol cada 10-12m (**Figura 2**). Esto implica una plantación de unos 100-120 árboles por hectárea.
- Cuando se utilizan **animales medianos o pequeños** como pollos, patos, conejos o incluso cerdos, la altura del pastoreo no es tan elevada. Por ello, se pueden plantar **especies de porte más bajo**, como granados, ciruelos o albaricoqueros. En estos casos normalmente se plantan a **densidades más altas a lo largo de líneas paralelas separadas** entre 5 y 20 o más m (**Figura 2**). Dentro de la línea la separación entre plantas será variable, 3-6 m entre sí, dependiendo de la especie.

■ Instalación y cuidados de los árboles frutales

La **plantación de los frutales** debe hacerse al principio de la primavera. Una vez delimitados los lugares donde se plantarán los árboles, se realiza la excavación de los agujeros, que normalmente se hacen con excavadora. Estos agujeros miden unos 50x50 cm de ancho y 50-60 cm de profundidad.

En el fondo del agujero se colocan los troncos utilizando **la técnica de camas de madera** (más información sobre la técnica en la ficha 'Sistema Polyfarming: Cultivo sobre camas de madera'). Estos troncos **ofrecen una reserva de agua y microorganismos** para mantener un suelo vivo, favorecer el crecimiento de las plantas y aumentar el contenido de carbono en el suelo. Encima de los troncos se colocan ramas y restos más pequeños. Sobre ellos, se pone una capa de tierra y finalmente se colocan los árboles frutales jóvenes, que se tapan posteriormente con tierra hasta llenar el hoyo.

La plantación de frutales debe tener **un sistema de riego** extendido y que riegue por goteo cada uno de los árboles. Especialmente en los primeros años y después en las estaciones más secas, el aporte de agua es imprescindible para asegurar la supervivencia y crecimiento de los frutales. Otra infraestructura, que también es imprescindible, es **una protección individual para cada árbol**, a fin de evitar la herbivoría del ganado que se colocará en el prado (**Figura 3**).

Los árboles frutales tienen una vida larga, y durante una parte de esta vida no son productivos. Así, por ejemplo, en una plantación comercial de nogal bien cuidada y con ejemplares injertados, a los 5 o 7 años puede que ya produzcan algunos

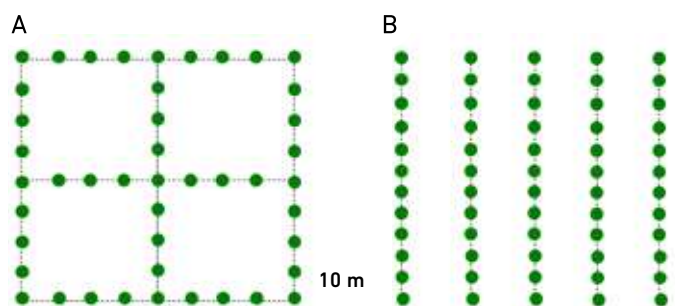


Figura 2. Diseños de plantación de frutales en pasto (a) en las líneas divisorias de las parcelas del prado a baja densidad, y (b) a lo largo de líneas paralelas a densidad más alta.

kg de nueces por árbol, pero habrá que esperar hasta los 30 años para alcanzar la producción máxima. Durante todo este tiempo, **los frutales requieren una serie de cuidados** sin los cuales la producción posterior se resiente mucho. El primer aspecto clave es realizar revisiones periódicas para **identificar posibles plagas o enfermedades** y, en caso de que aparezcan, establecer los métodos para actuar contra ellas. El segundo aspecto fundamental es **la poda**. El mejor momento de podar los árboles frutales es a finales de invierno cuando todavía no han aparecido los primeros brotes, o justo después de la recogida de la fruta. Hace falta bastante experiencia para podar bien los árboles, especialmente en la poda de formación de la forma del árbol, que se realiza durante los primeros años, o en la poda de fructificación para preparar el árbol para la cosecha del año siguiente, que se realiza cada año.

■ Instalación y cuidados del pasto

Un pasto de calidad puede tardar varios años en formarse, y requiere de una serie de pasos para poderse desarrollar adecuadamente:

- **Adecuación del terreno y preparación del suelo.** Se debe adecuar el terreno eliminando todas las piedras, troncos y otros restos que dificulten el establecimiento del pasto. El suelo debe estar moderadamente húmedo para facilitar las labores de adecuación.
- **Control de la vegetación presente.** Antes de plantar se debe eliminar la vegetación presente en la zona. Este control se puede hacer mecánicamente, usando desbrozadoras de martillos, o bien utilizando el ganado para que pastoree la vegetación a eliminar.
- **Siembra del pasto.** Siempre que sea posible, la siembra se debe hacer con una sembradora de **siembra directa**. Si no es posible, se hace una siembra a voleo, pero intentando hacerla en la época del año donde las semillas vayan a tener la máxima protección. El momento ideal de distribuir las semillas en el terreno es en otoño, porque las semillas van a poder mantener la humedad durante más tiempo. Además, en invierno la planta no crece en la parte aérea, pero sí lo hace en la parte subterránea. El problema mayor en esta época es que las semillas puedan ser depredadas por bandadas de pájaros. **La combinación de especies a sembrar depende de la climatología de la zona y de las necesidades de la finca.** En esta mezcla de semillas es recomendable (i) plantar especies que tengan crecimiento rápido, (ii) que haya alguna leguminosa, y (iii) introducir especies como el centeno (con un sistema radical muy denso) que permiten controlar mejor el crecimiento de plantas adventicias.
- **Riego de las plantas recién nacidas.** Las plántulas en sus etapas iniciales son muy susceptibles a la falta de agua. Por ello, si no llueve suficientemente durante los primeros días (en el caso de que haya disponibilidad de agua y exista la posibilidad de montar un riego sin costes elevados), es conveniente tener preparado un sistema para regar la superficie del futuro pasto hasta que se hayan establecido adecuadamente las plántulas sembradas.



Figura 3. Nogal joven con una protección individual contra la herbivoría del ganado en la finca de Planeses. Foto: Marc Gràcia.

- **Resiembra si es necesario.** En ocasiones, especialmente cuando no se ha podido proteger bien la semilla, la siembra da lugar a un pasto con una cobertura muy baja (menos de 4-6 plantas por m²). En estos casos, se debe resembrar la zona, focalizando en las zonas donde el pasto presenta más parches sin vegetación, y revisando los factores que impidieron la adecuada germinación inicial.
- **Control de especies rebrotadoras.** Cuando ya están instaladas las nuevas plantas del pasto, entra el ganado. Pero si han aparecido muchos rebrotes de arbustos o árboles, justo después de la salida del ganado de la parcela es conveniente desbrozar estos rebrotes que el ganado no consume con una desbrozadora manual.

A partir de ese momento, la gestión del ganado es la que debe consolidar y mejorar el pasto. Si al principio no hay comida suficiente, es conveniente completar la alimentación del ganado en la parcela, porque esta comida acaba mejorando la fertilidad de la misma. **La base de un buen pasto es la gestión adecuada del ganado que pasta en él.**

■ Beneficios de la gestión integrada de frutales sobre pasto

La gestión de frutales sobre pasto tiene claros beneficios tanto para el medio ambiente como para las explotaciones agrícolas que lo lleven a cabo.

- En diferentes estudios de agroforestería se ha visto una **relación sinérgica positiva entre los frutales y el pasto** en cuanto al contenido de agua del suelo y la retención de nutrientes.
- La presencia de los árboles en el prado permite **aumentar el carbono total almacenado en la explotación**, tanto en el suelo como en las plantas.
- La **biodiversidad** en sistemas integrados de frutales y pasto también **aumenta**.
- Los árboles cuando crecen **proporcionan sombra** para el ganado.
- Los **excrementos del ganado ayudan a mejorar la fertilidad del suelo**, tanto para el pasto como para los árboles frutales.
- La gestión integrada de frutales y ganado en el pasto permite aumentar los ingresos y **mejorar la rentabilidad de las fincas**.

Gestión de un huerto sin labranza I. Diseño, caminos, bancales, sistema de riego y plantación

En un huerto sin labranza todas las estructuras pueden ser permanentes, se pueden mantener de un año a otro. Los bancales constan de una serie de elementos: el camino permanente para desplazarse, el surco por el que pasa la manguera principal (que suele estar relleno de BRF o compost), y las dos filas de plantas del cultivo. La plantación es un proceso lento, porque el suelo no está suelto y, a menudo, requiere herramientas, como la horca de doble mango, para facilitar la abertura de los agujeros donde plantar.

■ Gestión de un huerto sin labranza

La característica principal que define la gestión de un huerto sin labranza en el sistema Polyfarming es el hecho de no labrar el suelo. Esto implica básicamente dejar el suelo intacto, de manera que **no se rompe su estructura y su actividad biológica se mantiene mucho mejor**. Una importante ventaja de este sistema es que las estructuras del huerto se pueden mantener de un año a otro, pero otros aspectos como la plantación de los cultivos o la eliminación de las plantas adventicias requieren un esfuerzo superior. En esta ficha y en la siguiente ('Gestión de un huerto sin labranza II: control de plantas adventicias, uso de productos del bosque, biofertilizantes, abonos, pastoreo), se describen los diferentes aspectos de la gestión de un huerto de estas características.

■ Diseño del huerto según el modelo de Planeses

Para describir los elementos que hay que tener en cuenta a la hora de **diseñar un huerto sin labranza**, se utilizará como modelo el huerto de la **finca Planeses (Figura 1)**. Los aspectos que se describen a continuación deben adaptarse en cada caso a las características del huerto que se vaya a diseñar.

En este tipo de huertos todas **las estructuras pueden ser permanentes**. Al no labrarse, el diseño puede mantenerse de un año a otro, incluyendo los caminos grandes y pequeños, las estructuras de riego o los postes para tutorar las plantas que lo necesitan.

Los principales elementos del huerto de Planeses son:

- El huerto dispone de un **sistema de caminos grandes**, tanto perimetrales como centrales, para poder desplazarse fácilmente y facilitar el desplazamiento con la carga de los diferentes materiales que deben transportarse en el huerto: BRF, plantel y las diferentes cosechas que de él se obtienen.
- El huerto tiene un **camino central transversal donde se sitúan dos gallineros móviles**. De esta manera, cada día el gallinero puede moverse hasta la altura de los bancales, a la zona donde se haya decidido que es más conveniente que las gallinas pastoreen. Desde el gallinero se colocan **mallas que permiten encerrar varios bancales**. Por la noche las gallinas vuelven a refugiarse en el gallinero.

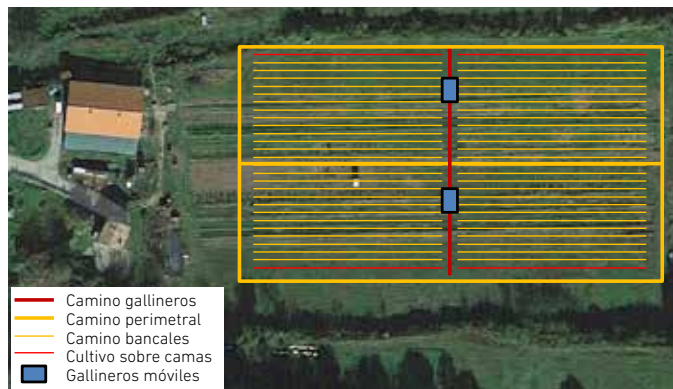


Figura 1. Distribución de los diferentes elementos del huerto de Planeses.

- El huerto de Planeses se ha diseñado con bancales de 1 m de ancho dispuestos en la dirección este-oeste. Los bancales están limitados por **caminos pequeños permanentes de 0.5 m de ancho**. De esta manera se puede acceder de manera fácil a todo el bancel desde el camino. Con carros adaptados con las ruedas separadas a 1,2 m de ancho se puede circular por el huerto pasando por encima de los bancales cuando no hay plantas altas. **El huerto consta de 100 bancales de 75 m de largo**.
- Los **bancales con cultivo sobre camas de madera** se han situado en los límites del huerto para limitar al mínimo que interfieran en la plantación anual.

■ Sistema de bancales

Para evitar la compactación y mantener la estructura del suelo, es importante **pisar el mínimo posible las zonas de cultivo**, que son los bancales. Por ello, es necesario diseñar los bancales con un sistema de caminos permanentes pequeños que permita, por un lado, llegar a todas las zonas de cultivo sin necesidad de pisarlas y, por otro, facilitar el desplazamiento con la carga de los diferentes materiales que deben transportarse. Cada bancel consta de una serie de elementos (**Figura 2**): el **camino permanente** por el que los trabajadores del huerto pueden desplazarse, el surco (en nuestro caso de 7cm x 7cm) por el que pasa la manguera principal que conduce el agua a las plantas, el sustrato (que puede ser BRF o compost) que cubre la manguera de la insolación, y las **dos filas de plantas del cultivo**.

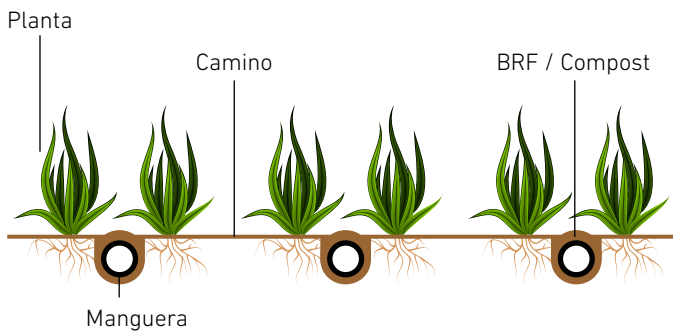


Figura 2. Esquema de los elementos de los que consta un bancoal en el huerto.

■ Sistema de riego

Para el buen funcionamiento de un huerto es muy importante un sistema de riego que permita hacer el aporte de agua de una manera eficiente. En el sistema Polyfarming se pretende, además, que el sistema de riego sirva también para poder hacer un aporte eficiente de microorganismos y biofertilizantes a través del agua. Por esta razón, **no es posible utilizar un sistema de goteo estándar**, que se obtura enseguida, y es necesario utilizar un sistema con salidas de agua con el tamaño suficiente para que no se tapen con las partículas presentes de los productos utilizados o la cal del agua.

El sistema empleado en Planeses **riega por gravedad**, sin presión del agua, y los agujeros de salida han de tener el tamaño suficiente para que no sean tapados por los preparados o por la cal del agua (**Figura 3**). El riego parte del camino central, con una tubería de 63 mm de la que salen **las mangueras más pequeñas de 40 mm para cada bancoal**. Estas mangueras secundarias tienen perforaciones de 4mm cada 50 cm. En cada caso, se debe calcular cuál es la distancia máxima que acepta una manguera para que salga agua por todos los agujeros. Para el huerto de Planeses, esta distancia es de 70 m. También se debe calcular cuántas mangueras de riego de 70 m pueden alimentarse con la manguera principal, en el caso de Planeses son 4-5, es decir, con los caudales requeridos se pueden regar hasta 5 bancales a la vez.

Las **mangueras de riego de los bancales sacan chorros de agua** con el objetivo de que ésta se quede en el centro del bancoal. Para ello se hace una zanja en la que el agua cae y se distribuye bien. La cantidad de agua que sale de cada agujero es variable, pero la zanja permite compensarla. Por ello, lo mejor es **rellenar la zanja con BRF o compost**, ya que así el agua no se escapa y, además, la manguera queda protegida del sol y no sufre las dilataciones ligadas al calentamiento por insolación. El tiempo de riego es variable según el sistema empleado, en el caso de Planeses está entre los 20-30 min por bancoal.



Figura 3. Distribución de las mangueras de riego en los bancales del huerto de Planeses. Foto: Ángela Justamante.

■ Plantación

Cuando se va a iniciar la plantación, lo primero que se tiene que hacer es desenterrar las mangueras de los bancales, comprobar que sale agua en todos los agujeros, desatascar los agujeros obturados con un alambre, volver a colocar la manguera en la zanja y tajarla con BRF o con compost.

La plantación es un **proceso lento** porque no se puede utilizar un plantador, ya que **el suelo no está suelto**, no está arado. Por ello, los hoyos donde colocar las plantas deben hacerse individualmente. Existen diferentes herramientas para facilitar este proceso. Una alternativa es utilizar la horca de doble mango, que permite hacer una grieta en el suelo al clavarlo y moverlo hacia delante y hacia atrás. A la altura de la grieta es donde se coloca la planta. Con este método, **el agua llega más fácilmente a la planta** y se abre una línea de aireación, que permite que la actividad biológica del suelo sea más grande.

Es muy importante **plantar siguiendo las líneas rectas** y las distancias correctas, ya que esto facilita el proceso de corta de las plantas adventicias y se localizan más fácilmente las plantas cultivadas. Por otra parte, en este tipo de huerto el suelo está más estructurado y tiene más materia orgánica, por lo que la burbuja de humedad que se extiende desde el tubo de riego por capilaridad llega menos lejos. Esto implica que **las plantas deban ponerse más cerca de la zanja** que con el sistema tradicional.

Gestión de un huerto sin labranza II. Control de plantas adventicias, uso de productos del bosque, biofertilizantes, abonos y pastoreo

En la gestión de un huerto sin labranza es fundamental el control de plantas adventicias, de las que se debe cortar la parte aérea y dejarla como materia orgánica del suelo. Otros aportes de materia orgánica pueden obtenerse a partir de recursos del bosque en forma de BRF, biochar o camas de madera, y utilizando abonos vegetales, tanto verdes como secos. También se utilizan biofertilizantes para aportar nutrientes esenciales en diferentes momentos del ciclo de los cultivos. El funcionamiento del huerto se completa con la presencia de animales, como pueden ser las gallinas.

La transformación a un huerto sin labranza permite **mejorar el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo**, con una disminución en los gastos de fertilización y de consumo de agua. Esta conversión requiere una aportación importante de materia orgánica, que se puede obtener a partir de recursos del bosque en forma de **BRF, biochar o camas de madera**, y utilizando **abonos vegetales**, tanto verdes como secos, para mejorar la fertilidad del suelo. También se utilizan **biofertilizantes** para favorecer el crecimiento de los cultivos, y es fundamental una **buena gestión de las plantas adventicias**.

■ Control de las plantas adventicias

El control de las plantas adventicias es uno de los trabajos más costosos en la gestión de un huerto sin labranza pero, a diferencia de un huerto convencional, es un trabajo que nos aporta un **doble beneficio**: por un lado, se favorece que llegue la luz a los cultivos y, por otro, es una manera de conseguir un retorno de materia orgánica al suelo. En un huerto sin labrar una de las características importantes es la presencia de una cobertura continua del suelo (en el espacio y el tiempo) (**Figura 1**). Por ello, las plantas nunca se arrancan de raíz. La gestión de las plantas adventicias **se realiza cortando la parte aérea y utilizando diferentes sistemas de cobertura** que reduzcan su crecimiento, como coberturas de BRF precompostado, paja y otros materiales vegetales. Uno de los objetivos es ir cambiando la composición de estas plantas adventicias, de esta forma acabarán dominando las leguminosas y se obtendrá una cobertura que proporcione una entrada importante de nitrógeno al huerto.

Dependiendo de dónde aparezcan las plantas adventicias se gestionará de forma diferente. Las **plantas que salen en los caminos principales se pueden dejar**, sólo si son demasiado altas para los cultivos se cortan para incorporarlas como abono verde o como paja. Las plantas adventicias que hay **en los caminos de los bancales se cortan con desbrozadora**. Las plantas que salen en la zanja o entre los cultivos deben quitarse con tijeras o con una herramienta pequeña para no alterar los cultivos.

Existen dos criterios para decidir **cuál es el mejor momento para cortar las plantas adventicias**: (1) justo antes de que empiecen a perjudicar a los cultivos, sobre todo por competencia por la luz, ya que, en principio, si hay riego



Figura 1. En el huerto sin labranza coexisten los cultivos y las plantas adventicias. Foto: Ángela Justamente.

no hay problemas de agua; y (2) cuando, desde un punto de vista práctico, sean fáciles de eliminar, ya que en un determinado momento empiezan a crecer mucho y cuesta más quitarlas.

■ Uso de productos del bosque para mejorar la producción de los cultivos

A partir de restos de los aprovechamientos forestales pueden obtenerse una serie de productos, que se utilizan para mejorar la producción de los cultivos en el huerto.

- **BRF.** El BRF es el **astillado de ramas pequeñas de los árboles**. La aportación de BRF al huerto se puede hacer de dos maneras: (i) en el sistema Polyfarming se aplica en las **zanjas de los bancales**, tapando las mangueras de la insolación; (ii) también se puede aplicar de **manera superficial** sin ningún trabajo del suelo, aportando una capa de unos 5 cm de grosor sobre toda la superficie del huerto, al ser una cantidad importante, esta aportación se va haciendo por zonas, de manera que cada 4-5 años se cubre de BRF todo el huerto y se reinicia el proceso.

- **Biochar.** El biochar, **carbón vegetal** que se produce a partir de pirólisis de biomasa vegetal, permite **mejorar la estructura del suelo**. En el huerto no se aplica directamente, sino que se activa previamente, es decir, se carga de nutrientes y microorganismos que son los que realmente utilizan las plantas. Este activado se consigue al incorporar el biochar a la cama de los pollitos. Al igual que el BRF, el compost que se

obtiene se aplica en las zanjas de los bancales, tapando las mangueras, tal y como se hace en la granja Planeses, o bien directamente sobre el suelo del huerto.

- **Cultivo sobre camas de madera.** El cultivo sobre camas de madera supone una incorporación de carbono muy importante al suelo, a la vez que permite **retener agua** y **crear zonas con mucha actividad biológica**. Esta técnica se utiliza principalmente para la plantación de especies plurianuales y permanentes. En el diseño hay que tener en cuenta que por estas zonas no se puede pasar con los sistemas de transporte utilizados en los bancales, por lo que normalmente **se colocan en los extremos del huerto**.

■ Biofertilizantes

Los biofertilizantes son abonos de diferentes orígenes que sirven para **nutrir y fortalecer las plantas**, sin bloquear los procesos biológicos que se producen en un suelo sano. Todos los cultivos pasan por diferentes etapas de crecimiento, floración y fructificación. En cada momento del ciclo las plantas tienen unas necesidades de nutrientes que conviene favorecer. Así, en el periodo vegetativo, cuando las plantas desarrollan las raíces y los tallos, requieren principalmente **carbohidratos y nitrógeno**. Esto es especialmente importante en las semanas posteriores a la plantación, porque las raíces de la planta están todavía limitadas en el taco y no aprovechan la fertilidad natural que tiene el suelo. En el momento de la floración necesitan compuestos de fósforo. En el periodo de **crecimiento y maduración de los frutos** las plantas acumulan carbohidratos, y necesitan de potasio para el desarrollo de su color. Para que las plantas obtengan todos estos nutrientes, es necesario suministrar **diferentes tipos de biofertilizantes**.

■ Abonos vegetales

En la **agricultura regenerativa no se utilizan fertilizantes químicos**. Sin embargo, el huerto tiene una producción y, por lo tanto, unas salidas del sistema elevadas. Para compensarlo, **requiere ir incorporando inputs** procedentes del propio huerto o de otros usos de la finca. Los productos que pueden ayudar a abonar el huerto son de diferentes tipos:

- Primero se incorpora al suelo **materia orgánica seca o triturada**, como el BRF, o **compostada**, como la cama de los pollitos. Esta materia orgánica **ayuda a estructurar el suelo**, ya que está poco a poco disponible para alimentar a los cultivos, a la vez que **favorece la aireación del suelo** y el funcionamiento de la red trófica.
- Otra opción es plantar **abono verde** en otoño, que se corta en primavera y se deja en la superficie del suelo. Si las siembras son de leguminosas, como trébol blanco o alfalfa, se consigue además un aporte adicional de nitrógeno.
- Los **restos de los cultivos y de las plantas adventicias** que

se van cortando se dejan en verde o en seco sobre el terreno y representan un aporte de materia orgánica sin necesidad de tenerlo que transportar desde fuera del huerto.

- Finalmente, **los excrementos de los animales** que pastorean en el huerto como gallinas y patos, también pueden ser un aporte de nutrientes al sistema.

■ Pastoreo con gallinas

Para crear un sistema ecológico completo que favorezca el funcionamiento del huerto, es conveniente la presencia de animales dentro de éste. Utilizar animales en el huerto contribuye al control de **plantas adventicias**, el **abonado con los excrementos** y la **eliminación de insectos**, como caracoles y babosas. No obstante, el riesgo de la utilización de animales en el huerto es que pueden comerse los cultivos, especialmente justo después de la plantación. Por ello, deben elegirse animales que tengan efectos positivos significativos y cuyos efectos negativos puedan controlarse fácilmente. **Las gallinas y los patos** pueden cumplir estos requisitos si el diseño del huerto permite moverlos a los lugares donde interesa.

En Planeses el huerto dispone de un camino central nortesur. En este camino se sitúan **dos gallineros móviles**. Durante la noche y parte del día, las gallinas están en el gallinero, que es el espacio donde se les pone comida y donde ponen los huevos. Cada día el gallinero se mueve hasta la altura de los bancales donde se haya decidido que es más conveniente que las gallinas pastoreen. Desde el gallinero se colocan mallas que permiten encerrar dos o tres bancales. Cada día se abre el gallinero para que **las gallinas puedan salir durante 2-3 horas (Figura 2)**. Si están mucho más tiempo pueden perturbar en exceso el suelo y atacar algunos cultivos como la col, que normalmente no tocan pero que si están más tiempo del indicado sí podrían dañar.



Figura 2. Pastoreo de las gallinas en los bancales del huerto de Planeses. Foto: MJ Broncano.





El sistema Polyfarming

Funcionamiento del sistema Polyfarming

- Caracterización de los diferentes elementos del sistema Polyfarming
- Combinación de diferentes elementos del sistema Polyfarming: beneficios de establecer sinergias entre usos
- Complementariedad de productos y de mano de obra en Polyfarming
- Flujos e integración entre usos en el sistema Polyfarming
- Lecciones aprendidas tras la puesta en práctica del sistema Polyfarming I. Bosque, prado y cultivos
- Lecciones aprendidas tras la puesta en práctica del sistema Polyfarming II. Animales y Polyfarming en su conjunto

Caracterización de los diferentes elementos del sistema Polyfarming

El sistema Polyfarming integra los diferentes usos a nivel de finca: aprovechamiento forestal, ganadero y agrícola. Cada uno de estos usos se puede desglosar en una serie de elementos. En concreto, el sistema Polyfarming incluye los siguientes: bosque, dehesa, pasto, cultivos extensivos, cultivos leñosos o frutales, cultivos de huerta, vacas, terneros de engorde, pollos, conejos y gallinas. Estos diferentes elementos se describen en esta ficha a partir de una serie de características importantes: el nivel de mano de obra y la mecanización que requieren, y la época del año en que están principalmente activos.

■ Principales elementos del sistema Polyfarming

El sistema Polyfarming **integra los diferentes usos a nivel de finca: forestal, agrícola y ganadero**. Cada uno de ellos engloba una serie de elementos que se combinan o comparten productos para asegurar el funcionamiento integrado de Polyfarming. En concreto, los elementos que conforman este sistema son: bosque, dehesa, pasto, cultivos extensivos, cultivos leñosos o frutales, cultivos de huerta, vacas, terneros de engorde, pollos, conejos y gallinas. Se describe a continuación para cada elemento una vez el sistema está funcionando el **nivel de mano de obra y la mecanización que requieren** y la época del año en que están principalmente activos. No obstante, no se incluyen los requisitos de puesta en funcionamiento, que pueden ser muy elevados, ya que dependen del punto de partida.

- **Bosque.** El nivel de **mano de obra** necesario para la actividad en el bosque es **muy importante**, ya que la gestión forestal se basa en la corta, desramado y arrastre de árboles fuera del sistema. Para las dos primeras actividades se utilizan **motosierras** y para arrastrar los troncos se emplea un **tractor**. Las principales actividades en el bosque se llevan a cabo en otoño e invierno.
- **Dehesa.** El nivel de **mano de obra** que requiere mantener la dehesa es **bajo**: incluye el movimiento de los animales cuando están en ella y, cada cuatro o cinco años, la resiembra de las zonas en las que el pasto no esté bien. Una vez establecida, **los requisitos de mecanización son prácticamente inexistentes**. Las actividades que se realizan en la dehesa se concentran en los momentos en que se llevan los animales, en invierno principalmente, y ocasionalmente en **verano**.
- **Pasto.** Este elemento es clave e interacciona con los diferentes animales. En general, el nivel de **mano de obra** que requiere una vez establecido es **bajo**, ya que se mantiene con el pastoreo de los animales (**Figura 1**). Únicamente hay trabajos de desbroce o de resiembra, pero cuando el pasto está bien establecido deberían ser escasos. La mecanización necesaria para estas actividades depende de la superficie total: si la superficie es grande se requiere una sembradora de siembra directa para la resiembra, pero si la superficie es pequeña la siembra se realiza manualmente; del mismo modo, en los momentos del año que hay excedente, se debe segar con una herramienta que se adapte a las condiciones del terreno y de la superficie. Este elemento **funciona todo el año**, excepto en épocas muy frías en invierno o muy secas en verano.
- **Cultivos extensivos.** El nivel de **mano de obra** que requieren es **bajo-medio**, ya que se concentra en el momento de la siembra y en el de la cosecha, para las que se utiliza la sembradora de siembra directa y la cosechadora, respectivamente. El mantenimiento de la fertilidad se consigue **mediante la incorporación al suelo de los restos vegetales** de las especies que crecen en el campo y la presencia de leguminosas como fijadoras de nitrógeno. El periodo de actividad depende de los cultivos.
- **Frutales.** El nivel de **mano de obra** de los frutales es **bajo-medio**: una poda anual, la aplicación de tratamientos de biofertilizantes y la cosecha de la fruta. **El nivel de mecanización es bajo**, ya que el estrato herbáceo que crece debajo de los frutales se elimina normalmente con animales. Si éstos no están disponibles, entonces debe hacerse con desbrozadora.
- **Huerto.** El nivel de **mano de obra** que requieren los cultivos de huerta es **muy alto**, incluyendo la preparación del sistema de riego, la plantación, el control de plantas adventicias, la aplicación de BRF, compost, abonos y biofertilizantes y, sobre todo, la cosecha. En un sistema regenerativo, sin labranza ni fertilizantes químicos, **la mecanización no existe** y se mantiene la fertilización del suelo a través de productos como el BRF, el compost o las camas de madera. La actividad en el huerto se concentra en primavera, verano y otoño.
- **Vacas.** Tienen un nivel de **mano de obra medio**, que incluye el movimiento de los animales, su alimentación con forraje en los meses en que es necesario, y, como mínimo, un ordeño diario. La mecanización precisamente incluye **un establo para el ordeño**. Están en actividad todo el año (**Figura 2**), como el resto de los animales.
- **Terneros de engorde.** En general tienen una mano de obra baja, ya que únicamente hay que moverlos entre las diferentes parcelas de pasto, dehesa o bosque. **No requieren ningún tipo de mecanización**. Están en actividad todo el año.
- **Pollos.** En el sistema Polyfarming requieren un **nivel de mano de obra medio**, que incluye el movimiento de las jaulas en el prado y la alimentación de los animales. Para su alimentación se necesita un tractor con remolque que transporte el pienso al lugar donde están las jaulas. Se mantienen activos durante todo el año.
- **Conejos.** En el sistema Polyfarming, la **mano de obra** que requieren los conejos es el **movimiento de las jaulas en**

el prado. No requiere ninguna mecanización. Este elemento se mantiene activo durante todo el año.

- **Gallinas.** En el sistema Polyfarming, la única mano de obra que requieren las gallinas es para su **alimentación. No se precisa mecanización.** Se mantienen durante todo el año, aunque en determinadas épocas la producción de huevos disminuye.

En la **Tabla 1** se sintetizan las principales características de los elementos del sistema Polyfarming. En ella se puede observar que **el nivel de mano de obra que se requiere** para mantener los elementos varía desde muy alto, como sucede en los cultivos de huerto o en el bosque, a bajo como en la dehesa, el pasto o los distintos animales que crecen en él. **La mecanización** en la mayoría de los sistemas es escasa o nula; sólo el bosque y los cultivos extensivos requieren más maquinaria. Finalmente, la época del año en que están principalmente activos varía considerablemente. No obstante, el funcionamiento de su conjunto permite que el sistema Polyfarming tenga elementos activos durante todo el año.



Figura 1. Pasto gestionado por animales en la finca Planeses. Este tipo de pasto requiere una mano de obra muy reducida. Foto: MJ Broncano.



Figura 2. Vacas pastando siguiendo el método de pastoreo intensivo controlado en la finca Planeses. Foto: Marc Gràcia.

Elemento	Nivel de mano de obra requerido	Mecanización	Época del año
Bosque	Muy alto: corta, desramado, arrastre	Tractor para el arrastre de troncos, motosierra	Otoño, invierno
Dehesa	Bajo: movimiento animales, resiembra (cada 4-5 años)	No	Invierno, verano
Pasto	Bajo: movimiento animales, desbroce vegetación no consumida, resiembra, siega cuando hay excedente	Para resiembra, sembradora de siembra directa cuando la superficie es grande. En los momentos del año que hay excedente se debe segar con una herramienta que se adapte a las condiciones del terreno y la superficie	Todo el año excepto épocas muy frías en invierno o muy secas en verano
Cultivos extensivos	Bajo-medio: siembra, cosecha	Sembradora siembra directa, cosechadora	Depende de los cultivos
Frutales	Bajo-Medio: podas, tratamientos, cosecha	Eliminación del estrato herbáceo con animales; si no es posible debe utilizarse desbrozadora	Primavera, verano
Huerta	Muy alto: riego, plantación, control plantas adventicias, aplicación de BRF, abonos y biofertilizantes	No	Primavera, verano, otoño
Vacas	Medio: alimentación, movimiento, ordeño	Establo de ordeño	Todo el año
Terneros de engorde	Bajo: movimiento	No	Todo el año
Pollos	Medio: movimiento, alimentación	Tractor con remolque para transporte de la comida	Todo el año
Conejos	Bajo: movimiento	No	Todo el año
Gallinas	Bajo: alimentación	No	Todo el año

Tabla 1. Características de los elementos del sistema Polyfarming: nivel de mano de obra requerido, mecanización y época del año en que está principalmente activo.

Combinación de diferentes elementos: beneficios de las sinergias entre usos en Polyfarming

El sistema Polyfarming promueve combinaciones entre los recursos del bosque, el ganado y los cultivos, basadas en que al menos dos elementos de diferentes usos de la finca interactúen en un mismo lugar. En esta ficha se describen las diferentes combinaciones que se han llevado a cabo en Polyfarming: pastoreo en el bosque, frutales sobre pasto, vacas en pasto, pollos en pasto, conejos en pasto y gallinas en huerto. También se indican sus beneficios y desventajas.

Combinar al menos **dos elementos en el mismo lugar** dentro de la finca es siempre más complejo, tanto en estructura como a nivel económico o de funcionamiento, que trabajar los elementos por separado. No obstante, el sistema Polyfarming promueve activamente estas prácticas, ya que originan **importantes sinergias** y sólo conllevan algunas desventajas, que tienen solución. En la Agroforestería se requiere que esta combinación incluya árboles con cultivos agrícolas y/o ganado de forma simultánea o secuencial (Mosquera-Losada et al 2009). Sin embargo, en Polyfarming incluimos cualquier combinación que incluya dos elementos individuales, haya árboles o no.



Figura 1. Vacas pastando en Planeses (Girona), donde se lleva a cabo el sistema Polyfarming. Foto: MJ Broncano.

■ Combinaciones de diferentes elementos de Polyfarming

- **Pastoreo en el bosque.** De acuerdo con Casals et al. (2009), el pastoreo en el bosque se ha practicado históricamente en bosques mediterráneos y montanos y normalmente se ha vinculado a una topografía montañosa, en la que el bosque sirve para maximizar los recursos existentes. En el sistema Polyfarming el pastoreo del ganado en el bosque se lleva a cabo en momentos del año en que hay poco alimento, **normalmente en invierno o verano**. Los recursos que aporta el bosque son de menor calidad que los que aportan los pastos forrajeros. En Polyfarming las vacas, que se utilizan para obtener leche, no se llevan al bosque, en cambio los terneros que se crían para producir carne sí se llevan en momentos del año en que el pasto no abunda.
- **Frutales sobre pasto.** La gestión de árboles frutales en combinación con pasto es uno de los **sistemas de agroforestería** más extendidos. Los árboles pueden ser frutales o para madera de calidad, y se distribuyen en los límites de las parcelas de pasto o en filas a lo largo del campo. Estos árboles se combinan con pastos que pueden cortarse y utilizarse como forraje o pastorearse directamente por animales. En el caso de que haya ganado, los frutales se han de proteger durante los primeros años, y permiten crear una mejor sombra para que los animales puedan protegerse del calor en verano.
- **Vacas en pasto.** El pastoreo de vacas en pasto desarrollado en Polyfarming se caracteriza por **utilizar densidades de ganado altas en espacios pequeños** con una permanencia muy corta y un periodo de recuperación muy largo. Cada día, el rebaño de vacas se traslada desde la parcela en la que se encuentra hasta otra que está en el punto óptimo de pastoreo, que es justo antes de que las plantas entren en la madurez. Las vacas son animales herbívoros y durante una buena parte del año, gran parte de su alimento lo obtienen directamente del pasto (**Figura 1**).
- **Pollos en pasto.** La combinación de pollos y pasto se lleva a cabo en un pasto dividido en pasillos, a través de los cuales **se van moviendo los animales diariamente** mediante un sistema de vallas y refugios móviles. De esta manera, los pollos disfrutan de un pasto nuevo cada día y, al mismo tiempo, la propia actividad de movimiento de los pollos permite **mantener el pasto sin un coste adicional**. Los pollos consumen mucha hierba y semillas, y también obtienen altas cantidades de proteína viva en forma de lombrices e insectos del prado.
- **Conejos en pasto.** La combinación de conejos y pasto es similar a la combinación anterior. En este caso, los conejos se alimentan casi exclusivamente del pasto, ya que su **dieta es 100% herbívora**. Al igual que en el caso anterior, los conejos se mueven diariamente en parcelas distribuidas en el pasto mediante un sistema de vallas y refugios móviles que no requiere maquinaria pesada. El pasto está sometido a un impacto grande cuando los animales están pero, tras su paso, las parcelas disponen de un tiempo largo para recuperarse.
- **Gallinas en huerto.** La utilización de animales en un huerto puede favorecer su funcionamiento, ya que se crea un sistema ecológico más completo. Utilizar animales en el huerto **contribuye al control de plantas adventicias, el abonado con los excrementos y la eliminación de plagas**, pero tiene el riesgo de que pueden comerse o dañar los cultivos. En Planeses, las gallinas se encuentran en el gallinero durante la noche y parte del día. El gallinero se mueve hasta la zona donde se ha decidido que las gallinas van a pastorear y se colocan mallas para encerrar algunos bancales.

■ Beneficios y desventajas de las diferentes combinaciones

En general los beneficios de la combinación de los diferentes elementos son muy altos, aunque también se deben tener en cuenta algunas desventajas (Tabla 1).

Combinación	Beneficios	Desventajas
Pastoreo en el bosque	<ul style="list-style-type: none"> El ganado productor de carne y los caballos, se adaptan bien a la topografía montañosa y a las fuentes de alimentación de menor calidad que aporta el bosque en épocas del año en las que no hay otro alimento disponible. Los terneros (o las vacas de carne en su caso) consumen restos de corta y ayudan a mantener el sotobosque, reduciendo la vulnerabilidad a los incendios. La presencia de animales en el bosque facilita la descomposición e incorporación de los restos de tala en el suelo, mejorando su fertilidad. La alimentación de los terneros o vacas de carne en el bosque reduce el coste de la compra de alimento en épocas en que no hay otros recursos disponibles. 	<ul style="list-style-type: none"> Las vacas de leche no se pueden llevar al bosque porque sus requisitos alimenticios no se pueden satisfacer con los recursos forestales. No es práctico tener las vacas en el bosque si cada día se han de ordeñar en el establo.
Frutales sobre pasto	<ul style="list-style-type: none"> La presencia de los árboles en el prado permite augmentar el carbono total almacenado en la explotación, tanto en el suelo como en las plantas. La biodiversidad en sistemas integrados de frutales y pasto también aumenta por la presencia de más organismos del suelo bajo los árboles. Los árboles cuando crecen proporcionan sombra para el ganado que se alimenta del pasto. Los excrementos del ganado ayudan a mejorar la fertilidad del suelo en la zona de los árboles frutales. La gestión integrada de frutales y pasto permite augmentar los ingresos y mejorar la rentabilidad de las fincas. 	<ul style="list-style-type: none"> Los frutales y el pasto utilizan recursos comunes como nutrientes y agua, por lo que puede establecerse competencia entre ellos. Si hay animales alimentándose del pasto, se requiere protección para los frutales. Normalmente hay que esperar bastantes años para alcanzar la producción máxima de los frutales. Durante este tiempo, los frutales necesitan una serie de cuidados sin que produzcan un beneficio importante.
Vacas en pasto	<ul style="list-style-type: none"> La propia actividad de movimiento de las vacas permite mantener el pasto sin costes adicionales. De esta manera, el pasto produce el máximo para cada estación y los animales lo consumen en el mejor momento. Los excrementos del ganado ayudan a mejorar la fertilidad del suelo, ya que aumentan la materia orgánica y los nutrientes. Los animales pasan poco tiempo en la parcela para evitar que tengan un efecto de compactación en el suelo. Este sistema produce carne y leche con un mayor valor nutricional que el sistema convencional. 	<ul style="list-style-type: none"> El sistema requiere una gran superficie donde colocar las parcelas para que pueda funcionar durante gran parte del año. En un sistema dividido en parcelas puede ser limitante y complicado llevar agua a cada parcela.
Pollos en pasto	<ul style="list-style-type: none"> Los pollos obtienen entre el 30 y el 40% de su dieta del pasto, tanto hierba como insectos o semillas. Este sistema favorece el control de plagas de cultivos, ya que los pollos consumen muchos insectos que pueden ser perjudiciales. La presencia en el pasto ayuda a la prevención de enfermedades de los pollos y prácticamente elimina el uso de medicamentos. Los pollos ayudan a regenerar el suelo y obtener pastos de calidad gracias a sus excrementos. Los animales disponen de manera permanente de un entorno saludable con hierba fresca cada día. El sistema permite producir pollos con un alto valor nutricional. Con el sistema pollo-pasto aumenta la rentabilidad de la finca, porque el equipo y el funcionamiento del sistema requiere una inversión pequeña. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuando los pollos se hacen grandes, sus excrementos ensucian más el pasto, así que se necesita un tiempo más largo para volver a la misma parcela. Normalmente los pollos no consumen todo el pasto y, una vez han pasado, con frecuencia es conveniente desbrozar para igualar el pasto. En estas condiciones, los pollos son más susceptibles a la depredación por parte de aves rapaces y mamíferos como el zorro.
Conejos en pasto	<ul style="list-style-type: none"> Los conejos obtienen casi el 100% de su dieta del pasto. Los animales disponen de manera permanente de un entorno saludable con hierba fresca cada día. La cría de conejos en el prado permite reducir, casi eliminar, el uso de antibióticos y sólo se utilizan vacunas para las enfermedades víricas. La carne de conejo obtenida presenta un alto valor nutricional, con un contenido más elevado en vitaminas (A, D y K) y grasas de calidad (Omega 3). La inversión necesaria para poner este sistema en marcha es pequeña en relación con proyectos convencionales. 	<ul style="list-style-type: none"> Los conejos en estas condiciones están expuestos a los depredadores, por lo que hay que protegerlos bien, incluso de los propios perros que vigilan. Los conejos también están muy expuestos a las inclemencias climáticas, por lo que los refugios deben estar diseñados para poderlos proteger suficientemente.
Gallinas en huerto	<ul style="list-style-type: none"> La presencia de gallinas ayuda a eliminar insectos y plagas dañinas para los cultivos. Las gallinas también ayudan a reducir la presencia de plantas adventicias. Los excrementos de las gallinas contribuyen al abonado del huerto. 	<ul style="list-style-type: none"> Si permanecen mucho tiempo en el huerto, las gallinas pueden perturbar en exceso el suelo y atacar algunos cultivos. Después de la plantación no es conveniente ponerlas en el huerto porque pisan y dañan el plantel.

Tabla 1. Principales beneficios y desventajas de las diferentes combinaciones de elementos del sistema Polyfarming.

Complementariedad de productos y de mano de obra en Polyfarming

En el sistema Polyfarming se propone un sistema integrado de los aprovechamientos forestal, ganadero y agrícola (incluyendo frutales y huerto) que interactúan y se complementan entre ellos. A nivel de finca, esto se consigue mediante: a) una complementariedad de productos que permite (i) economizar gastos, ya que lo que sobra de un uso se aplica en otro, y (ii) obtener más productos en el mismo espacio; y b) una complementariedad de trabajos y mano de obra, pues (i) si un trabajo en un mismo lugar sirve para dos actividades a la vez, los costes disminuyen, y (ii) si la mano de obra se puede compartir a nivel temporal el funcionamiento se optimiza mucho más.

El sistema integrado que propone Polyfarming requiere un conocimiento preciso de cada aprovechamiento: qué elementos produce, qué mano de obra requiere y cuándo es necesaria. A nivel de finca, la planificación espacial y temporal de los diferentes usos permite complementar **productos y mano de obra (Figura 1)**, con el objetivo de disminuir los recursos externos necesarios y los costes de producción y aumentar la eficiencia del sistema en su conjunto.

■ Complementariedad de productos

Las combinaciones que conectan varios usos a nivel de finca dan lugar casi siempre a importantes sinergias. Entre ellas destaca la complementariedad de productos que se obtienen, que tiene dos grandes ventajas:

a) Permite economizar gastos, ya que los recursos externos para el funcionamiento de un determinado uso se obtienen sin coste de los recursos generados por otros usos, lo que conlleva una disminución de los costes de la finca.

b) Permite obtener más productos en el mismo espacio: fruta y carne, forraje y leche, hortalizas y huevos... La obtención de diferentes productos en un mismo espacio requiere algún trabajo extra como, por ejemplo, proteger los frutales del ganado, pero también hay beneficios adicionales como la fertilización del suelo con los excrementos de los animales.



Figura 1. Trabajador de Polyfarming en la finca Planeses. Foto: Ángela Justamante.

En la **Tabla 1** se muestra la complementariedad de productos entre diferentes usos. Estos productos de un uso aprovechados en otro **reducen los costes globales de la finca**. Ejemplos de ello son los troncos del bosque que se utilizan para hacer camas de madera en los cultivos, el BRF y biochar para elaborar el compost del huerto, hojas del bosque y pasto para la alimentación de los animales, o grano y forraje de los cultivos extensivos para la alimentación de las gallinas y las vacas. También hay "productos" más intangibles como la sombra de los frutales para el ganado, los excrementos del ganado como fertilizantes del suelo del

		Recibe			
		Bosque	Ganado	Frutales y pasto	Huerto y cultivos extensivos
Aporta	Bosque		Ofrece material (estacas) para el montaje de los cercados. Permite alimentar a los terneros en los meses de escasez de recursos.	Aporta material para los cercados eléctricos y la protección de los frutales. Aporta troncos para las camas de madera.	Aporta troncos para los cultivos sobre camas de madera. Produce BRF y biochar para formar el compost que se utilizará en el huerto.
	Ganado	Permite gestionar el sotobosque para facilitar el acceso y reducir el riesgo de incendio.		Permite mantener el pasto sin entradas externas. Permite mantener la fertilidad del suelo con los excrementos	Activa el BRF y el biochar que se utilizan como compost en el huerto. Ayuda a eliminar plagas y malas hierbas en el huerto (gallinas).
	Frutales y pasto	--	Ofrecen un espacio de pasto para el ganado. Proporcionan sombra en las épocas más cálidas del año.		--
	Huerto y cultivos extensivos	--	Contribuyen a la alimentación de las gallinas. Producen grano y forraje para pollos y vacas.	--	

Tabla 1. Complementariedad de productos entre los diferentes usos.

pasto o la eliminación del sotobosque del bosque para reducir el riesgo de incendios.

Dentro de Polyfarming también pueden producirse **complementariedades, incluso dentro de un mismo uso**. Algunos ejemplos serían: (i) la presencia de leguminosas en el pasto aumenta la fertilización con nitrógeno de los frutales; (ii) la presencia sucesiva de vacas y terneros en las parcelas de pasto permite **obtener leche y carne en el mismo espacio**; (iii) igualmente la presencia primero de conejos (herbívoros) y luego de pollos (omnívoros) en el mismo pasto ayuda a gestionarlo mejor, obteniendo dos productos distintos; (iv) en cultivos de cereal sobre pastos permanentes (*pasture cropping*) se obtienen el **grano de los cereales y el forraje de los pastos**.

■ Complementariedad de trabajos y mano de obra

En el sistema Polyfarming el trabajo y la mano de obra **se complementan en el tiempo y el espacio**. Esto conlleva beneficios claros a nivel de finca: a) si un trabajo que se realiza para una actividad también sirve para otra al mismo tiempo, se reducen los costes globales; b) si la mano de obra se puede compartir temporalmente entre usos, **se optimizan los recursos**. Por ello es esencial analizar qué mano de obra necesitamos y cuándo debe trabajar en las diferentes actividades de la finca.

La **Tabla 2** resume el calendario de la necesidad de mano de obra en las distintas actividades de los diferentes usos a lo largo del año. Las

actividades del bosque y del huerto se pueden **compatibilizar estacionalmente** ya que, por limitaciones legales, las actividades en el bosque solo pueden realizarse en los **meses sin riesgo de incendio** (de noviembre a marzo), mientras que en el huerto la mano de obra es importante de abril a noviembre. Sin embargo, ambos usos requieren gran cantidad de mano de obra concentrada en el tiempo: en el bosque se requieren un mínimo de dos personas trabajando, mientras que en un huerto como el de Planeses (alrededor de 1,5 ha), hacen falta entre 2 y 3 trabajadores durante todo el día. **Las actividades del ganado y frutales se compatibilizan a nivel diario**, ya que están localizadas en el mismo espacio y no ocupan todo el día. En el caso de los frutales hace falta mano de obra importante en momentos clave, como la poda o la cosecha. Para el ganado la mano de obra es imprescindible durante todo el año (**Tabla 2**) y cada día. La dedicación diaria total depende de los tipos de animales que hay en cada finca, más que del número de animales de cada tipo. De esta forma, el trabajo diario requerido para mover un rebaño de 10 vacas no es muy diferente del que requiere mover uno de 60.

ACTIVIDAD	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Explotación del bosque												
Producción de BRF												
Producción de Biochar												
Producción de biofertilizantes												
Gestión de terneros en la dehesa												
Movimiento y alimentación de las vacas												
Ordeño de las vacas y recogida de leche												
Movimiento de los terneros en el pasto												
Movimiento de los conejos												
Recogida de conejos para venta												
Movimiento y alimentación de los pollos												
Recogida de pollos para venta												
Movimiento y alimentación de las gallinas												
Recogida de huevos												
Poda de los árboles frutales												
Tratamientos y seguimiento de los frutales												
Cosecha de la fruta de los árboles frutales												
Siembra de cultivos extensivos												
Cosecha de grano de cultivos extensivos												
Preparación riego para el huerto												
Plantación del huerto												
Eliminación de adventicias del huerto												
Aplicación biofertilizantes y abonos												
Cosecha de los productos del huerto												

Tabla 2. Calendario de la necesidad de mano de obra en las diferentes actividades a lo largo del año en la finca de Planeses.

Flujos e integración entre usos en el sistema Polyfarming

El funcionamiento del sistema Polyfarming en su conjunto se basa en la integración de los diferentes elementos del bosque, ganado y cultivos. Los flujos que se establecen dentro y entre ellos, incluyendo la producción y el retorno de materiales dentro de cada uno y el movimiento de productos entre elementos, permiten compensar las salidas del sistema. Los productos del sistema Polyfarming engloban los productos finales para el consumo o salidas, como leña, frutos o carne; los productos intermedios para aplicar en otros elementos, como el biochar, la hierba o el forraje; y las entradas externas al sistema que no se pueden producir en el mismo, como el pienso, el plantel o las semillas.

■ Flujos en los diferentes elementos del sistema Polyfarming

La base del sistema Polyfarming es el funcionamiento de los diferentes elementos en su conjunto. Para ello se deben entender los flujos que se establecen en cada uno de ellos, que incluyen: (i) la **producción de los vegetales** (árboles, pastos y cultivos) a partir de la energía solar, (ii) el **retorno de materiales** dentro de cada elemento (tanto la materia vegetal muerta como los excrementos de los animales), (iii) las **salidas del sistema** (productos que se obtienen de los diferentes aprovechamientos), (iv) **el movimiento de productos entre elementos**, como resultado de la puesta en marcha del sistema Polyfarming, y (v) **las entradas externas al sistema** que, con el sistema Polyfarming, se reducen mucho.

- **Bosque.** En el bosque no hay entradas procedentes de otros elementos. La principal entrada es la producción de los árboles, que se lleva a cabo a partir del CO_2 de la atmósfera y los nutrientes y el agua del suelo. El ciclo se cierra internamente con el retorno de las hojas al suelo. La **extracción de madera** representa una exportación de biomasa, que si se realiza sin destruir las condiciones de funcionamiento del sistema se recupera de manera natural. En el sistema Polyfarming también hay salidas de **BRF y biochar (Figura 1)**, **troncos grandes** para las camas de madera y humus del suelo del bosque para obtener biofertilizantes.
- **Dehesa.** La dehesa es un elemento con la única entrada derivada de la **producción de biomasa de los árboles** y del pasto que pueda haber. El retorno de materiales se produce principalmente a través de las hojas y de otras partes vegetales que mueren y pasan a descomponerse. Las salidas del sistema son muy escasas, ya que los terneros que pastorean consumen hojas, pero depositan sus excrementos en la misma zona.
- **Pasto.** La principal producción del pasto se acumula en el suelo. Cuando el prado está establecido, casi no se producen otras entradas de fuera del sistema, **la única entrada es el forraje que se pueda dar a los animales** en determinadas épocas, siempre que no sea de la finca. El ciclo se cierra por el retorno de la biomasa consumida por los animales a través de las deyecciones. Si la gestión se realiza respetando los principios de funcionamiento del prado (manejo de la relación planta herbívoro) y todos sus elementos (incluida la presencia de escarabajos descomponedores), **el sistema se recupera de manera natural** de las salidas ligadas a los aprovechamientos (carne, leche, etc.).



Figura 1. Pila de BRF, un producto que se obtiene del bosque y se aplica en el huerto. Foto: MJ Broncano.

- **Cultivos extensivos.** En principio la única entrada son las semillas para la siembra, ya que el mantenimiento de la fertilidad del cultivo se produce por la incorporación al suelo de los restos vegetales de las especies que crecen en el campo y la presencia de leguminosas como fijadoras de nitrógeno. Esto se lleva a cabo con la utilización de asociaciones y rotaciones de especies, como las que se realizan con el **método de Fukuoka** y el **de cultivos de cereal sobre pastos permanentes (pasture cropping)**. La principal salida es el grano de los cereales, que sirve para la alimentación de las gallinas, y el forraje, que normalmente se emplea para la alimentación de las vacas.
- **Frutales.** Los frutales tienen como entrada básica la **producción vegetal a partir de CO_2** , agua y nutrientes del suelo, y como principal salida la fruta que producen. Su combinación con los pastos en los que hay leguminosas aumenta la cantidad de nutrientes disponibles para los frutales sin entradas adicionales, y esto también se consigue colocando camas de madera procedentes del bosque en el agujero de plantación en el momento de instalarlos.
- **Huerto.** El huerto es un elemento intensivo que se mantiene por la **aportación de carbono y nutrientes externos**, ya que las salidas de verduras y hortalizas son importantes. En un sistema regenerativo, sin labranza ni agroquímicos, la huerta intensiva se puede mantener con la adición de una cantidad importante de compost (a partir del BRF y el biochar procedentes del bosque que se activan en el lecho de los animales) que luego se aplica en los cultivos (en muchos casos se cultiva sobre el compost). La principal entrada es el plantel.

- **Vacas y terneros.** La dieta de las vacas y los terneros se obtiene básicamente del prado, donde también dejan sus excrementos para mantener su fertilidad. En determinadas épocas, los terneros se llevan a la dehesa o al bosque, donde consumen principalmente hojas. La única entrada destacada es el **forraje externo** que se necesita en algunos meses para las vacas, siempre que la finca no sea capaz de producirlo por sí misma. Las principales salidas son la leche de las vacas y la carne de los terneros.
- **Conejos.** La dieta de los conejos es completamente herbívora, por lo que **se alimentan exclusivamente del pasto** y no requieren aportes alimenticios adicionales. Los excrementos que liberan quedan en el propio prado, de manera que no empobrecen su fertilidad, ya que las salidas en forma de carne son pequeñas.
- **Pollos.** Los pollos obtienen del prado un 30-40% de su dieta, por lo que hay entradas importantes en el sistema en forma de **pienso y de grano**. Parte de este grano puede proceder de los cultivos intensivos, si es que lo producen en cantidad suficiente. Al igual que en el caso de los conejos, los excrementos de los pollos se liberan en el propio prado, de manera que se mantiene la fertilidad del mismo, que no se ve afectada por la salida en forma de carne.
- **Gallinas.** Las gallinas permanecen parte del tiempo en el huerto, donde consumen insectos y hierba. Sin embargo, **su principal alimento es el grano**, que representa la principal entrada en este caso. La salida son los huevos.

Integración entre usos: circulación de productos en el sistema Polyfarming

Para entender cómo funciona el sistema Polyfarming en su conjunto es necesario identificar los productos que se introducen (**entradas**), los que salen del sistema (**salidas**) o que **se mueven entre los diferentes elementos** (Figura 2). Los productos son resultado de aprovechamientos de un determinado elemento, ya sea como producto final para el consumo o como producto intermedio a aplicar en otro elemento, o entradas externas al sistema que no se pueden producir en el mismo. En una finca modelo con los elementos que se describen en la ficha "Caracterización de los diferentes elementos del sistema Polyfarming", estos productos podrían resumirse en los siguientes:

- Los **productos finales (salidas)** del sistema incluyen: leña, madera, frutos, hortalizas, carne, leche y huevos.
- Los **productos intermedios** que se mueven entre diferentes elementos incluyen: hierba, forraje, grano, hojas, biochar, BRF y camas de madera.
- Finalmente, hay una serie de **productos procedentes de fuera del sistema (entradas)**: semillas, plantel, pienso, forraje y grano, los dos últimos en el caso de que no sea suficiente la producción interna del sistema en su conjunto. El origen o destino de estos productos a partir de los diferentes elementos identificados en el sistema Polyfarming se representa en la Figura 2, donde se separan los tres usos principales a nivel de finca.

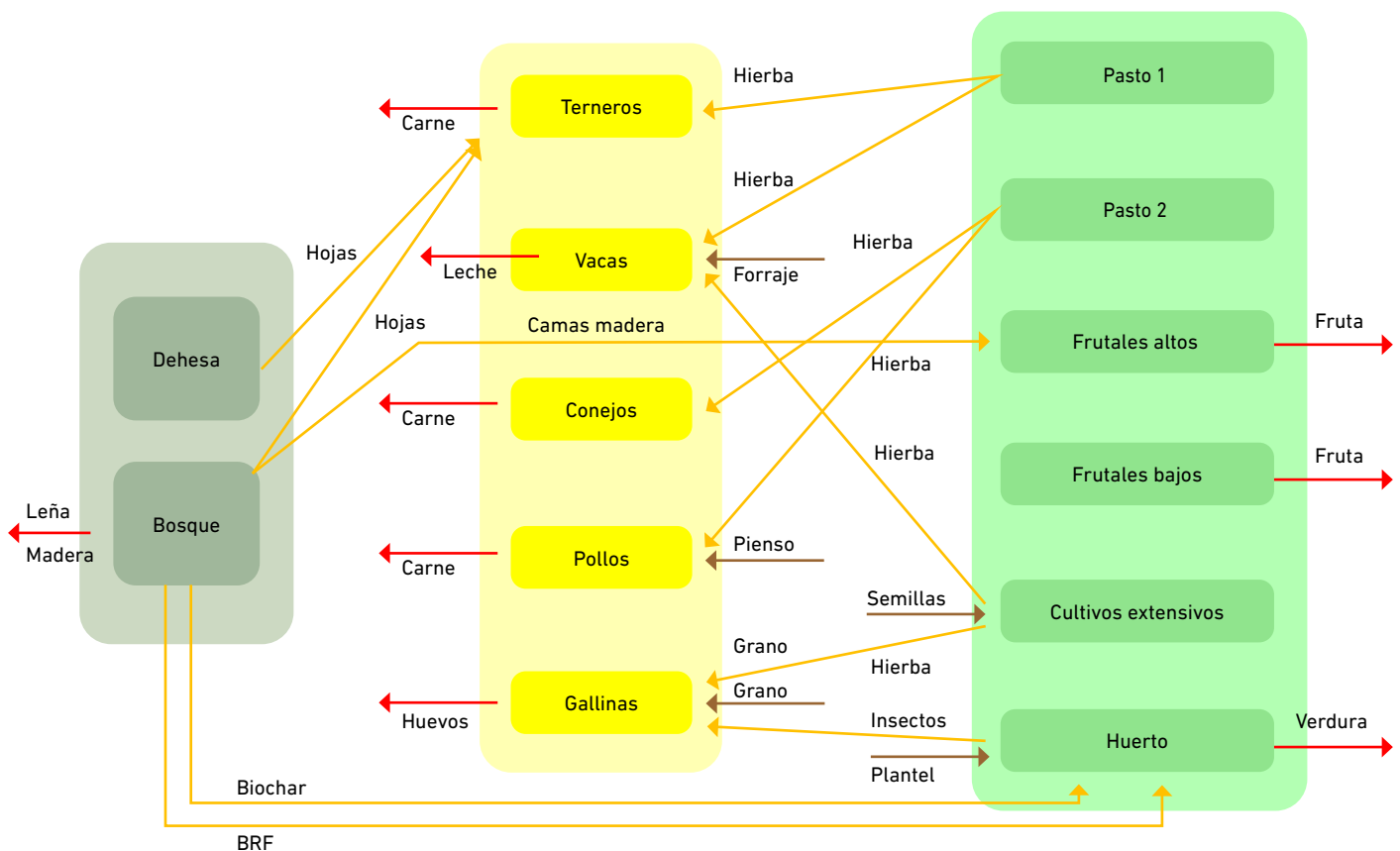


Figura 2. Circulación de productos entre los diferentes elementos del sistema Polyfarming. Productos finales o salidas, flecha roja; productos intermedios entre elementos, flecha naranja; productos procedentes de fuera o entradas, flecha marrón. Usos: forestal (verde oscuro), agrícola (verde claro) y ganadero (amarillo).

Lecciones aprendidas tras la puesta en práctica del sistema Polyfarming I. Bosque, prado y cultivos

A partir de las experiencias propias y de las interacciones con otros investigadores y productores el sistema Polyfarming ha adquirido durante estos años una serie de conocimientos sobre cada uno de los elementos que intervienen sobre el sistema y sobre su funcionamiento conjunto. En esta ficha se sintetizan las principales lecciones aprendidas sobre el bosque, el prado y los cultivos, incluyendo aspectos de instalación, funcionamiento y de las combinaciones entre elementos.



Figura 1. Trabajos de extracción de madera en el bosque. Foto: AVVideo.

■ Lecciones aprendidas sobre los diferentes elementos de Polyfarming

Esta ficha sintetiza los aspectos y el aprendizaje más destacados tras haber aplicado diferentes técnicas del sistema Polyfarming en el bosque, la dehesa y los cultivos, tanto leñosos como herbáceos. Así, a partir de los seguimientos y estudios realizados en la finca Planeses y, aprovechando los intercambios de valiosa información con otros investigadores y productores, tanto ganaderos como agricultores o forestales, hemos podido extraer las siguientes lecciones.

■ Bosque

- La principal característica que determina el aprovechamiento forestal es la **calidad del bosque**. En bosques de calidad baja, la intervención sobre el terreno es de baja intensidad, con el objetivo de conseguir una disminución de la densidad. En bosques de calidad alta, la intervención sobre el terreno se hace identificando los árboles de futuro e interviniendo para mejorar sus condiciones de crecimiento.
- La explotación del bosque requiere un **mínimo de dos trabajadores a jornada completa** durante los meses de invierno.

- La **red de pistas** es fundamental para determinar si el aprovechamiento es viable o no. Si la red de pistas no es suficiente, el desemboscado de los troncos puede ser inviable.
- La **extracción de madera (Figura 1)** representa una exportación de biomasa, que si se realiza sin destruir las condiciones de funcionamiento del sistema se recupera de manera natural.
- En el sistema Polyfarming también hay **salidas de BRF y biochar** (obtenidos a partir de las ramas pequeñas), troncos grandes para las camas de madera y humus del suelo del bosque para obtener biofertilizantes.
- Los recursos que aporta el bosque para el ganado son de menor calidad que los que aportan los pastos forrajeros, por lo que juega un papel **secundario en la alimentación de los animales**.

■ Dehesa

- La **densidad de árboles** que se debe dejar en una zona destinada a dehesa tiene que ser baja, ya que de lo contrario el pasto difícilmente se establece en condiciones de mucha sombra.

- El principal problema de establecer un pasto en la dehesa es el **daño que provocan los jabalís**, que normalmente levantan el suelo donde está empezando a instalarse el pasto.
- Aunque no haya pasto, los terneros pueden hacer una buena labor de mantener el sotobosque de la dehesa a niveles bajos siempre que vayan regularmente a la misma.

■ Pasto

- La **instalación inicial** del pasto requiere la adecuación del terreno, el control de las malas hierbas, la siembra en el momento adecuado y el riego, cuando sea posible. Un pasto de calidad puede tardar varios años en formarse.
- Cuando el prado se ha establecido, **la gestión del ganado es la que debe consolidar y mejorar el pasto**. Si la gestión se realiza respetando los principios de funcionamiento del prado, el sistema se recupera de manera natural de las salidas ligadas a los aprovechamientos.
- Con **el pastoreo intensivo controlado se consigue que el pasto produzca el máximo en cada estación**. Mediante este método, el pasto está sometido a un impacto grande cuando los animales están presentes, pero, una vez han pasado, las parcelas disponen de un tiempo largo para recuperarse.
- **El nivel de mano de obra que requiere el pasto una vez establecido es bajo**, ya que se mantiene con el pastoreo de los animales y únicamente hay escasos trabajos de desbroce o de resiembra.
- **La falta de agua puede ser un factor limitante del sistema**, ya que condiciona el crecimiento del pasto. En Planeses dependiendo de la precipitación anual, el ganado puede pasar por cada parcela hasta siete veces en años lluviosos y menos de cinco en años secos.

■ Frutales sobre pasto

- La plantación de frutales se realiza en primavera y requiere un **buen sistema de riego** y una protección individual para cada árbol.
- Cuando hay ganado, es imprescindible una **protección individual para cada árbol**, a fin de evitar los daños que puedan producir los animales.
- Cuando el animal que se utiliza es grande, **debe elegirse una especie de frutal de porte alto, como nogales, manzanos o castaños**. Cuando se utilizan animales medianos o pequeños, la altura del pastoreo no es tan elevada y se pueden plantar frutales de porte más bajo.
- La **colocación de camas de madera** en la base de los frutales durante la plantación permite mejorar el entorno de los frutales, ya que los troncos ofrecen una reserva de agua y microorganismos para mantener un suelo vivo y aumentar el contenido de carbono en el suelo.
- La plantación de frutales debe tener un **sistema de riego extendido y que riegue por goteo cada uno de los árboles**, especialmente en los primeros años y después en las estaciones más secas.



Figura 2. Huerto sin labrar en la finca Planeses. Foto: Ángela Justamante.

■ Cultivos extensivos

- En los cultivos extensivos no hay entradas de fuera, porque el mantenimiento de la fertilidad se obtiene con la **incorporación al suelo de los restos vegetales** de las especies que crecen en el campo y la presencia de leguminosas como fijadoras de nitrógeno.
- Para conseguir una mayor producción y actividad biológica del sistema se utilizan **asociaciones y rotaciones de especies en el tiempo y el espacio**, como la de cultivos de cereal sobre pastos permanentes con la que se obtiene el grano del cereal y el forraje del pasto.

■ Huerto sin labranza

- Un huerto sin labranza (**Figura 2**) permite **mejorar el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo**, con una disminución en los gastos de fertilización y de consumo de agua.
- En un huerto sin labranza, todas las **estructuras pueden ser permanentes**, se pueden mantener de un año a otro.
- Los bancales del huerto constan de una serie de elementos: el camino permanente por el que los trabajadores del huerto pueden desplazarse, el surco por el que pasa la manguera principal que conduce el agua a las plantas, y las dos filas de plantas del cultivo.
- Lo mejor es **rellenar la zanja del riego con BRF o compost**, ya que así el agua no se escapa y, además, la manguera queda protegida del sol.
- **La plantación es un proceso lento** porque no se puede utilizar un plantador, ya que el suelo no está suelto, no está arado.
- **El control de las plantas adventicias** es uno de los trabajos más costosos en la gestión de un huerto sin labranza y se lleva a cabo únicamente cortando, sin arrancar las plantas.
- Los **aportes de materia orgánica** en un huerto sin labranza se producen con la parte cortada de las plantas adventicias, el BRF y biochar, y los abonos vegetales, tanto verdes como secos.

Lecciones aprendidas tras la puesta en práctica del sistema Polyfarming II. Animales y Polyfarming en su conjunto

En esta ficha se sintetizan las principales lecciones aprendidas sobre la gestión de animales grandes y pequeños, y sobre el sistema Polyfarming en su conjunto, incluyendo aspectos de instalación, funcionamiento y de las combinaciones entre elementos. La aplicación de un sistema productivo como Polyfarming requiere tener ejemplos de fincas piloto que funcionen según este modelo.

■ Lecciones aprendidas sobre la gestión de animales

Esta ficha sintetiza los aspectos y el aprendizaje más destacados tras haber aplicado diferentes técnicas en la gestión de animales grandes y pequeños, y tras la puesta en práctica del sistema Polyfarming en su conjunto. Así, a partir de los seguimientos y estudios realizados en la finca Planeses y, aprovechando los intercambios de valiosa información con otros investigadores y productores, tanto ganaderos como agricultores o forestales, hemos podido extraer las siguientes lecciones.

■ Gestión de vacas mediante pastoreo intensivo controlado

- El pastoreo intensivo controlado se caracteriza por utilizar **densidades de ganado muy altas en espacios pequeños (Figura 1)** con una permanencia muy corta y un periodo de recuperación muy largo.
- Es fundamental tener **parcelas permanentes** porque ayuda a gestionar mejor el sistema y recoger la información de manera mucho más precisa.
- En el pastoreo intensivo controlado, **las vacas solamente están un día en cada parcela** y, por lo tanto, no tienen tiempo de comerse los rebrotes de las primeras plantas que se comieron, ni tampoco provocan una compactación por pisoteo importante.
- En el pastoreo intensivo controlado, **el ganadero o la ganadera puede dividir el rebaño en dos lotes**, uno con las necesidades nutricionales más altas (en este caso las vacas de leche), y otro con los individuos con menos necesidades nutricionales (los terneros de engorde). Primero entra el lote con mayores requisitos nutricionales y, una vez sale éste, entra el segundo lote.
- Con el pastoreo intensivo programado las vacas consumen el pasto en el mejor momento posible en cada época del año.
- El **tiempo de retorno a la misma parcela varía**: en primavera normalmente los animales tardan alrededor de 25 días en volver a la misma, mientras que en verano e invierno tardan más, entre 60 y 70 días.
- Para el buen funcionamiento del sistema son necesarias tantas parcelas como días tiene el periodo de retorno más largo, como mínimo.
- Los movimientos del rebaño entre parcelas pueden ser diarios o bien dos veces al día y **los animales pueden ocupar**



Figura 1. Vacas en la finca, Planeses. Foto: MJ Broncano.

una parcela completa o solo una parte, dependiendo del estado de la vegetación.

- Las vacas son animales herbívoros, de manera que **todo su alimento lo obtienen de las plantas**. Durante la mayor parte del año deben obtenerlo directamente del pasto, aunque en algunos meses el pasto no crece y deben recibir forraje adicional.

■ Gestión de terneros de engorde

- Los terneros de engorde normalmente **se gestionan como un segundo rebaño**, que tiene menos exigencias que las vacas, especialmente si éstas son de leche, y que entran detrás de ellas en las parcelas de pasto.
- Los terneros **se adaptan perfectamente a estar en el bosque y en la dehesa** durante los meses de invierno. Sin embargo, en estos meses su producción disminuye, ya que los recursos que encuentran disponibles no son los mismos que los del pasto.
- Tienen unos **requisitos de mano de obra muy bajos**, ya que únicamente hay que moverlos entre las diferentes parcelas de pasto, dehesa o bosque.

■ Gestión de conejos en pasto

- El engorde de conejos se hace exclusivamente en el prado, ya que su dieta es 100% herbívora.



Figura 2. Corrales móviles para pollos colocados en el prado de la finca Planeses. Foto: MJ Broncano.



Figura 3. Corral de gallinas situado al lado del huerto, al que se les permite salir a los bancales cada día durante dos o tres horas en la finca Planeses. Foto: Ángela Justamante.

- **Los refugios deben proteger a los animales** frente a las inclemencias climáticas y los depredadores, y deben ser fáciles de mover.
- Los animales se mantienen en una parcela de prado delimitada, con una densidad elevada, pero sólo durante uno o dos días (según la época del año). El tiempo que tardan en volver a la misma parcela puede variar entre 60 y 80 días.
- **Es mucho más rentable criar los propios conejos en la finca que comprarlos**, pero requiere una mínima instalación para las hembras y los machos.
- Con este tipo de gestión prácticamente **no hace falta usar antibióticos** y sólo se utilizan vacunas para las enfermedades víricas.

■ Gestión de pollos en prado

- Los pollos son omnívoros, en el prado consumen mucha hierba y semillas, y también obtienen altas cantidades de proteína viva en forma de lombrices e insectos.
- La gestión de los pollos se realiza en un **pasto dividido en pasillos** que permiten ir moviendo a los animales diariamente mediante un sistema de vallas y refugios móviles (**Figura 2**).
- Para un lote de **400 pollos en una rotación de 60 días** se considera adecuada una superficie aproximada de 1 ha.
- Los pollos son susceptibles a la depredación por parte de aves y de algunos mamíferos como el zorro. Una buena manera de protegerlos es **colocar un pastor eléctrico alrededor del recinto** y tener en el campo perros adiestrados.
- Con este sistema se obtiene una producción de pollos con un alto valor nutricional.

■ Gestión de gallinas en el huerto

- La presencia de las gallinas en el huerto (**Figura 3**) **contribuye al control de plantas adventicias**, el abonado con los excrementos y la eliminación de plagas.

- Cada día las gallinas puedan salir a los bancales del huerto durante **2-3 horas como máximo**, ya que, si permanecen mucho tiempo en el huerto, podrían perturbar en exceso el suelo y atacar algunos cultivos.

■ Lecciones aprendidas sobre el sistema Polyfarming en su conjunto

- En el sistema Polyfarming se propone un sistema integrado de los **aprovechamientos forestal, ganadero y agrícola** (incluyendo frutales y huerto) que interaccionan y se complementan entre ellos.
- El sistema Polyfarming promueve diversas **combinaciones** basadas en que al menos dos elementos de diferentes usos interactúan en un mismo lugar. Estas combinaciones generan importantes sinergias.
- A nivel de finca, la planificación espacial y temporal de los diferentes usos permite establecer una **complementariedad de productos y de mano de obra**, para, entre otras cosas, disminuir los recursos externos necesarios y los costes de producción y aumentar la eficiencia del sistema en su conjunto.
- Las **salidas del sistema son los productos finales**, entre ellos: leña, madera, frutos, forraje, hortalizas, carne, leche y huevos.
- Las **entradas del sistema** son principalmente productos procedentes de otros elementos del propio sistema, como hierba, forraje, grano, hojas, biochar, BRF y camas de madera. Sin embargo, se requieren también una serie de productos procedentes de fuera del sistema, como pienso, forraje y grano (estos dos últimos en el caso de que no sea suficiente la producción interna de la finca), semillas y plantel.
- Para poder aplicar el sistema Polyfarming **es importante aprender a observar e interpretar** el conjunto de manera diferente, y esto implica estar mucho en el campo y discutir sobre el terreno los diferentes aspectos de cada elemento.
- La aplicación de un sistema productivo como Polyfarming requiere tener **ejemplos de fincas piloto** que funcionen según este modelo.



Rendimientos de las diferentes actividades

- Costes de las actividades relacionadas con el bosque
- Costes de las actividades relacionadas con el ganado en pasto
- Costes de las actividades relacionadas con los cultivos
- El sistema Polyfarming en su conjunto





Rendimientos de las diferentes actividades

Costes de las actividades relacionadas con el bosque

- Costes y puntos clave en el aprovechamiento del bosque
- Costes y puntos clave de la producción y aplicación de BRF
- Costes y puntos clave de la producción y aplicación de biochar
- Costes y puntos clave de la producción y aplicación de camas de madera
- Costes y puntos clave de la producción y aplicación de abono orgánico tipo Bocashi
- Costes y puntos clave de la producción y aplicación de biofertilizantes

Costes y puntos clave en el aprovechamiento del bosque

El aprovechamiento del bosque tiene principalmente tres tipos de costes: (1) costes de tala y desramado de los árboles, que pueden variar considerablemente según el tamaño y especie de los árboles cortados; (2) costes de arrastre de los troncos hasta la pista, que se llevan a cabo con un tractor agrícola adaptado desde la pista; y (3) costes de preparación del producto, que incluyen el cortar los troncos a la medida necesaria para el uso y el transporte.



Figura 1. El arrastre de los troncos fuera del bosque determina en gran parte el coste total del aprovechamiento forestal. Foto: AVVideos.

■ Cuantificación de los costes del aprovechamiento del bosque

La cuantificación de lo que representa el aprovechamiento forestal (**Figura 1**) del bosque mediterráneo se basa en calcular tres tipos de costes:

1. Coste de tala y desramado de los árboles.
2. Coste de arrastre de los troncos hasta la pista.
3. Coste de preparación de los troncos.

Globalmente se puede estimar en 2 h el tiempo total que se tarda en realizar todos estos procesos para 1 Tm colocada en pista. A continuación, se describen las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**).

1. Coste de tala y desramado de los árboles. Todo el material necesario para la tala y desramado de los árboles (motosierra, equipos de protección, etc.) se considera que ya está **disponible en la finca**, en caso contrario habrá que incluir los costes correspondientes para conseguirlos. El tiempo en talar y desramar depende del tamaño y la especie. Así, los rendimientos obtenidos en el aprovechamiento de la encina son más bajos en comparación con los de otras especies, sobre todo coníferas, donde la escasez de ramaje y la rectitud de los árboles facilitan los trabajos de procesamiento. Valores orientativos puede oscilar entre 10 y 12 min (10% del tiempo total) para cortar los árboles

necesarios para obtener 1 Tm, y alrededor de 50 min (40% del tiempo total) para desramarlos.

2. Coste de arrastre de los troncos hasta la pista. Este coste incluye el arrastre de los troncos desde el lugar donde se han talado hasta la pista. Este coste **depende de la disponibilidad o no de una buena red de pistas**. Si el arrastre de los troncos hasta la pista es largo, el coste total de extraerlos será mayor. El arrastre se lleva a cabo con un **tractor agrícola** adaptado desde la pista. Pueden darse dos situaciones:

- **Si la finca dispone de tractor agrícola**, el tiempo empleado para arrastrar los troncos es de alrededor **40-45 min** (35% del tiempo total) para obtener 1 Tm.
- **Si la finca no dispone de tractor agrícola**, a los costes anteriores se ha de añadir el coste de alquiler del tractor, que puede ser de **50 €/día**.

3. Coste de preparación del producto. Este coste incluye la preparación del producto y su colocación en la pista. Entonces acaba el trabajo, **el mayorista paga por los kg que carga en su camión**, pero los costes de cargarlos no se incluyen en el aprovechamiento forestal a nivel de finca. Los troncos se dejan a la medida necesaria para el uso y para el transporte. El tiempo en hacerlo se puede estimar en **15-20 min** (15% del tiempo total) para obtener 1 Tm.

A partir de estas consideraciones, se establecen una serie de cálculos sencillos para estimar los costes globales de los aprovechamientos forestales en el bosque mediterráneo. Esta cantidad corresponde a 1 Tm. **El coste global es la suma de los tres costes descritos anteriormente:**

$$C_{\text{total}} = C_{\text{tala}} + C_{\text{desembosque}} + C_{\text{preparación}}$$

Tala y desramado de los árboles (para 1 Tm):

$$C_{\text{tala}} = 0.20 \text{ h / Tm} \times \text{Sueldo/h}$$

$$C_{\text{desramado}} = 0.80 \text{ h / Tm} \times \text{Sueldo/h}$$

Desembosque de los troncos:

$$C_{\text{desembosque}} = 0.75 \text{ h / Tm} \times \text{Sueldo/h} + 0.25 \text{ día} \times 50 \text{ €/día (coste del tractor si es necesario)}$$

Preparación de los troncos:

$$C_{\text{preparación}} = 0.25 \text{ h / Tm} \times \text{Sueldo/h}$$

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para los aprovechamientos forestales

Los puntos clave que debemos considerar en los aprovechamientos forestales son los siguientes:

- El **tamaño** y, sobre todo, la **especie de los árboles cortados** determina en gran medida los costes que se producen, especialmente para el desramado y el desembosque de los troncos.

- La **red de pistas** es fundamental para determinar si el

aprovechamiento es viable o no. Si la red de pistas no es suficiente, **el desembosque de los troncos puede ser inviable**. En ocasiones, es más adecuado subcontratar a profesionales del aprovechamiento forestal para llevar a cabo esta actividad.

- El **uso final del producto**: si es para palos, para madera o para leña, puede condicionar considerablemente los costes de preparación del producto en la pista.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Tiempo total de colocación en pista de 1 Tm de madera	h/Tm	2	Varía según esté cerca o lejos de la pista y la pendiente entre 1 y 4
Tiempo de tala de los árboles	h/Tm	0.20	Varía ligeramente según el tamaño y especie de los árboles cortados
Tiempo de desramado de los árboles	h/Tm	0.80	Varía considerablemente según el tamaño y especie de los árboles cortados
Tiempo de desembosque de los troncos	h/Tm	0.75	Si la pista está lejos, el coste de desemboscar los troncos es mayor
Coste del alquiler del tractor agrícola	€/día	50	Depende de la disponibilidad o no en la finca
Tiempo de preparación de los troncos en la pista	h/Tm	0.25	Puede variar según se prepare el producto para madera o para leña

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de los aprovechamientos forestales, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la producción y aplicación de BRF

La producción y aplicación de BRF tiene principalmente tres tipos de costes: (1) costes de obtención del material de base, que son ramas de < 7 cm de diámetro; (2) costes de trituración, que incluye la utilización de una trituradora y el transporte al lugar en el que están las ramas; y (3) costes de colocación sobre el terreno, que incluye el transporte del BRF desde la zona de trituración hasta el campo y su distribución sobre el terreno.



Figura 1. BRF en el proceso de descomposición en el bosque. Foto: J.Luis Ordóñez.

■ Cuantificación de los costes de la producción y aplicación de BRF

La cuantificación de lo que representa la producción y la aplicación del BRF (Figura 1) se basa en calcular tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de obtención del material de base de BRF
2. Coste de trituración de BRF
3. Coste de colocación de BRF sobre el terreno

A continuación, describiremos las diferentes alternativas analizadas para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (Tabla 1).

1. Coste de obtención del material de base del BRF. Este coste incluye cortar las ramas que se utilizarán como materia prima. Todo el material necesario para las cortas (motosierra, etc.) se considera que ya está disponible en la finca, en caso contrario habrá que incluir los costes correspondientes. **Las ramas de < 7 cm se obtienen de los aprovechamientos forestales** tradicionales que se hacen en las fincas agro-silvo-pastorales. De manera que su coste se puede considerar **0**, ya que es un trabajo incluido en la obtención de madera o leña.

2. Coste de trituración de BRF. Este coste incluye la trituración de la biomasa de ramas mediante una trituradora. Se considera que la finca dispone de una

trituradora sencilla, en caso contrario habría contabilizar el coste de alquilarla. En principio se lleva la **trituradora** al lugar donde están las ramas y no al revés, ya que transportar el volumen de ramas sería mucho más costoso que transportar directamente el BRF. Aproximadamente se necesitan 10 m³ de ramas para conseguir 1 m³ de BRF. El coste de trituración es el de **dos personas trabajando durante aproximadamente 1-2 h**: una arrastra las ramas hasta la trituradora y la otra las va introduciendo. Si las ramas son grandes (5-7 cm) se tarda menos, mientras que si son más pequeñas (2-4 cm) se tarda más.

3. Coste de colocación de BRF sobre el terreno. Este coste incluye el transporte del BRF desde la zona de trituración hasta el campo y su distribución sobre el terreno.

- En el **caso del transporte**, el coste depende del tiempo empleado en cargar el remolque y trasladar el BRF a la zona de aplicación. En la granja donde se implementa el sistema Polyfarming, el remolque tiene una capacidad de 2 m³, de manera que sólo hace falta un viaje para transportar todo el BRF obtenido a partir de 10 m³ de ramas. Se considera que la finca dispone de un todoterreno con remolque, en caso contrario hay que incluir los **costes de alquilarlo**. Si el BRF se deja un año en el campo antes de transportarlo (una de las opciones posibles), entonces aún se compacta más y cabe más cantidad en el remolque.

- Respecto a la aplicación, **es imprescindible que el vehículo llegue justo al lado del campo**, a fin de que el transporte del BRF con carretilla hasta la zona de aplicación sea muy corta. Se monta una pila cerca de las instalaciones que lo requieren, que son los pollitos y el huerto.

- En el caso de la **cama de los pollitos**, el BRF se coloca directamente en muy poco tiempo, por lo que el **coste** es prácticamente **0**.

- En el caso del **huerto**, el BRF lo colocamos en las zanjas del riego. En las zanjas de 15 cm x 20 cm de sección (0.03 m²), se pone la manguera y encima se tapa con BRF. En cada línea de 70 m largo como las de Planeses se colocan aproximadamente 0.5 m³ de BRF. El BRF se tarda en aplicar en una de estas líneas aproximadamente un total de 0.75 horas.

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la producción y aplicación de BRF

Los **puntos clave** que debemos considerar en la producción y aplicación de BRF son los siguientes:

- En la producción de BRF es fundamental **colocar la trituradora cerca de donde estén las ramas recién cortadas**.
- El rendimiento de la trituración de las ramas depende de su tamaño: **cuando son grandes (5-7 cm) se obtienen rendimientos mucho mayores** que si las ramas son pequeñas (2-4 cm).
- El BRF se puede transportar a la finca una vez se ha triturado o, más recomendable, **dejarlo unos meses en el bosque** y transportarlo después hasta la zona de la finca donde se quiere aplicar.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de **cálculos sencillos para estimar los costes globales** de la aplicación del BRF en terrenos agrícolas. Estos cálculos están basados en 1 m³ de BRF. **El coste global es la suma de tres costes:**

$$C_{\text{total}} = C_{\text{obtención}} + C_{\text{trituración}} + C_{\text{colocación}}$$

Obtención del material de base del BRF:

$C_{\text{obtención}} = 0$ (las ramas de < 7 cm se obtienen de los aprovechamientos forestales)

Trituración del BRF:

$C_{\text{trituración}} = 10 \text{ m}^3 \text{ ramas} \times 1 \text{ m}^3 \text{ BRF} / 10 \text{ m}^3 \text{ ramas} \times 2 \text{ h} / 1 \text{ m}^3 \text{ BRF} \times \text{Sueldo/h}$ (trituración con 2 trabajadores)

Colocación del BRF, suma de dos costes:

$C_{\text{transporte}} = N \text{ h}$ (depende de la distancia de la trituradora al campo) x Sueldo/h (carga y transporte BRF)

$C_{\text{aplicación (1)}} = 0$ (aplicación en la cama de los pollitos)

$C_{\text{aplicación (2)}} = 0.5 \text{ m}^3 \text{ BRF} \times 0.75 \text{ h/m}^3 \times \text{Sueldo/h}$ (aplicación en huerto, en una línea de 70 m de longitud)

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Tiempo trituración 10 m ³ de ramas	h	2	Son dos personas: 1 h cuando las ramas son grandes (5-7 cm), si son pequeñas (2-4 cm) tardan el doble
Cantidad de BRF obtenido a partir de 10 m ³ de ramas	m ³	1	Cuando se deja un año en el campo acaba ocupando un volumen menor
Tiempo en cargar el remolque de BRF	h	0.5	Varía con el tamaño del remolque
Tiempo de traslado del remolque	h	-	Depende de la distancia
Tiempo de aplicación del BRF en la cama de los pollitos	h	0	Se añade una cantidad pequeña de BRF y se tarda muy poco
Cantidad de BRF aplicado en el huerto (por línea de 70 m)	m ³ BRF/ línea	0.5	Puede oscilar ligeramente según la zanja sea más o menos profunda
Tiempo de aplicación del BRF	h/línea 70 m	0.75	Puede variar según donde esté la pila de BRF.

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción y aplicación de BRF, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la producción y la aplicación de biochar

La producción y aplicación de biochar tiene principalmente tres tipos de costes: (1) costes de obtención del material de base, que son ramas de < 7 cm de diámetro; (2) costes de producción del biochar, que incluyen la utilización de calderas autotransportables; y (3) costes de colocación sobre el terreno, que incluye el transporte del biochar desde la zona de producción hasta el campo y su distribución en la cama de los pollitos y la comida de los pollos.



Figura 1. Biochar. Foto: iStock, orkrip.

■ Cuantificación de los costes de la producción y aplicación de biochar

La cuantificación de lo que representa la producción y la aplicación de biochar (Figura 1) en fincas agrícolas se basa en calcular tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de obtención del material de base del biochar.
2. Coste de producción de biochar.
3. Coste de colocación de biochar sobre el terreno.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas analizadas para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (Tabla 1).

1. Coste de obtención del material de base del biochar. Este coste incluye cortar las ramas que se utilizarán como materia prima. Todo el material necesario para las cortas (motosierra, etc.) se considera que ya está disponible en la finca, en caso contrario habrá que incluir los costes correspondientes. **Las ramas de < 7 cm se obtienen de los aprovechamientos forestales tradicionales** que se hacen en las fincas agro-silvo-pastorales. De manera que su coste se puede considerar 0, ya que es un trabajo incluido en la obtención de madera o leña.

2. Coste de producción de biochar. La producción de biochar se puede hacer utilizando diferentes métodos. En el sistema Polyfarming se elabora **mediante calderas transportables autoconstruidas**. Son infraestructuras baratas autoconstruidas con bidones de aceite empalmados

con tornillos. Por ello su coste se puede considerar 0. Si se compran su precio puede ser muy elevado. Las utilizadas en Planeses tiene un diámetro de 1.75 m y una altura de 0.9 m, es decir, un volumen de unos 2.2 m³. Normalmente se lleva la caldera al lugar donde están las ramas y no al revés, ya que transportar el volumen de ramas sería mucho más costoso que transportar la caldera. Aproximadamente se necesitan unos 8-9 m³ de ramas para llenar una caldera de la que utilizamos para producir biochar. **El coste en personal de cargar la caldera es el de dos personas durante 2 h:** una arrastra las ramas hasta la trituradora y la otra va cortándolas a la medida e introduciéndolas en el fuego. Posteriormente dedican media hora más en apagar la hoguera y sellar la caldera. Al día siguiente vuelven los dos trabajadores y tardan una media hora en destapar la caldera, dejar enfriar el biochar y cargarlo en el remolque. En cada una de estas calderas se obtiene alrededor de 0.7 m³ de biochar.

3. Coste de colocación de biochar sobre el terreno. Este coste incluye el transporte del biochar desde la zona de pirólisis hasta la finca, y su tratamiento posterior en la cama de los pollitos y la comida de los pollos.

- En el caso del **transporte**, el coste depende del tiempo empleado en cargar el remolque y trasladar el biochar a la zona de aplicación. En la finca Planeses, el remolque tiene una capacidad de 2 m³, de manera que hace falta un viaje para transportar todo el biochar producido en una caldera,

y todavía sobra más de la mitad del remolque. Se considera que la finca dispone de un todoterreno con remolque, en caso contrario hay que incluir los costes de alquilarlo.

- Respecto **al tratamiento posterior**, es importante que el vehículo llegue justo al lado del campo, a fin de que el transporte del biochar con carretilla hasta la zona de aplicación sea muy corta. El biochar se aplica en la cama de los pollitos y la comida de los pollos, por lo que forma parte de otros trabajos de la finca y no se puede considerar un coste añadido.

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la producción y aplicación de biochar

Los **puntos clave** que debemos considerar en la producción y aplicación de biochar son los siguientes:

- Las ramas deben ser fácilmente accesibles, **se ha de colocar la caldera cerca de gran acumulación de ramas.**

- Las **ramas** utilizadas **deben ser secas**, del año anterior, en este caso el proceso es más eficiente y más rápido. Si las hojas son verdes hay que quemarlas antes y esto provoca una importante pérdida de carbón y minerales.

- Se pueden utilizar otros métodos que no sean calderas en el bosque. **Se pueden bajar las ramas hasta la granja y allí utilizar una caldera más eficiente** y utilizar el calor residual. Pero el transporte de la gran cantidad de ramas que son necesarias hace que los costes se multipliquen mucho.

- La utilización del biochar se puede **aplicar en la cama de los pollitos o en cualquier proceso de compostaje** que se haga en la granja.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de **cálculos sencillos para estimar los costes globales** de la aplicación de biochar en terrenos agrícolas. Estos cálculos están basados en el contenido de una caldera de biochar. El **coste global es la suma de tres costes**:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{obtención}} + C_{\text{producción}} + C_{\text{colocación}}$$

Obtención del material de base de biochar (para llenar una caldera):

$C_{\text{obtención}} = 0$ (las ramas de < 7 cm se obtienen de los aprovechamientos forestales)

Producción de biochar:

$C_{\text{producción}} = 0$ € (caldera autoconstruida) + 2 h x Sueldo/(h x trabajador) x 2 trabajadores (carga de una caldera) + 0.5 h x Sueldo/(h x trabajador) x 2 trabajadores (sellado de una caldera) + 0.5 h x Sueldo/(h x trabajador) x 2 trabajadores (descarga de una caldera)

Transporte y aplicación de biochar:

$C_{\text{colocación}} =$ Transporte de biochar (según distancia de la caldera a la finca) + 0 (aplicación biochar en la cama de los pollitos o la comida de los pollos)

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Coste caldera de pirólisis autoconstruida	€	0	Si no es autoconstruida puede costar más de 10000 euros
Volumen de ramas para llenar una caldera	m ³	9	Depende del tamaño de la caldera
Tiempo para cargar una caldera	h/2 personas	2	Puede depender si las ramas están cerca o lejos de la caldera, si están muy lejos este tiempo se puede doblar
Tiempo de sellado de una caldera	h/2 personas	0.5	-
Tiempo de descarga de una caldera	h/2 personas	0.5	-
Cantidad de biochar producido por caldera	m ³	0.7	Puede oscilar en un rango 0.5-0.9
Tiempo en transportar el biochar	h	variable	Depende de la distancia de la caldera a la finca

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción y aplicación de biochar, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la producción y la aplicación de camas de madera

La producción y aplicación de camas de madera tiene principalmente dos tipos de costes: (1) costes de obtención del material de base, que son troncos de más de 20 cm cortados a la medida adecuada; (2) costes de colocación sobre el terreno, que incluye el transporte de los troncos desde la zona de corta hasta el campo y su distribución sobre el terreno, que es diferente si se hace en una plantación de frutales o en el huerto.



Figura 1. Colocación de las camas de madera sobre el terreno del huerto. Foto: AVVideo.

■ Cuantificación de los costes de la producción y aplicación de camas de madera

La cuantificación de lo que representa la producción y la aplicación de camas de madera (Figura 1) se basa en calcular dos tipos de costes diferentes:

1. Coste de obtención del material de base de las camas de madera
2. Coste de colocación de las camas de madera sobre el terreno

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (Tabla 1).

1. Coste de obtención del material de base de las camas de madera. Este coste incluye la obtención de los troncos que se utilizarán como materia prima. Todo el **material necesario para las cortas** (motosierra, etc.) se considera que ya está disponible en la finca, en caso contrario habrá que incluir los costes correspondientes. En principio se entiende que los troncos se obtienen de un aprovechamiento forestal tradicional, de manera que el **coste de cortarlos se puede considerar 0**, ya que es un trabajo incluido en la propia corta. Sin embargo, como se utilizan troncos grandes cortados a 2m de longitud que, de otro modo, se podrían utilizar como leña, hay que considerar el coste de no venderlos en la obtención del material de base de las camas de madera. Este coste depende del volumen utilizado en cada caso y del precio de la leña en cada lugar.

2. Coste de transporte y colocación de las camas de madera sobre el terreno. Este coste incluye el transporte de los troncos desde la zona de corta hasta el campo y su distribución sobre el terreno.

- En el caso del transporte, el coste **depende del tiempo empleado en cargar el remolque, trasladar los troncos, y descargar los troncos en la zona de aplicación.** En Planeses, el remolque tiene una capacidad de 2 m³. El tiempo medio de llenar el remolque de troncos es de 0.33 h. En cada viaje se cargan unos 24 troncos de 2 m de longitud y más de 20 cm de diámetro. A esto hay que añadir el **tiempo de transporte** (que varía con la distancia) y el de descargar los troncos, que se puede considerar el mismo que el de cargarlos. El tiempo siempre se calcula para dos trabajadores. Se considera que la finca dispone de un todoterreno con remolque, en caso contrario hay que incluir los costes de alquilarlo.

- Respecto a la aplicación, es imprescindible que el vehículo llegue justo al lado del campo, a fin de que el transporte de los troncos con carretilla hasta la zona de aplicación sea muy corta.

- Un agujero para plantar un frutal tiene un volumen aproximado de 0.5x0.5x0.5 m³, en los que se introduce entre 4-5 troncos de 40-50 cm en el fondo. Esto quiere decir que con **cada tronco de 2m preparamos la cama de un frutal.** El tiempo medio empleado para transportar y colocar los troncos es de **0.1 h (6 minutos)**, aunque varía

con la distancia del frutal a la pila de troncos. El resto de los cálculos referentes al agujero para el frutal se dan en la ficha correspondiente.

- **En el huerto**, cavar el surco donde se pondrán los troncos para hacer la cama de madera requiere varias actividades. Consideramos los valores para 100 m lineales de surco. Primero un trabajador pasa dos veces haciendo la zanja con una **motozanjadora alquilada** (250 €/día), va caminando con velocidad normal de andar (5-6 km/h, 1 km cada 10 min), es decir tarda un minuto en recorrer los 100m. Después se llevan los troncos de media 50 m en la línea de 100m, y se colocan 3-4 troncos estándar de 2 m de longitud cada 2 m. Esto hace unos **200 viajes en una distancia media de 50m** (10000 m en total), que en tiempo son unos 100 minutos. Finalmente se tarda medio minuto en tapar los troncos de cada 2 m, es decir en total 25 minutos en tapar toda la línea.

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la producción y aplicación de camas de madera

Los **puntos clave** que debemos considerar en la producción y aplicación de camas de madera son los siguientes:

- En el caso de la **plantación de los frutales**, el cálculo depende de que el terreno sea más o menos pedregoso y por tanto se tarde más o menos en hacer los agujeros.

- Los cálculos de los frutales y el huerto se basan en que los troncos están cortados y cerca de los agujeros. Su transporte puede ser un coste importante.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los costes globales de la aplicación de camas de madera en fincas agrícolas. **Los cálculos de obtención están basados en 1 m³ de troncos**. El coste de aplicación depende de que se aplique en frutales (1, datos por frutal) o en el huerto (2, datos por 10 m lineales de surco). El coste global es la suma de los dos costes una vez corregida la cantidad requerida en cada caso:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{obtención}} + C_{\text{colocación}}$$

Obtención del material de base de las camas de madera (por 1 m³):

$C_{\text{obtención}} = 1 \text{ m}^3 \text{ troncos} \times 60 \text{ €/m}^3 \text{ leña}$ (precio de la leña que no se vende para hacer las camas de madera)

Transporte y colocación de las camas de madera, suma de dos costes:

$C_{\text{transporte}} = 0.33 \text{ h} \times \text{Sueldo}/(\text{h} \text{ y trabajador}) \times 2 \text{ trabajadores} \times 2 \text{ (carga y descarga de troncos)} + N \text{ h} \times \text{Sueldo}/(\text{h} \text{ y trabajador}) \times 2 \text{ trabajadores}$ (transporte, variable según la distancia a la zona de corta)

$C_{\text{colocación (frutales)}} = 0.1 \text{ h/frutal} \times \text{Sueldo}/\text{h}$ (por frutal)

$C_{\text{colocación (huerto)}} = 100\text{m} \times 0.03 \text{ h}/100 \text{ m} \times \text{Sueldo}/\text{h}$ (hacer la zanja de 100 m) + 2 h x Sueldo/h (colocar y tapar los troncos) + 2 h (aproximadamente) x 250 €/24h (alquiler motozanjadora)

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Coste de los troncos para leña	€/m ³ leña	60	Es un precio totalmente orientativo, depende del lugar y de la especie, con un rango de 50-80 €/m ³
Tiempo en cargar el remolque de troncos	h/2 trabajadores	0.33	Puede depender de la distancia a la que estén las pilas de troncos
Tiempo de traslado de los troncos del bosque al campo	h	-	Depende de la distancia
Tiempo de transporte, corta y colocación de los troncos en un agujero de frutal	h	0.1	Es muy rápido, pero hay que transportar los troncos hasta el agujero
Alquiler motozanjadora para hacer surcos en el huerto	€/día	250	El precio puede depender de la oferta concreta de la zona
Tiempo de cavar un surco en el huerto (línea de 100m)	min	2	Es el tiempo de recorrer caminando 100 m dos veces (dos pasadas)
Tiempo de colocar los troncos y taparlos en el huerto (línea de 100 m)	h	2	Hay un tiempo en transportar los troncos (100 min) y otro en tapar la zanja (25 min) en los 100 m considerados. Son valores orientativos

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción y aplicación de camas de madera, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la producción y aplicación de abono orgánico tipo Bocashi

La producción y aplicación de abono orgánico tipo Bocashi tiene principalmente tres tipos de costes: (1) costes de los ingredientes para la producción del abono orgánico tipo Bocashi, que son hasta diez diferentes; (2) costes de producción del abono orgánico tipo Bocashi, que incluye el tiempo de volteo de toda la masa primero con la pala y luego con el motocultor hasta mezclarla; y (3) costes de aplicación del abono orgánico tipo Bocashi sobre el terreno, que incluye el tiempo dedicado a aplicarlo en los cultivos.

■ Cuantificación de los costes de la producción y aplicación de abono orgánico tipo Bocashi

La cuantificación de lo que representa la producción y aplicación del abono orgánico tipo Bocashi (**Figura 1**) en fincas agrícolas se basa en calcular tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de los ingredientes para la producción del abono orgánico tipo Bocashi.
2. Coste de preparación del abono orgánico tipo Bocashi.
3. Coste de aplicación del abono orgánico tipo Bocashi sobre el terreno.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**).

1. Coste de los ingredientes para la producción del abono orgánico tipo Bocashi. Los principales ingredientes y cantidades utilizados para elaborar 100 kg de abono orgánico fermentado tipo Bocashi son: **carbón vegetal autoproducido** (13.7 kg, 0 €), **estiércol autoproducido** (27.4 kg, 0 €), **cascarilla de arroz** (27.4 kg, 0.09€/kg), **salvado de arroz** (1.2 kg, 0.2 €/kg), **melaza** (1 l, 0.5 €/l), **humus forestal** (1.2 kg, 0 €), **tierra común** (27.4 kg, 0 €), **harina de rocas**

y **cenizas** (1.2 kg, 0 €) y **agua** (en una cantidad variable con la finalidad de homogeneizar la humedad de todos los ingredientes del abono). Estos valores son orientativos, sólo indican las proporciones entre los diferentes ingredientes.

2. Coste de preparación del abono orgánico tipo Bocashi.

La mezcla de los ingredientes se hace volteando toda la masa con un motocultor hasta mezclarla. Una vez finalizada, se va volteando dos veces al día durante los tres primeros días con una pala (tiempo aproximado 0.5 h cada vez). Después se extiende a unos 30 cm de altura y se voltea con un motocultor una vez al día (10 min cada vez) hasta llegar a los **15 días**, en que el abono orgánico tipo Bocashi está acabado.

3. Coste de aplicación del abono orgánico tipo Bocashi sobre el terreno.

Este coste incluye el tiempo dedicado a aplicarlo en los cultivos. Justo antes del transplante, en la base del agujero donde se colocará cada planta se pone una cantidad entre **50 y 100 g de abono tipo Bocashi** (según las necesidades del cultivo) y se cubre con tierra antes de poner la plántula. El tiempo dedicado a hacer esta acción puede ser de **medio minuto por planta**, incluyendo todo el proceso.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los **costes globales de la producción y aplicación de abono orgánico tipo Bocashi** en terrenos agrícolas. El coste global es la suma de tres costes:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{ingredientes}} + C_{\text{producción}} + C_{\text{aplicación}}$$

Ingredientes para elaborar abono orgánico tipo Bocashi (para producir 100 kg de abono):

$$C_{\text{ingredientes}} = 13.7 \text{ kg} \times 0 \text{ €/kg (carbón vegetal)} + 27.4 \text{ kg} \times 0 \text{ €/kg (estiércol)} + 27.4 \text{ kg} \times 0.09 \text{ €/kg (cascarilla de arroz)} \\ + 1.2 \text{ kg} \times 0.2 \text{ €/kg (salvado de arroz)} + 1 \text{ l} \times 0.5 \text{ €/l (melaza)} + 1.2 \text{ kg} \times 0 \text{ €/kg (humus)} + 27.4 \text{ kg} \times 0 \text{ €/kg (tierra)} \\ + 1.2 \text{ kg} \times 0 \text{ €/kg (harina de rocas y cenizas)}$$

Producción de abono orgánico tipo Bocashi:

$$C_{\text{producción}} = 0.5 \text{ h/volteo} \times 6 \text{ volteos} \times \text{Sueldo/h (volteo de la mezcla con pala tres primeros días)} + 0.15 \text{ h/volteo} \times 12 \\ \text{ volteos} \times \text{Sueldo/h (volteo de la mezcla con motocultor hasta el día 15)}$$

Aplicación de abono orgánico tipo Bocashi:

$$C_{\text{aplicación}} = 0.83 \text{ h} \times \text{Sueldo/h (medio min por planta, aplicación para 100 plantas)}$$



Figura 1. Abono orgánico tipo Bocashi. Foto: Marc Gràcia.

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la producción y aplicación de abono orgánico tipo Bocashi

Los puntos clave que debemos considerar en la producción y aplicación de abono tipo Bocashi son los siguientes:

- Una de las principales ventajas de los abonos tipo Bocashi es que los **materiales** con los que se elaboran son **ampliamente conocidos por los productores**, fáciles de conseguir a nivel local y con un coste muy bajo.
- Hay muchos tipos de abonos orgánicos y, dentro del tipo Bocashi, los ingredientes y la cantidad de cada uno puede variar considerablemente.
- El abono orgánico tipo Bocashi se puede aplicar en el fondo de cada agujero, pero también en los surcos de los cultivos.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Cantidad de carbón vegetal para producir abono tipo Bocashi	kg/100 kg	13.7	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de estiércol para producir abono tipo Bocashi	kg/100 kg	27.4	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de cascarilla de arroz para producir abono tipo Bocashi	kg/100 kg	27.4	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de salvado de arroz para producir abono tipo Bocashi	kg/100 kg	1.2	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de melaza para producir abono tipo Bocashi	l/100 kg	1	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de humus forestal para producir abono tipo Bocashi	kg/100 kg	1.2	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de tierra común para producir abono tipo Bocashi	kg/100 kg	27.4	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de harina de rocas para producir abono tipo Bocashi	kg/100 kg	1.2	Hay muchas maneras e ingredientes para preparar Bocashi.
Cantidad de agua para producir abono tipo Bocashi	l/100 kg	variable	Cantidad variable para homogeneizar la mezcla final
Tiempo para voltear la mezcla con la pala	h	0.5	Se ha de hacer dos veces al día durante los primeros tres días
Tiempo para voltear la mezcla con un moticultor	h	0.15	Se hace una vez al día hasta el día 15
Tiempo para colocar el abono tipo Bocashi en el agujero de plantación	h/100 plántulas	0.3	0.2-0.4

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción y aplicación de abono tipo Bocashi, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la producción y aplicación de biofertilizantes

La producción y aplicación de biofertilizantes tiene principalmente tres tipos de costes: (1) costes de obtención de los microorganismos de montaña como base del biofertilizante, que se obtienen a partir del humus del bosque y se producen en recipientes cerrados; (2) costes de producción del biofertilizante, que se obtiene a partir de estos microorganismos de montaña en un recipiente cerrado; y (3) costes de aplicación del biofertilizante sobre el terreno, que se puede hacer por vía foliar o a través del riego.

■ Cuantificación de los costes de la producción y aplicación de biofertilizantes

La cuantificación de lo que representa la producción y aplicación de biofertilizantes en fincas agrícolas (**Figura 1**) se basa en calcular tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de obtención de microorganismos de montaña como base del biofertilizante.
2. Coste de producción del biofertilizante.
3. Coste de aplicación del biofertilizante sobre el terreno.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**).

1. Coste de obtención de microorganismos de montaña como base del biofertilizante. Este coste incluye el tiempo de recogida de la muestra de humus que se utilizará como materia prima para los microorganismos del bosque, los materiales necesarios para conseguir la mezcla, y el tiempo dedicado a conseguir la mezcla homogénea. En Polyfarming estos microorganismos de montaña se producen en recipientes de 200 l y todos los cálculos posteriores se refieren a producir un recipiente completo.

- Para producir un recipiente de microorganismos de montaña como el descrito, se necesitan unos **120 l de humus del suelo del bosque** (algo más de la mitad porque luego se compacta). Se puede estimar en **0.5 h de trabajo** de una persona el tiempo dedicado a recoger la muestra de humus del suelo del bosque. El bosque debe estar cerca de la finca, porque si no hay que contar el tiempo de ir a buscar y transportar la muestra de humus.

- Además del humus, que en principio no tiene coste, para la producción de la mezcla que llene el recipiente utilizado (de 200 l) hace falta una cantidad similar de **salvado de arroz (120 l, que equivalen a unos 28 kg, a 0.2-0.3 €/kg)** y **10-20 l de melaza** como fuente de energía (a 0.5 €/l).

- Estos tres ingredientes (en ocasiones se añade agua) se combinan hasta conseguir una **mezcla homogénea**. El tiempo requerido en conseguirla y rellenar con ella todo el recipiente es de **2 h de trabajo** de dos personas. Al cabo de un mes de cerrarlo herméticamente, se obtiene el producto.

2. Coste de producción del biofertilizante. En el caso que describimos, el biofertilizante se obtiene a partir de los microorganismos de montaña. Los costes de producirlo incluyen los bidones en los que se producen, los restantes ingredientes necesarios y el tiempo de preparación del biofertilizante.



Figura 1. Aplicando biofertilizantes en la granja Planeses. Foto: Ángela Justamante.

- Los biofertilizantes se producen en **bidones de plástico** de 200 litros de capacidad, con una manguera acoplada a una válvula con el extremo dentro de una botella llena con agua, para evacuar los gases que se forman. El coste de cada una de estas estructuras es de **60-70 € si son nuevos** y unos **10-15 € si son reciclados**.

- Para completar el contenido de un bidón hace falta una bolsa de malla donde se introduce una muestra de **40 kg de microorganismos de montaña** y los siguientes ingredientes: 20 l de suero de leche de vaca, que en nuestro caso es autoproducido (si no es así, se puede obtener gratis en una quesería), **4 l de melaza (0.5 €/l)**, **4 kg de harina de rocas** (se obtiene gratis en una pedrera), 4 kg de cenizas (obtenidas de una estufa de leña) y **180 l de agua**.

- El **tiempo de mezclar** todos los ingredientes y obtener una mezcla homogénea, y el de **envasado** del contenido del bidón en recipientes cerrados, es de **0.25 h** por cada bidón de 200 l.

3. Coste de aplicación del biofertilizante sobre el terreno. Este coste incluye el tiempo dedicado a aplicarlo en los cultivos, que se puede hacer vía foliar o a través del riego.

- La **aplicación del biofertilizante vía foliar** se realiza pulverizando con mochila llena hasta 20 l (si no, pesa demasiado), que, si el huerto es grande, debe ser con motor. Nosotros hemos estimado que con la mochila se puede aplicar biofertilizante a una velocidad de **1 ha/h**, contando una **velocidad de 6km/h** (una persona andando) y una **anchura de 1.5-1.6 m**. A esto se debería añadir que cada vez que se vacía la mochila hay que rellenarla (20 minutos en total cada vez).

- La aplicación del biofertilizante a través del riego es muy rápida, simplemente hace falta una bomba que lo inyecte en la tubería del agua de riego.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los **costes globales de la producción y aplicación de biofertilizantes** en terrenos agrícolas. Estos cálculos están basados en el contenido de un bidón de 200 l. **El coste global es la suma de tres costes:**

$$C_{\text{total}} = C_{\text{obtención}} + C_{\text{producción}} + C_{\text{aplicación}}$$

Obtención de microorganismos de montaña como base del biofertilizante (para un recipiente de 200 l):

$$C_{\text{obtención}} = 0.5 \text{ h} \times \text{Sueldo/h (recogida de 120 l de humus)} + 28 \text{ kg} \times 0.2 \text{ €/kg (salvado de arroz)} + 15 \text{ l} \times 0.5 \text{ €/l (melaza)} + 2 \text{ h/trabajador} \times 2 \text{ trabajadores} \times \text{Sueldo/h (preparación de la mezcla)}$$

Producción del biofertilizante (por bidón de 200 l):

$$C_{\text{producción}} = 15 \text{ € (bidón reutilizado)} + 20 \text{ l} \times 0 \text{ €/l (suero de vaca)} + 4 \text{ l} \times 0.5 \text{ €/l (melaza)} + 4 \text{ kg} \times 0 \text{ €/kg (harina de rocas)} + 4 \text{ kg} \times 0 \text{ €/kg (cenizas)} + 0.25 \text{ h} \times \text{Sueldo/h (preparación de la mezcla y envasado)}$$

Aplicación del biofertilizante (en una ha de cultivos), puede ser de dos maneras:

$$C_{\text{aplicación (vía foliar)}} = 1 \text{ h / ha} \times \text{Sueldo/h (aplicación vía foliar con una mochila llena hasta 20 l)}$$

$$C_{\text{aplicación (riego)}} = 0.25 \text{ h} \times \text{Sueldo/hora (aplicación a través de riego)}$$

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la producción y aplicación de biofertilizantes

Los puntos clave que debemos considerar en la producción y aplicación de biofertilizantes son los siguientes:

- Hay **muchos tipos de biofertilizantes**, de manera que los costes y las técnicas pueden variar según el biofertilizante producido.
- En general el punto clave de los biofertilizantes es que los pro-

ducen los propios agricultores con unos **costes muy bajos** y a **partir de materiales del entorno** o de precio muy reducido.

- Hay diferencias muy importantes en el modo de aplicación y la cantidad total de biofertilizantes a aplicar, y en general la información encontrada sobre su impacto en los cultivos no es muy amplia.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Cantidad de humus del suelo para producir microorganismos de montaña	l/bidón 200l	120	Puede ser algo más, ya que se compacta bastante.
Tiempo para recoger el humus del suelo	h	0.5	Depende la distancia a la que esté el bosque
Cantidad de salvado de arroz para producir microorganismos de montaña	l/bidón 200l	120	Igual que en caso del humus, al compactarse cabe más
Cantidad de melaza para producir microorganismos de montaña	l/bidón 200l	15	Puede oscilar entre 10 y 20
Tiempo para conseguir la mezcla homogénea del recipiente	h/2 trabajadores	2	2-3 de rango si no tienen suficiente experiencia
Coste del bidón preparado para producir biofertilizante	€/bidón 200l	15	Este el precio del bidón reutilizado, si es nuevo puede valer 60-70€
Cantidad de microorganismos para producir biofertilizante	kg/bidón 200l	40	-
Cantidad de suero de leche de vaca para producir biofertilizante	l/bidón 200l	20	Puede usarse leche
Cantidad de melaza para producir biofertilizante	l/bidón 200l	4	-
Cantidad de harina de rocas para producir biofertilizante	kg/bidón 200l	4	-
Cantidad de cenizas para producir biofertilizante	kg/bidón 200l	4	-
Cantidad de agua para producir biofertilizante	l/bidón 200l	180	Ha de ser agua sin cloro
Tiempo de producción del fertilizante	h/bidón	0.25	-
Velocidad de aplicar fertilizante pulverizando con una mochila	ha/h	1	Es un cálculo totalmente estimado que puede variar considerablemente según los aplicadores y las condiciones de la aplicación
Tiempo para aplicar biofertilizante en el riego	h	0.25	Se tarda muy poco, sólo la conexión de una bomba para que lo inyecte en el agua de riego.

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción y aplicación de biofertilizantes, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.





Rendimientos de las diferentes actividades

Costes de las actividades relacionadas con el ganado en pasto

- Costes y puntos clave de la puesta a punto del pasto
- Costes y puntos clave de la cría de pollitos y conejos jóvenes
- Costes y puntos clave en la gestión de pollos en pasto
- Costes y puntos clave en la gestión de conejos en pasto
- Costes y puntos clave en la gestión de vacas en pasto

Costes y puntos clave de la puesta a punto del pasto

La puesta a punto del pasto tiene principalmente tres tipos de costes: (1) costes de adecuación del terreno y eliminación de la vegetación presente, que incluye el tiempo de eliminación de restos y de la vegetación previa; (2) costes de siembra del pasto, que incluyen el precio de la semilla y el tiempo de realizar la siembra con la sembradora de siembra directa o, si no es posible, a voleo; y (3) costes del riego y otras actividades posteriores a la siembra, que incluyen el riego si es posible, la resiembra si es necesaria, y la eliminación de los rebrotes de árboles y arbustos de la zona.

■ Cuantificación de los costes de la puesta a punto del pasto

La cuantificación de lo que representa la puesta a punto del pasto (**Figura 1**) se basa en calcular diferentes costes:

1. Coste de adecuación del terreno y eliminación de la vegetación presente.
2. Coste de siembra del pasto.
3. Coste del riego y otras actividades posteriores a la siembra.

A continuación, se describen las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**). No se incluye el coste del ganado que pastará en el prado, ya que es de otro elemento diferente de Polyfarming.

1. Coste de la adecuación del terreno y eliminación de la vegetación presente.

Este coste incluye dos componentes:

- El coste de adecuación del terreno se hace muy difícil de evaluar, pues depende completamente de la situación de partida, de la cantidad de piedras, troncos y otros restos que se han de eliminar. **No se puede dar un valor medio porque puede variar** según la situación inicial: que sea un antiguo campo de cultivo, que sean antiguos bancales ocupados por bosque (en cuyo caso hay que eliminar los árboles y los tocones, porque si están no se puede sembrar con sembradora de siembra directa) o que sea una zona degradada.

- En el **caso de la vegetación también depende del estado previo**, en la ficha tenemos en cuenta una cobertura más o menos completa de estrato herbáceo o arbustivo pequeño. Si la finca dispone de ganado para pastorear esa vegetación entonces se puede considerar un coste 0. Si no está disponible hay que eliminarla con una desbrozadora de martillos forestal, que tiene una velocidad aproximada de 0.6 km/h (rendimiento de unas 8 h/ha). Se puede estimar el coste de alquilarla en 80€/h.

2. Coste de siembra del pasto.

El primer coste que se ha de considerar es el precio de las semillas, que puede variar considerablemente según lo que se siembre. Se han de contar unos 20-40 kg/ha y un precio por kg de 5 €/kg. En conjunto se puede estimar en **100-200 € de semilla por ha**. La manera de sembrar puede ser de dos maneras:

- Siempre que sea posible, la siembra debe hacerse con una sembradora de siembra directa. Si no está disponible en la instalación, se puede alquilar, estimándose un coste



Figura 1. Pasto en Planeses, donde se lleva a cabo Polyfarming. Foto: MJ Broncano.

aproximado de 350 €/día. Dado este precio, sólo se justifica si se tiene una gran superficie a sembrar.

- En caso de que no sea posible, la siembra debe ser a voleo. Este tipo de siembra requiere aproximadamente 3-4 h de trabajo de una persona por ha.

3. Coste del riego y otras actividades posteriores a la siembra.

Los costes posteriores a la siembra dependen de la situación que se cree después de la misma, son tres posibles costes que se deberían considerar:

- Si no llueve suficiente durante los primeros días, siempre que sea posible y se vaya a hacer un prado de riego, es conveniente tener **preparado un sistema para regar la superficie del futuro pasto**. Por tanto, se debe contar con el coste del sistema para regar la superficie del pasto. Este sistema incluye unos 75-100 m de tubería principal por ha (precio alrededor de 1.5 €/m), unos 400-450 m de tubería más pequeña por ha (0.5 €/m) y un aspersor en cada parcela de 1000 m², es decir unos 10 aspersores por ha (10-12 €/aspersor). Esto da un coste de alrededor 500 €/ha.

- Si el **resultado de la siembra tiene una cobertura muy baja** es necesario volver a sembrar, especialmente en las zonas donde hay parches sin vegetación. Es difícil estimar este coste porque depende de cómo está el pasto, pero **se puede hacer una estimación orientativa** de la mitad del tiempo y de cantidad de semillas respecto a la primera siembra.

- El **coste de eliminar los rebrotes de las cepas de árboles y arbustos** que han rebrotado en la zona después del desbroce inicial tampoco es fácil de estimar, porque depende de la cantidad de cepas de árboles y arbustos que había. Se hace con **desbrozadora manual** y se puede estimar, como máximo, en **una hora por parcela de 1000 m**, es decir 10h/ha.

Una vez el pasto se ha instalado, el **coste de mantenerlo se puede considerar 0**, ya que la propia actividad de movimiento de los animales permite conservar el pasto sin coste adicional.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los costes globales de la puesta a punto de un pasto en un terreno agrario. El coste global es la suma de tres costes:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{adecuación}} + C_{\text{siembra}} + C_{\text{postsiembra}}$$

Adecuación del terreno, suma de dos costes:

C_{terreno} = muy variable

$C_{\text{vegetación (1)}}$ = 0 (si hace mediante pastoreo del ganado de la finca)

$C_{\text{vegetación (2)}}$ = 1 ha x 8 h/ha x 80 €/h (si se hace con desbrozadora de martillos forestal)

Siembra (por ha), suma de dos costes:

C_{semillas} = 5 kg/ha x 30 €/kg

C_{siembra} = 1 ha x 4 h/ha x Sueldo/h (siembra a voleo)

Post-siembra (por ha), suma de tres costes:

C_{riego} = 100 m x 1.5 €/m (tubería principal) + 400 m x 0.5 €/m (tubería más pequeña) + 10 x 12 €/aspersor (aspersores)

$C_{\text{resiembra}}$ = 1/2 x (1 ha x 4 h/ha x Sueldo/h)

$C_{\text{rebrotadoras}}$ = 1 ha x 10 h/ha x Sueldo/h

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la puesta a punto del pasto

Los puntos clave que debemos considerar en la puesta a punto de un pasto son los siguientes:

- La **situación de partida de la zona** donde va a estar el pasto determina todos los costes posteriores, cuantas menos actuaciones haya que hacer, más rápidamente el pasto será rentable.

- El **coste de las semillas** es totalmente variable dependiendo de las especies, el precio por kg y la cantidad de kg que haya que sembrar. Es necesario hacer un **estudio detallado de la mezcla más adecuada a sembrar en un pasto**, teniendo

en cuenta todos los condicionantes posibles (clima, especies, objetivos de la explotación...).

- Si es posible hacer la **siembra con una sembradora de siembra directa, es recomendable**, aunque el coste sea mayor, ya que el proceso está mucho más controlado. Con la siembra a voleo, si no llueve o vienen bandadas de pájaros, se produce una emergencia muy pequeña y hay que volver a sembrar.

- El **riego tiene un coste importante**, pero si hay agua cerca, asegura que la producción del pasto sea mucho mayor.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Tiempo de adecuación del terreno	h/ha	muy variable	Es totalmente variable, pero determina completamente los costes de poner el pasto a punto
Rendimiento para desbrozar la vegetación previa con una desbrozadora de martillos	h/ha	8	Depende de nuevo de la situación de partida. Varía también considerablemente con los modelos de desbrozadora
Coste de alquiler de una desbrozadora de martillos forestal	€/h	80	Depende de la oferta de la zona
Coste de las semillas para la siembra	€/ha	100	Oscila entre 100 y 200 €/ha.
Coste de la sembradora	€/día	350	Es un coste muy elevado que sólo está justificado si la superficie es grande
Tiempo de la siembra a voleo	h/ha	4	Puede oscilar entre 3 y 5 según la destreza de los trabajadores
Sistema de riego incluyendo tubos y aspersores	€/ha	500	Puede variar ligeramente según los modelos de tubos o aspersores
Tiempo de la resiembra	h/ha	2	Estimado en mitad del tiempo de la siembra
Tiempo para eliminar los rebrotes de arbustos y árboles	h/ha	10	También puede ser variable según la cantidad de especies rebrotadoras en la zona

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la puesta a punto de un pasto, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la cría de pollitos y conejos jóvenes

La cría de pollitos tiene principalmente dos tipos de costes: (1) costes de las estructuras de cría, que incluyen el cajón con el patio exterior, las lámparas de infrarrojos, los comederos y los bebederos; y (2) costes del cuidado diario, que incluyen la alimentación y la limpieza. La cría de conejos jóvenes también tiene principalmente dos tipos de costes: (1) costes de instalación de las jaulas, tanto para los machos como para las hembras; y (2) costes de reproducción y cría, que incluyen el apareamiento y el cuidado de los gazapos desde que nacen hasta que pasan al pasto.

■ Cuantificación de los costes de la cría de los pollitos

La cuantificación de lo que representa la instalación y cría de los pollitos (**Figura 1**) hasta que se trasladan al pasto se basa en calcular dos tipos de costes diferentes:

1. Coste de las estructuras de cría.
2. Coste del cuidado diario de los pollitos.

A continuación, describiremos las alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**).

1. Coste de las estructuras de cría. Cada estructura de cría consta de **un cajón grande** donde se puede controlar la temperatura, que se autoconstruye con panel sándwich aislante reciclado, y un patio delantero delimitado con malla de gallinero por todos los lados (incluido el techo). Además, debe haber **dos lámparas de infrarrojos (25 €** por cada una, incluyendo la instalación), **dos comederos (12 €** cada uno) y **los bebederos (8 €** uno inicial para cuando son pequeños, y **23 €** el bebedero de campana que se coloca luego en el patio cuando son más grandes).

2. Coste de alimentación y cuidado diario de los pollitos. Los costes del funcionamiento diario de la cría de pollitos incluyen el **pienso** para la alimentación de los pollos **durante los 30 días que pasan antes de trasladarlos al pasto**, y el



Figura 1. Estructura de cría de pollitos en la granja Planeses. Foto: Marc Gracia

personal para alimentarlos y mantener la estructura limpia.

- Los pollitos se alimentan durante 30 días con una cantidad mensual de 0.75 kg por pollito de pienso con un coste de **0.32-0.36€/kg**. Otros materiales utilizados como el biochar, el vinagre de manzana, el ajo fermentado y la paja para la cama tienen un gasto muy reducido o son productos generados directamente en la granja sin coste adicional.
- A esto se debe añadir el **tiempo dedicado por un trabajador** para alimentar y limpiar las jaulas de los pollitos (alrededor de **0.25 h** por día y por jaula, en total **2-3 días por semana**).

■ Cuantificación de los costes de la cría de los conejos jóvenes

La cuantificación de lo que representa la instalación y cría de los conejos jóvenes hasta que se trasladan al pasto se basa en calcular tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de instalación de las jaulas.
2. Coste de la reproducción y cría de los conejos jóvenes.

A continuación, describiremos las alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**).

1. Coste de la instalación de las jaulas. Este coste incluye el coste de jaulas individuales para machos y hembras. Las jaulas que hemos utilizado son jaulas comerciales metálicas de alambre galvanizado, que tienen un precio de mercado (**50 € por jaula**) pero que también se pueden conseguir de segunda mano a un precio más económico. Las **jaulas de los machos** son jaulas cilíndricas para que no escape la hembra, y tienen un coste aproximado de **90€ por jaula**.

2. Coste de la reproducción y cría de los conejos jóvenes. La producción de conejos jóvenes incluye la reproducción

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los **costes globales de la cría de pollitos antes de trasladarlos al pasto**. Estos cálculos están basados en criar un lote de 200 pollitos. El **coste global es la suma de dos costes**:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{estructura}} + C_{\text{funcionamiento}}$$

Instalación de una estructura de cría:

$$C_{\text{estructura}} = 2 \times 25 \text{ € (lámparas infrarrojas)} + 2 \times 12 \text{ € (comederos)} + (8+23) \text{ € (bebederos)} + \text{cajón y patio (autoconstruidos)}$$

Funcionamiento diario, suma de dos costes (por lote de 100 pollitos):

$$C_{\text{alimentación}} = 1 \text{ mes} \times 0.75 \text{ kg pienso/(mes y pollito)} \times 0.34 \text{ €/kg} \times 100 \text{ pollitos} + 0.25 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h} \times 30 \text{ días}$$

$$C_{\text{limpieza}} = 0.25 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h (3 días por semana)}$$

de los conejos adultos y la alimentación y cuidado de los conejos jóvenes durante los 30 días hasta que están en disposición de trasladarse al pasto.

- La reproducción de los conejos requiere tener a **macho y hembra en jaulas separadas**. El traslado de la hembra a la jaula del macho, el cortejo y la cópula son muy rápidos, y en menos de 0.25 h la hembra está de nuevo en su jaula.
- Las conejas deben alimentarse **durante los 31 días del embarazo y los 30 del destete** con una cantidad mensual de **8 kg de pienso** con un coste aproximado de **0.5 €/kg**. Una cantidad equivalente hace falta para alimentar al macho que realiza la cópula. A esto se debe añadir el tiempo dedicado por un trabajador para alimentar a los conejos y

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los **costes globales de la cría de conejos hasta su traslado al pasto**. Estos cálculos están basados en criar un lote de 10 conejos producidos en un único parto. El **coste global es la suma de dos costes**:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{instalación}} + C_{\text{funcionamiento}}$$

Instalación de infraestructuras, suma de dos costes:

$$C_{\text{jaulas}} = 50 \text{ €/jaula (para la hembra)} + 90 \text{ €/jaula (para el macho)}$$

Funcionamiento (por mes), suma de dos costes:

$$C_{\text{reproducción}} = 0.25 \text{ h} \times \text{Sueldo/h (preparación y cópula)}$$

$$C_{\text{alimentación}} = 8 \text{ kg pienso/mes} \times 2 \text{ meses} \times 0.5 \text{ €/kg (lo mismo para machos que para hembras (alimento))} + 8 \text{ h/(25 jaulas y un mes)} \times \text{Sueldo/h (limpieza y alimentación)}$$

limpiar **las jaulas** (alrededor de **2 h por semana para 25 conejos**). Finalmente, se ha de contar con el **coste de las vacunas** de los 10 gazapos de media que produce cada coneja, que es un coste pequeño en comparación con los otros.

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la cría de pollitos y conejos jóvenes

Los puntos clave que debemos considerar en la cría de pollitos y conejos jóvenes son los siguientes:

Pollitos

- Es conveniente traer los pollitos a la granja con un día de edad, son más baratos que si se compran después y funcionan perfectamente.
- Hay muchas razas de pollos, **en la granja Planeses se trabaja con la raza Broiler**. Hay otras razas que se hacen más grandes o que tienen crecimiento más lento. En estos casos los parámetros que se han dado pueden variar.
- Cuando se trabaja en **espacios más grandes y con mayor número de pollitos**, suele salir más a cuenta **utilizar calefacción a gas** en lugar de las lámparas de infrarrojos.

Conejos jóvenes

- En la cría de conejos jóvenes, un punto clave es **controlar el embarazo y el parto de las conejas**. Se debe tener muy claro cuándo se va a cubrir cada hembra y cuando va a parir. Por ello es imprescindible tener una ficha detallada con toda la información de cada coneja.
- Durante la reproducción, **si el macho no fecunda a la hembra en menos de 5 minutos**, no vale la pena seguir y es **mejor separarlos** cada uno a su jaula.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Cría de pollitos			
Tiempo mantenimiento en la estructura de cría	Día	30	Depende de la época del año, puede ser menos tiempo, 3 semanas en primavera y verano
Cantidad de pienso para alimentar a los pollitos	kg/(mes y pollito)	0.75	-
Precio del pienso de cría pollitos	€/kg	0.34	Hay un rango según las empresas y cooperativas que lo venden
Tiempo en limpiar y alimentar un lote de 100 pollitos	h	0.25	El tiempo puede ser mayor si llueve
Cría de conejos jóvenes			
Coste jaula individual conejo hembra	€/jaula	50	Son jaulas comerciales, hay múltiples modelos en el mercado
Coste jaula individual conejo macho	€/jaula	90	Son jaulas comerciales, pero más grandes y cilíndricas
Tiempo para conseguir el embarazo de la coneja	h/intento	0.25	Se indica el tiempo total desde que se coge en su jaula, pero si no hay cópula en 5 min es mejor separarla otra vez.
Cantidad de pienso para alimentar a la coneja hasta el destete	kg/(mes)	8	Es la misma cantidad para alimentar a la hembra o al macho.
Precio del pienso de cría conejos	€/kg	0.5	Hay un rango según las empresas y cooperativas que lo venden
Tiempo para alimentar a los conejos y limpiar las jaulas	h/mes y 25 jaulas	8	-
Edad a la que se colocan los conejos jóvenes en el pasto	semana	4	No menos, si no son muy pequeños

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción de pollitos y conejos jóvenes, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la producción de pollos en pasto

La producción de pollos en pasto tiene principalmente dos tipos de costes, ya que los costes de puesta a punto de pasto se consideran externos al sistema seguido: (1) costes de instalación de las infraestructuras, que incluyen el vallado exterior permanente, las vallas móviles interiores y los refugios; y (2) costes de funcionamiento diario, que incluyen el tiempo de los trabajadores para el movimiento y alimentación de los animales, el tiempo en desbrozar la parcela antes de que pasen los pollos (solo en primavera), y el precio del pienso de los pollos.

■ Cuantificación de los costes de la producción de pollos en pasto

La cuantificación de lo que implica la producción de pollos en pasto (Figura 1) se basa en tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de puesta a punto del pasto.
2. Coste de instalación de las infraestructuras.
3. Coste de funcionamiento diario del sistema.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (Tabla 1).

1. Coste de la puesta a punto de pasto. Este coste incluye definir una superficie de cría en la que haya o vaya a haber un pasto. El coste de instalar el pasto depende de la superficie de este. Para un lote de **400 pollos en una rotación de 60 días se considera adecuada una superficie aproximada de 0.96 ha**, que corresponden a la superficie por día para los 400 pollos ($160 \cdot 16 \times 10 = m^2$) por 60 días. Por ello, se plantean dos situaciones:

- En el caso de que la explotación de pollos se vaya a realizar en una **zona donde ya haya pasto**, el **coste se puede considerar 0**, ya que la propia actividad de movimiento de los pollos permite mantener el pasto sin coste adicional. Una vez han pasado los pollos, de vez en cuando es conveniente desbrozar para igualar el pasto. En primavera hay que desbrozar incluso antes, porque la gran cantidad de hierba dificulta el movimiento de las jaulas y la circulación de los animales por la parcela.
- En caso de que no haya un pasto en la zona elegida para la explotación, hay que contar con costes derivados de su puesta a punto. Estos costes se pueden encontrar en la ficha correspondiente a la puesta a punto de un pasto. En cualquier caso, **para los pollos en concreto no hace falta un gran pasto para iniciar su producción**, porque no dependen excesivamente de la hierba para su alimentación y con su presencia acaban mejorando el propio pasto.

2. Coste de la instalación de las infraestructuras. Este coste incluye el vallado exterior de toda la zona del pasto, las vallas interiores para ir separando las parcelas diarias, y los refugios móviles. Los costes de estas infraestructuras son los siguientes:

- El **vallado exterior permanente es de aproximadamente 650 m para la superficie calculada para 400 pollos**. Esto puede variar con la forma de la parcela utilizada. Como en la



Figura 1. Pollos en pasto, finca Planeses. Foto: Ángela Justamante.

finca hay perros protegiendo de los depredadores, se hace con **malla cinégetica** (3 €/m). En caso contrario, se debería buscar una malla más resistente (como la malla de torsión simple), que también tiene un coste mayor. Por su parte, las vallas móviles interiores que van delimitando las parcelas diarias son de fabricación propia. En total hay 10 unidades de 3×0.9 m, cada una con un coste aproximado de 15€.

- Un **refugio** consta de una estructura de hierro sin suelo (3×4 m) con una estructura elevada y con ruedas para poderlos mover a mano cada día, encima tiene un techo de lona con caña que proteja del agua y del sol. El **precio** de cada refugio de este tipo es de **200 €**.

3. Coste de funcionamiento diario del sistema. El funcionamiento diario de todo el sistema de cría de pollos incluye el **movimiento diario de los animales en los pasillos establecidos en el pasto**, y la **alimentación** de los pollos durante el total de **60 días hasta que** crecen y están en disposición de venderse. Se parte de pollos de cuatro semanas de vida que han sido criados en la finca desde pollitos de 1 día (ver la ficha de 'Costes y puntos clave de la cría de pollitos y conejos jóvenes').

- El movimiento de los animales incluye el **desplazamiento de las vallas móviles, refugio, comederos y bebederos**. Esto representa un total de 1 h por día de un trabajador de la explotación durante los 60 días en los que se mantiene el crecimiento de los pollos.
- En **primavera** la hierba crece mucho y se hace muy alta. En esta época hay que considerar otro **coste**: el **tiempo en desbrozar la parcela**, que es de 0.5 h de un trabajador por parcela. En otras épocas este coste no existe.
- El **pasto representa aproximadamente el 30-40% de la dieta de los pollos**. El resto debe ser aportado en forma de pienso. Se calcula aproximadamente 7 kg de pienso por pollo para el total de los **60 días de crecimiento**. El **precio del pienso puede variar, pero** el ecológico está alrededor de 0.58€/kg. El tiempo dedicado por un trabajador para alimentar a los pollos se incluye con el del movimiento.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los **costes globales de la producción de pollos en pasto en terrenos agrícolas**. Estos cálculos están basados en criar un lote de 400 pollos. El coste global es la suma de dos costes, ya que el tercero, el de la puesta a punto del pasto, se considera en la ficha correspondiente:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{infraestructuras}} + C_{\text{funcionamiento}}$$

Instalación de infraestructuras, suma de dos costes (por parcela donde está un lote de 400 pollos):

$$C_{\text{refugio}} = 200 \text{ € / refugio}$$

$$C_{\text{vallas}} = 650 \text{ m} \times 3 \text{ €/m (valla exterior)} + 10 \text{ unidades} \times 15\text{€/unidad (vallas móviles)}$$

Funcionamiento diario, suma de tres costes (por cada lote de 400 pollos):

$$C_{\text{movimiento/alimentación}} = 1 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h (de un lote)}$$

$$C_{\text{desbroce}} = 0.5 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h (por parcela, solo en primavera)}$$

$$C_{\text{pienso}} = 400 \text{ pollos} \times 7 \text{ kg pienso/(2 meses y pollo)} \times 1 \text{ mes} / 30 \text{ día} \times 0.58 \text{ €/kg}$$

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la producción de pollos en pasto

Los **puntos clave** que debemos considerar en la producción de pollos en pasto son los siguientes:

- Tal como se ha dicho, **estos costes no incluyen la preparación del terreno** para el pasto, que es un coste importante cuando se inicia un proyecto. Los detalles de estos costes están en la ficha correspondiente al pasto.
- La **superficie de pasto por pollo** está condicionada por el tamaño de los animales. Si se quieren pollos más grandes el número de pollos por lote sería menor y la superficie de pasto por pollo aumentaría.
- Cuando se deja que los pollos se hagan más grandes, sus **excrementos ensucian más el pasto** y se necesita **más tiempo**

para volver a la misma parcela.

- Los datos que se dan en la ficha se refieren a la **raza Broiler**, que es una raza que crece muy rápido, pero que **no tiene un tamaño muy grande**. Si se utilizan razas de pollos más grandes, necesitarán más espacio en el pasto.
- El vallado propuesto es sencillo porque **en Planeses hay perros y no hace falta un sistema de vallado más protegido**, que también es más caro.
- En esta ficha no se ha considerado el coste de tener el pollito desde un día de edad (cuando llega a la finca) hasta que tiene cuatro semanas y pasa al pasto, ya que está contemplado en la ficha de 'Costes y puntos clave de la cría de pollitos y conejos jóvenes'.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Superficie de pasto por pollo	m ² /pollo y día	0.4	Puede ser menor. Salatin da un valor de 0.2 (70 pollos en 12 m ²)
Rotación	día	60	Puede ser más corta (hasta 40 días), dependiendo de si la densidad de pollos es menor
Desbroce de la parcela	h/parcela	0.5	En primavera cuando la hierba es muy alta se tarda un tiempo en desbrozar la parcela. En otras épocas es 0.
Coste refugio pollos	€/refugio	200	Estos son autoconstruidos con estructura de tubo galvanizado. Se pueden hacer de madera, que serían algo más baratos
Coste vallado exterior con malla cinética (incluye malla y postes)	€/m	3	Es una valla hecha con malla cinética porque hay perros. Si no hay perros el tipo de valla debe ser más resistente (p.e. malla simple de torsión) y puede aumentar hasta 8-10 €/m
Coste vallas móviles 3x0.9m	€/valla	15	Las vallas son autoconstruidas con estructura de tubo galvanizado y malla de gallinero.
Tiempo en desplazar la parcela	h	1	Si llueve el tiempo es un poco mayor. En primavera, cuando hay ataque de cuervos a los pollos pequeños, hay que poner una protección aérea, 0.5 h más
Edad a la que se colocan los pollos en el pasto	semanas	4	Algunos ganaderos colocan los pollos a las 3 semanas
Cantidad de pienso para alimentar a los pollos	kg pienso/ (2 meses y pollo)	7	Se da la cantidad total de pienso que necesita un pollo de peso medio (2kg) durante los dos meses que está en el pasto. No todos las estaciones comen lo mismo, en invierno hay más consumo que en verano
Número de días de crecimiento de los pollos en el pasto	día	60	Varía ligeramente entre verano e invierno, tardan un poco más en invierno

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción de pollos en pasto, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la producción de conejos en pasto

La producción de conejos en pasto tiene principalmente dos tipos de costes, ya que los costes de la puesta a punto de pasto se consideran externos al sistema seguido: (1) costes de instalación de las infraestructuras, que incluyen el vallado exterior permanente, las vallas móviles interiores y los refugios; y (2) costes de funcionamiento diario, que incluyen el tiempo de los trabajadores para el movimiento de los animales en el pasto, y el tiempo en desbrozar la parcela antes de que pasen los conejos (sólo en primavera).

■ Cuantificación de los costes de la producción de conejos en pasto

La cuantificación de lo que representa la producción de conejos en pasto (**Figura 1**) en fincas agrícolas se basa en calcular tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de puesta a punto del pasto.
2. Coste de instalación de las infraestructuras.
3. Coste de mantenimiento diario del sistema.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**).

1. Coste de la puesta a punto del pasto. Este coste incluye definir una superficie de cría en la que haya o vaya a haber un pasto. El coste de instalar el pasto depende de la superficie del mismo. Para 80 conejos, 160m² en una rotación de 60 días se considera adecuada una superficie aproximada de 0.96 ha, que corresponden a la **superficie por día para los 80 conejos** (160 -16x10- m²) **por 60 días**. Por ello se plantean dos situaciones:

- En el caso de que la explotación de conejos se vaya a realizar en una **zona donde ya haya pasto**, el **coste se puede considerar 0**, ya que la propia actividad de movimiento de los conejos permite mantener el pasto sin coste adicional.
- En caso de que no haya un pasto en la zona elegida para la explotación, hay que contar con costes derivados de su puesta a punto. Estos costes se pueden encontrar en la ficha correspondiente a la puesta a punto de un pasto (ver ficha 'Costes y puntos clave de la puesta a punto de un pasto').

2. Coste de la instalación de las infraestructuras. Este coste incluye el vallado exterior de toda la zona del pasto, las vallas interiores para ir separando las parcelas diarias, y los refugios móviles. Los costes de estas infraestructuras son los siguientes:

- El vallado exterior permanente es de aproximadamente **650 m para la superficie calculada para 40 conejos**, aunque varía con la forma de la parcela. Esta valla se hace con **malla cinagética** (3€/m), porque hay perros protegiendo a los conejos de los depredadores. En caso de que no hubiera, habría que buscar una malla más resistente. Por su parte, las **vallas móviles interiores** que van delimitando las parcelas diarias son de **fabricación propia**, en total 10 unidades de 3x0.9 m, cada una con un coste aproximado de 15€. El diseño es el mismo que el de la producción de pollos



Figura 1. Conejos en el pasto de la finca Planeses. Foto: Marc Gràcia.

en pasto.

- Un **refugio consta de una estructura autoconstruida de hierro sin suelo** (3 x 4 m) con una estructura elevada y con ruedas para poderlo transportar a mano cada día, que tiene encima un techo de lona con caña que sirve de protección (en total 200 € por refugio). En la parte de debajo de cada refugio se coloca una madera que sirve de protección a los animales que se esconden debajo (90 €).

3. Coste de funcionamiento diario del sistema. El funcionamiento diario de todo el sistema de cría de conejos incluye básicamente el movimiento diario de los animales en los pasillos establecidos en el pasto. La alimentación prácticamente no tiene coste. Se parte de conejos de 4 semanas de vida que han sido criados en la finca a partir de madres propias (ver la ficha correspondiente a la producción de crías de conejo).

- El movimiento de los animales incluye el **desplazamiento de las vallas móviles y el posterior del refugio**. Esto representa un total de 0.5 h de un trabajador de la explotación durante los 60 días en los que se mantiene el crecimiento de los conejos.

- En primavera a menudo hay que **desbrozar** antes de que pasen los conejos, porque la gran cantidad de hierba dificulta el movimiento de las jaulas y la circulación de los animales por la parcela. **Los conejos comen sin problema el pasto cortado.**

- Los conejos engordan principalmente con el pasto, que representa entre el 80 y el 100% de su alimentación. Por ello, no hay coste de alimentación adicional de los conejos.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los **costes globales de la producción de conejos en pasto en terrenos agrícolas**. Estos cálculos están basados en criar un lote de **80 conejos**. El coste global es la suma de dos costes, ya que el tercero, el de la puesta a punto del pasto, se considera en la ficha correspondiente:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{infraestructuras}} + C_{\text{funcionamiento}}$$

Instalación de infraestructuras, suma de dos costes:

$C_{\text{vallas}} = 650 \text{ m} \times 3 \text{ €/m}$ (valla exterior) + 10 unidades $\times 15\text{€/unidad}$ (vallas móviles)

$C_{\text{refugio}} = 200 \text{ €}$ (refugio) + 90 € (base de madera)

Funcionamiento diario:

$C_{\text{movimiento}} = 0.5 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h}$ (por lote)

$C_{\text{desbroce}} = 0.5 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h}$ (solo en primavera)

$C_{\text{alimentación}} = 0$

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la producción de conejos en pasto

Los puntos clave que debemos considerar en la producción de conejos en pasto son los siguientes:

- Estos **costes no incluyen la preparación del terreno para el pasto**, que es un coste importante cuando se inicia un proyecto. Los detalles de estos costes están en la ficha correspondiente al pasto.

- Es mucho **más rentable criar los propios conejos en la finca que comprarlos**, requiere una mínima instalación para las hembras y los machos, pero se rentabiliza rápidamente.

- Se propone que **los conejos se mantengan en la finca hasta los tres meses** (un mes con la madre y dos en

el pasto). En ese momento no son muy grandes, pero en general los consumidores los prefieren más bien pequeños.

- En determinadas épocas se pueden añadir algunos **complementos vegetales**: si el pasto es muy tierno, es recomendable poner algo con más fibra como **hojas de encina**.

- Un punto clave en la cría de conejos es que **son muy delicados a los depredadores**, por ello, hay que protegerlos bien, incluso los propios perros que vigilan pueden llegar a hacerles daño.

- Otro punto fundamental es que **también son sensibles a muchas enfermedades víricas**, por lo tanto, se debe tener muy presente cuándo y de qué vacunarlos.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Superficie de pasto por conejo	m ² /conejo y día	4	-
Coste refugio conejos (incluye la estructura y la madera transversal)	€/refugio	290	Los refugios se autoconstruyen con estructura de tubo galvanizado. Se pueden hacer de madera, que serían algo más baratos
Coste vallado exterior con malla cinética (incluye malla y postes)	€/m	3	Es una valla hecha con malla cinética porque hay perros. Si no hay perros el tipo de valla debe ser más resistente (p.e. malla simple de torsión) y puede aumentar hasta 8-10 €/m
Coste vallas móviles 3x0.9m	€/valla	15	Las vallas móviles son autoconstruidas con estructura de tubo galvanizado y malla de gallinero.
Tiempo en desplazar la parcela	h	0.5	Si llueve el tiempo es un poco mayor.
Edad a la que se colocan los conejos en el pasto	semana	4	Se podría hacer un poco más tarde pero no antes, ya que son pequeños.
Número de días de crecimiento de los conejos en el pasto	día	60	Puede variar ligeramente entre estaciones.

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la producción de conejos en pasto, la tabla indica los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave de la gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado

La gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado tiene dos tipos de costes, ya que los costes de la puesta a punto de pasto se consideran externos al sistema: (1) costes de instalación de las infraestructuras, que incluyen la instalación de la valla eléctrica, el sistema para llevar el agua a las parcelas, y el establo; y (2) costes de funcionamiento diario del rebaño, que incluyen el tiempo de los trabajadores para mover y alimentar a los animales, el tiempo en desbrozar la parcela después de que pasen las vacas (sólo en primavera), el precio del forraje y el tiempo de ordeño, si son vacas de leche.

■ Cuantificación de los costes de la gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado

La cuantificación de lo que implica la gestión de vacas en pasto se basa en tres tipos de costes diferentes:

1. Coste de puesta a punto del pasto.
2. Coste de instalación de las infraestructuras.
3. Coste de funcionamiento diario del rebaño.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (Tabla 1). No se incluye el coste de las vacas, que puede oscilar entre **1200 y 2500 € por vaca** (para la raza Simmental que es la que se ha utilizado en el sistema Polyfarming) y que es un coste inicial obligado si se empieza de 0.

1. Coste de la puesta a punto de pasto. Este coste incluye definir la superficie de pasto necesaria para gestionar bien el rebaño de vacas. El coste de producir el pasto depende de la superficie de éste, de las condiciones iniciales y de la posibilidad de mecanizar para hacer una siembra directa. Se plantean dos situaciones:

- En el caso de que la **explotación de vacas** se vaya a realizar en una zona donde ya haya pasto, el coste se puede considerar 0, ya que la propia actividad de movimiento de las vacas permite mantener el pasto sin coste adicional
- En caso de que no haya un pasto en la zona elegida para la explotación, hay que contar con **costes derivados de su puesta a punto**. Estos costes se pueden encontrar en la ficha correspondiente a la puesta a punto de un pasto.

2. Coste de la instalación de las infraestructuras. Este coste incluye el vallado exterior de toda la zona del pasto y la valla eléctrica para ir separando las parcelas. Los costes de estas infraestructuras son los siguientes:

- El **coste de colocar la valla eléctrica de las parcelas** incluye el material y el personal. El material para 100 m de valla es: barras de rea (1€/barra) cada 6 m, 2 aislantes (precio aproximado 32 €/100 unidades) y dos líneas de hilo eléctrico (15 €/200 m). Estos dan un coste de unos 41€/100 m de valla (16€ de barras + 10€ de aislantes + 15€ de hilo). El **tiempo de dos trabajadores** para colocar **100 m** sería de **0.75 h**. Para el buen funcionamiento del sistema hay que considerar en cada caso cuantas parcelas son necesarias para poder alimentar a las vacas a lo largo de todo el año. Esto depende del número de vacas, de la productividad del pasto y de la estacionalidad de la zona.

- El **coste de instalación del sistema para llevar agua** a todas las parcelas depende del diseño del pasto. Incluye el **sistema de mangueras** (unos 150 m de tubería por ha -precio alrededor de 0.5 €/m y cinco grifos para acoplar las mangueras que van a los bebederos, 12€/grifo) y los bebederos, que para menos de 30 vacas se pueden hacer sencillos con bidones de plásticos a un coste muy económico (no más de 20€ por bebedero).

- Se requieren una serie de **infraestructuras permanentes como un establo** (con un coste aproximado de **6000€** cuando no hay más de 20 vacas), que es necesario tanto por un tema sanitario, por si es necesario separar animales con un determinado tratamiento, como para ordeñar a las vacas cuando son de leche.

3. Coste de funcionamiento diario del rebaño. El funcionamiento diario del rebaño de vacas incluye los siguientes aspectos.

- El **movimiento de los animales**, incluye el desplazamiento de las vacas de una parcela a la siguiente. Esto representa un total de 0.5 h diarias de un trabajador de la explotación durante todos los días del año.

- El **desbroce de la vegetación** no consumible de cada parcela (principalmente en primavera) representa una dedicación media de 1 h por día de un trabajador en parcelas de 1000 m².

- El **pasto representa entre el 30% y el 100% de la dieta** de las vacas según los meses, tal como se indican en la ficha del funcionamiento de un rebaño en un pasto. El resto debe ser aportado en forma de forraje. Calculando un promedio de 27% de forraje cada mes, cada vaca debe recibir de promedio 5 kg de forraje diarios, aunque repartidos de diferente manera a lo largo del año. El precio del forraje puede variar, pero las **balas pequeñas (20-30 kg)** cuestan alrededor de **7€/bala**, y las **balas grandes (300-400 kg)** alrededor de **60€/bala**. Cuando el forraje procede de excedentes de la finca en épocas de elevada producción de pasto, no hay coste.

- A esto se debe añadir el **tiempo dedicado por un trabajador para dar el alimento a las vacas**: alrededor de 0.5 h por día. Cuando hay que hacer esta aportación, debe cargarse el forraje en el remolque, llevarlo a la parcela y distribuirlo.

- Si las vacas son de leche, se llevan cada día al establo para ordeñarlas. El **tiempo de ordeño por vaca es de 5-10 min** (incluye limpiar los pezones, ordeñar y sellar los pezones). El tiempo total del rebaño es muy variable porque depende del número de vacas ordeñadas al mismo tiempo.

- Otros **costes ocasionales** son: inseminar a las vacas (1 vez al año) y hacer el saneamiento y control sanitario (también 1 vez al año). Son básicamente costes de veterinario, pero también de trabajadores acompañándole y facilitándole el trabajo.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar los **costes globales de la gestión de vacas en pasto mediante pastoreo intensivo controlado**. Estos cálculos están **basados en un rebaño de 10 vacas**. El coste global es la suma de dos costes, ya que el tercero, el de la puesta a punto del pasto, se considera en la ficha correspondiente:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{infraestructuras}} + C_{\text{funcionamiento}}$$

Instalación de infraestructuras (por parcela de 1000 m²), suma de tres costes:

$$C_{\text{vallas eléctricas}} = 120 \text{ m} \times 41 \text{ €/100m (valla eléctrica por parcela aproximadamente } 30 \times 30 \text{ m} - 1000 \text{ m}^2\text{, incluye postes e hilos)} + 120 \text{ m} \times (0.75 \text{ h} \times 2 \text{ trabajadores}) / (100 \text{ m}) \times \text{Sueldo/h (trabajo para montar el hilo alrededor de la parcela de } 1000 \text{ m}^2\text{)}$$

$$C_{\text{sistema riego}} = 15 \text{ m} \times 0.5 \text{ €/m (tubería)} + 12 \text{ € (grifo)} + 20 \text{ € (abrevadero)}$$

$$C_{\text{establo}} = 6000 \text{ € (establo completo, sirve para todas las parcelas)}$$

Funcionamiento diario, suma de cuatro costes:

$$C_{\text{movimiento}} = 0.5 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h}$$

$$C_{\text{desbroce}} = 1 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h (sólo en primavera)}$$

$$C_{\text{alimentación}} = 5 \text{ kg forraje/día y vaca} \times 0.3 \text{ €/kg} \times 10 \text{ vacas (forraje externo)} + 0.5 \text{ h/día} \times \text{Sueldo/h (colocación del forraje en la parcela)} \text{ (sólo en determinadas épocas del año)}$$

$$C_{\text{ordeño}} = 0.12 \text{ h/día y vaca} \times \text{Sueldo/hora}$$

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la gestión de un rebaño de vacas

Los puntos clave que debemos considerar en la gestión de vacas en pasto son los siguientes:

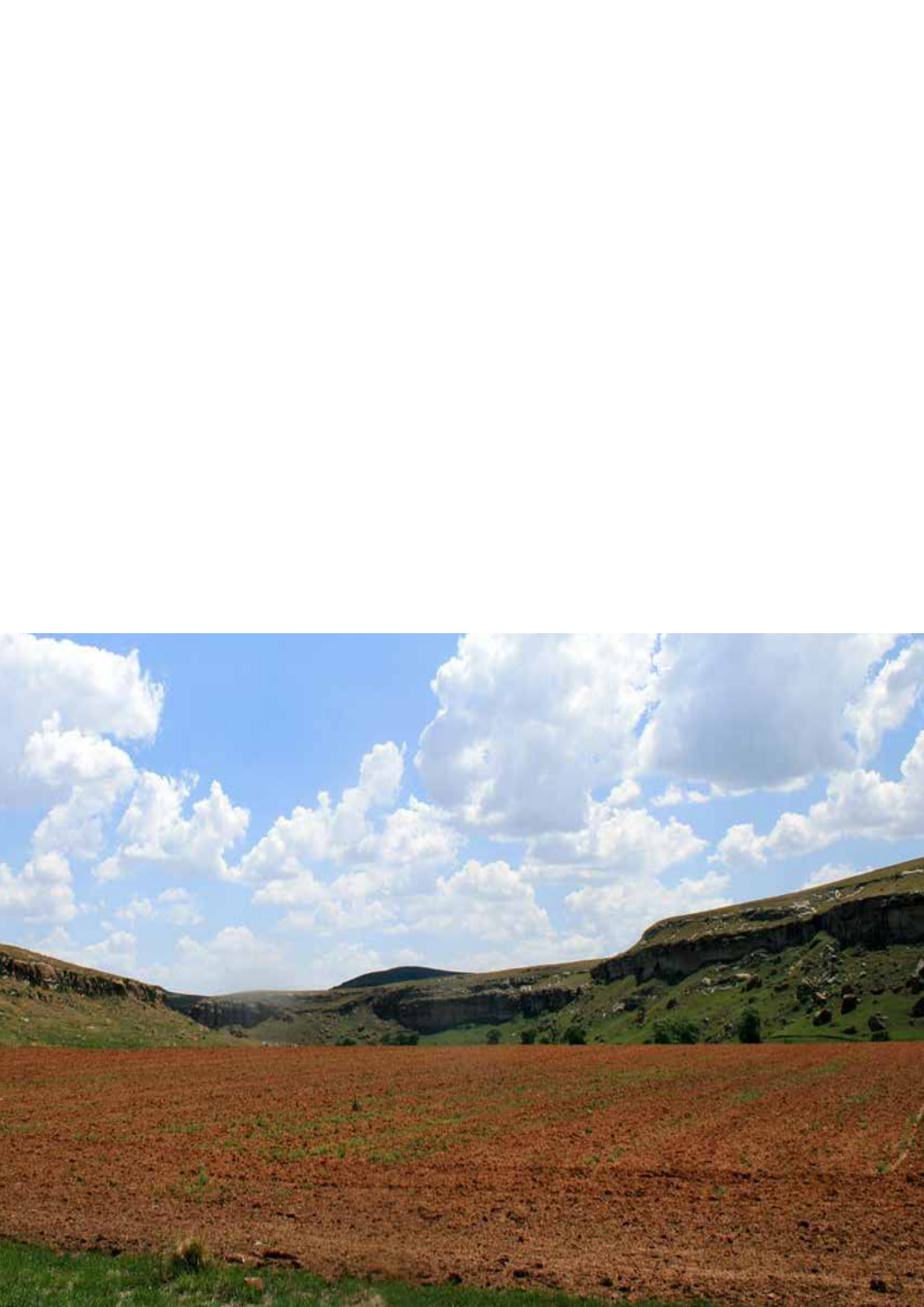
- **No se incluye la preparación del terreno para el pasto**, se considera que el pasto está disponible desde el principio.
- Hay **diferencias** muy importantes en algunos de estos

cálculos **dependiendo de la raza de las vacas**, y si son de leche o de carne.

- Un punto clave es decidir cómo se gestionan los **terneros**. Normalmente **funcionan como un segundo rebaño**, que tiene menos exigencias que las vacas, especialmente si son de leche. Pueden ir detrás de ellas en las parcelas de pasto.
- El **agua** es un **factor muy limitante**, ya que **determina el crecimiento del pasto** y condiciona la cantidad de forraje que se ha de conseguir para complementar la alimentación.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Coste de las vacas	€/vaca	2000	Hay mucha variedad, depende de las razas y del uso que tengan.
Superficie de pasto por vaca	m ² /vaca y día	75	50 en primavera cuando hay mucha hierba, 100 en otras estaciones, incluso algunos meses se debe complementar el alimento.
Número de parcelas para el funcionamiento del sistema todo el año	Parcela	60	Para ir bien tantas parcelas como días tenga el punto óptimo de reposo más largo en el año, oscila entre 60-80
Coste material vallado de las parcelas	€/100m	41	Incluye los postes de rea de hierro, los aislantes y los hilos. La vallas que estén al lado de carreteras tienen un coste algo más alto porque están reforzadas
Tiempo vallado de las parcelas	h/100 m y 2 trabajadores	0.5	Postes de rea de hierro. La vallas que estén al lado de carreteras tendrán un coste más alto
Coste establo	€	6000	Este sería para 20 vacas, puede variar mucho según los usos y los tamaños
Coste bebederos	€/bebedero	20	Puede variar según los modelos. Cuando hay muchas vacas hacen falta infraestructuras grandes y costosas
Instalación de agua	€/parcela de 1000 m ²	40	Depende de donde se vaya a sacar el agua. Incluye el montaje, que es sencillo, de tubería, grifos y bebederos.
Tiempo en desplazar a las vacas de una parcela a otra	h	0.5	Varia en las distancias entre parcelas, y lo que las vacas tarden en responder
Tiempo en desbrozar la vegetación no consumible	h/1000 m ²	1	Principalmente en primavera. Depende de cuanta vegetación quede, por lo que puede variar (0.5-1.5 h)
Cantidad de forraje para alimentar a las vacas	kg / (día y vaca)	5	Es un valor totalmente variable entre meses, algunos deben recibir 15 y otros no necesitan nada.
Precio del forraje	€/bala	7€/bala pequeña, 60€/bala grande	Es muy variable, el precio por kg es mayor para las balas pequeñas (20-30 kg) que para las grandes (300-400 kg)
Tiempo para alimentar a los vacas	h	0.5	Como se ha dicho, en cada mes la cantidad es diferente y el tiempo por tanto también
Tiempo para ordeñar las vacas	h / vaca	0.12	El tiempo total para el rebaño completo es variable porque depende de las vacas que se ordeñan a la vez

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la gestión de vacas en pasto, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.





Rendimientos de las diferentes actividades

Costes de las actividades relacionadas con los cultivos

- Costes y puntos clave de la gestión de frutales sobre pasto
- Costes y puntos clave del funcionamiento de un huerto sin labranza

Costes y puntos clave de la gestión de frutales sobre pasto

La gestión de frutales sobre pasto tiene principalmente tres tipos de costes: (1) costes de plantación de los frutales, que es el precio de los árboles jóvenes y el de la plantación de estos; (2) costes de riego y protección, que incluyen un sistema de riego extendido en toda la plantación y la protección individual de cada árbol; y (3) costes de los cuidados posteriores de los árboles, que incluyen las revisiones fitosanitarias correspondientes y las podas anuales, las iniciales de formación y las posteriores de fructificación.

■ Cuantificación de los costes de la gestión de frutales sobre pasto

La cuantificación de lo que representa la puesta a punto de gestión de frutales sobre pasto en fincas agrícolas (**Figura 1**) se basa en calcular diferentes costes:

1. Coste de plantación de los frutales.
2. Coste de riego y protección de los frutales.
3. Coste de los cuidados posteriores de los árboles.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (**Tabla 1**). No se incluye el coste de instalación del prado ni del ganado que pastará en él, ya que forman parte de otros elementos de Polyfarming.

1. Coste de plantación de los frutales. Este coste incluye dos componentes:

- El precio de los árboles jóvenes que se plantan varía mucho entre especies, pero también depende del tamaño dentro de una misma especie. Cualquier vivero puede dar valores muy detallados de estos precios.
- El coste de la plantación de los frutales incluye primero el **coste de hacer los agujeros para plantarlos**: tienen un volumen aproximado de 0.125 m³ (0.5x0.5x0.5 m) y se han de hacer con excavadora. El **alquiler de la excavadora** es de 45 €/h e incluye la persona que la conduce. En cada agujero se introducen primero 4-5 troncos de unos 40-50 cm de longitud en el fondo (siguiendo la técnica de camas de madera descrita en la ficha 'El bosque como fuente de recursos: camas de madera'), ramas y troncos pequeños, una capa de tierra y el árbol frutal. Luego se tapa el agujero hasta llenarlo de nuevo con la excavadora. El tiempo completo para terminar este proceso es de máximo 4-5 min por árbol, según las rocas que haya en el suelo y por tanto cueste hacer el agujero.

2. Coste de riego y protección de los frutales. Una vez plantados, hay dos costes más que se deben considerar:

- Debe haber un sistema de riego extendido que **riegue por goteo** todos los árboles plantados. Este sistema tiene una tubería principal grande con un diámetro que depende del número de árboles conectados. A esta tubería se conectan los tubos pequeños con los goteros (**tubo de 0.36 €/m + 0.2 €/gotero**) que llevan el agua a los frutales.
- También debe instalarse un **sistema de protección**



Figura 1. Frutal en la finca Planeses. Foto: Javier Retana.

individual de cada árbol. El coste de los materiales (tres estacas de hierro y el hilo) es de **3 €/protección** y el tiempo para **instalarla** es de **5 min** si no hay rocas, en caso contrario cuesta más clavar las estacas.

3. Coste de los cuidados posteriores de los árboles. Los cuidados posteriores de los frutales incluyen básicamente dos aspectos:

- Se deben realizar **revisiones periódicas** para identificar posibles plagas o enfermedades. El tiempo requerido por árbol es pequeño, pero depende del número de árboles de la plantación. Se han de repetir una vez cada dos meses o en época de crecimiento 1 vez mes. No se incluyen los productos para tratar las plagas o enfermedades porque el coste depende mucho del tratamiento que se deba aplicar en cada caso.
- **Los frutales también deben podarse anualmente.** El tiempo dedicado a cada poda depende de si son las podas iniciales de formación, que son muy rápidas (**1-2 min por árbol**) o si son podas posteriores de fructificación, en cuyo caso depende del diámetro y altura de los árboles y puede requerir en ocasiones de plataformas elevadoras para llegar a la parte superior de la copa.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de cálculos sencillos para estimar **los costes globales de gestión de frutales** sobre pasto en un terreno agrario. Los datos se dan por frutal plantado. El coste global es la **suma de tres costes**:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{plantación}} + C_{\text{riego/protección}} + C_{\text{cuidados-posteriores}}$$

Plantación de los frutales, suma de tres costes:

$C_{\text{frutal}} = \text{Precio} / \text{árbol}$ (depende de la especie y el tamaño)

$C_{\text{agujero}} = 0.08 \text{ h} \times 45 \text{ €/h}$ (coste excavadora) + $0.08 \text{ h} \times \text{Sueldo/h}$ (trabajador de la finca) (siguiendo el proceso descrito arriba)

Riego y protección de los frutales, suma de dos costes:

$C_{\text{riego}} = \text{Precio tubería principal} + (N \text{ m} \times 0.36 \text{ €/m} + 0.2 \text{ €})$ (tubería del árbol)

$C_{\text{protección}} = 3 \text{ €/protección}$ (materiales) + $0.08 \text{ h} \times \text{Sueldo/h}$ (personal)

Cuidados posteriores de los árboles, suma de dos costes:

$C_{\text{revisiones}} = \text{no evaluable}$ (depende del número de árboles de la plantación)

$C_{\text{poda}} = 0.03 \text{ h/árbol} \times \text{Sueldo/h}$ (poda de formación) o bien $N \text{ h/árbol} \times \text{Sueldo/h}$ (poda de fructificación, depende tamaño y altura árbol)

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para la gestión de frutales sobre pasto

Los puntos clave que debemos considerar en la gestión de frutales sobre pasto son los siguientes:

- **Hay que escoger muy bien la especie** en función de las necesidades de la finca y el clima de la zona.

- Si los árboles van a crecer en combinación con animales,

es determinante saber si estos **animales** serán grandes (**vacas**) o no (**gallinas, cerdos**) para escoger frutales de tamaño grande o mediano.

- Hay que tener muy presente que, durante los **primeros 5-7 años, los frutales necesitan cuidados**, pero no producen.

- Cuando se hacen los **agujeros con la excavadora** hay que considerar el **coste** de ésta, incluido su **conductor** y un trabajador de la finca que va supervisando y haciendo parte de las acciones, como colocar el frutal o acabar de apelmazar el suelo.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Precio del frutal joven a plantar	€/frutal	-	Varía totalmente según especie y tamaño de los árboles
Volumen del agujero para colocar los frutales	m ³	0.125	El agujero lo hacemos de tamaño 0.5x0.5x0.5 aunque puede variar con el tamaño del frutal a plantar
Tiempo para excavar y rellenar el agujero del frutal	min	4-5	Incluye todo el proceso: hacer el agujero, poner los troncos, poner tierra, poner el frutal y tapar el agujero
Alquiler de la excavadora	€/h	45	Incluye la persona que la conduce
Tiempo de rellenado del agujero con el frutal	h	23	Incluye todo el proceso, camas de madera
Sistema de riego	€/frutal	-	El coste de la tubería principal depende del número de árboles conectados, y el del tubo pequeño de la distancia del árbol al tubo principal
Materiales de la estructura de protección del frutal	€/frutal	3	Incluye hilo y estacas
Tiempo de instalación de la estructura de protección	min/frutal	5	El tiempo puede ser mayor si hay rocas en el terreno que dificultan clavar las estacas
Tiempo de revisión de plagas y enfermedades	min/frutal	-	Es muy pequeño, pero el tiempo total depende del número de frutales de la plantación
Número de revisiones al año	número	8-12	Una por mes en la época de crecimiento y dos por mes fuera de ella.

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de la gestión de frutales sobre pasto, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.

Costes y puntos clave del funcionamiento de un huerto sin labranza

El funcionamiento de un huerto sin labranza tiene principalmente cuatro tipos de costes: (1) costes del riego, que incluyen el coste de instalar las mangueras por primera vez, el tiempo en adecuarlas al principio de cada periodo de crecimiento y el tiempo del riego propiamente dicho; (2) costes de la plantación, que incluyen el precio del plantel y el tiempo en realizar la plantación; (3) costes del control de las plantas adventicias, que incluyen el tiempo de eliminarlas en los caminos y entre los cultivos; y (4) costes de la aplicación de productos del bosque y abonos vegetales, que incluyen el tiempo que se tarda en aplicarlos.

■ Cuantificación de los costes de funcionamiento de un huerto sin labranza

La cuantificación de lo que representa el funcionamiento de un huerto sin labranza se basa en calcular diferentes costes:

1. Coste del riego.
2. Coste de la plantación.
3. Coste del control de las plantas adventicias.
4. Coste de la aplicación de productos del bosque y abonos vegetales.

A continuación, describiremos las diferentes alternativas que hemos analizado para cada uno de estos procesos, indicando los costes que representan y su variabilidad (Tabla 1). **No se incluye el coste del ganado que puede pastar en el huerto**, ya que forma parte de otro elemento diferente de Polyfarming.

1. **Coste del riego.** Este coste incluye cuatro componentes:
 - El primer coste es el material del riego. El sistema más frecuente se basa en que haya una **tubería central** (de 63 mm en Planeses) de la que salen las **mangueras perforadas más pequeñas** de 40 mm para cada bancal. En el huerto de Planeses este sistema incluye unos 80 m de tubo de manguera principal (precio alrededor de 1.5 €/m) más la distancia variable hasta donde se encuentre la fuente de agua, y 75 m de tubería más pequeña por bancal (0.5 €/m).
 - A esto se añade el coste de **hacer las zanjas** para introducir las mangueras de los bancales. Se puede hacer con motozanjadora (alquilada, 250 €/día), el trabajador va andando con velocidad normal de caminar (5-6 km/h, 1 km cada 10 min), es decir tarda 1-2 min en recorrer los 75 m. **Si se hace manualmente se tarda más**, aproximadamente 30 min en cavar los 75 m.
 - Al principio de cada periodo de crecimiento es necesario **adecuar el sistema de mangueras**: desenterrarlas, limpiar los agujeros, iniciar el riego, probar que sale agua por todos los agujeros y destapar los que estén cerrados. En total se puede estimar en una media hora el tiempo necesario para adecuar 100 m de manguera.
 - Finalmente se considera también el **tiempo del riego** propiamente dicho. Los primeros días se debe regar un día sí y otro no mientras que pasado este tiempo se debe regar en función de la meteorología. En Planeses, con los caudales requeridos se pueden regar hasta 4 bancales a la vez durante 20-30 minutos. **El tiempo para cambiar de bancales es muy corto**, pero obliga a que un trabajador

esté pendiente durante todo el riego, aunque pueda estar haciendo otros trabajos.

2. **Coste de la plantación.** El primer coste que se ha de considerar es el precio del plantel, que puede variar considerablemente según lo que se plante. El precio de las plantas depende de la especie que se plante, oscilando entre 0.1 y 0.2 €. Luego está el **tiempo de plantarlas**. Normalmente se hace manualmente, y se ha de contar con 40 min de un trabajador del huerto por cada 100 plantas plantadas.

3. **Coste del control de las plantas adventicias.** Los costes de la eliminación de las plantas adventicias dependen de donde éstas crezcan dentro del huerto:

- Las **plantas que salen en los caminos principales** o en los caminos de los bancales se cortan con desbrozadora. En este caso los trabajadores pueden tener un rendimiento de 2 minutos por cada línea de 75 m, ya que van caminando lentamente (unos 3 km/h) y cortando la vegetación a medida que avanzan.
- Las **plantas que crecen en la zanja o entre los cultivos** hay que quitarlas manualmente con tijeras para no alterar los cultivos y el rendimiento es mucho más bajo: 1-1.5 h por línea de 75 m.

4. **Coste de la aplicación de productos del bosque y abonos vegetales.** En todos los casos los productos se obtienen directamente del huerto (abonos) o de otros usos de la finca como el bosque o los animales (BRF, compost, biofertilizantes), por lo que **su coste se puede considerar 0**. Sí puede haber un coste en su aplicación.

- Los abonos vegetales que se añaden al huerto son el resultado de cortar los cultivos ya secos o las plantas adventicias. Por tanto, **no se debe contar un tiempo extra dedicado a su aplicación**.

- El **BRF o el compost se colocan en las zanjas del huerto** al principio del periodo de producción. El BRF se tarda en aplicar en la zanja de un bancal de 75m aproximadamente 0.75 horas.

- Los **biofertilizantes** se deben aplicar cada 2 días los primeros 10 días, y cada vez se tardan 4 min por bancal de 75 m, incluyendo el tiempo de recargar la mochila.

Una vez el huerto está funcionando, **mantenerlo tiene otros costes** como **entutorar algunos cultivos** (como judías o tomates) o **cosechar los productos obtenidos**. Estos costes no los hemos incluido, porque dependen de los cultivos plantados y del procedimiento que se siga en cada finca.

A partir de estas consideraciones, podemos establecer una serie de **cálculos sencillos para estimar los costes globales del funcionamiento de un huerto sin labranza**. El coste global es la suma de cuatro costes:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{riego}} + C_{\text{plantación}} + C_{\text{control adventicias}} + C_{\text{aplicación}}$$

Riego, suma de cuatro costes:

$C_{\text{material}} = 80 \text{ m} \times 1.5 \text{ €/m}$ (manguera principal, coste a repartir entre los diferentes bancales) + $75 \text{ m} \times 0.5 \text{ €/m}$ (manguera más pequeña) (por bancal de 75 m)

$C_{\text{instalación (motozanjadora)}} = 0.03 \text{ h} \times \text{Sueldo/h} + 0.03 \text{ h} \times 250 \text{ €/24h}$ (por bancal de 75 m)

$C_{\text{instalación (manual)}} = 0.5 \text{ h/línea de } 75 \text{ m} \times \text{Sueldo/h}$ (por bancal de 75 m)

$C_{\text{adecuación}} = 0.5 \text{ h/100 m} \times \text{Sueldo/h}$ (cada 100 m de manguera)

$C_{\text{riego}} = 0$ (si se compatibiliza con otros trabajos)

Plantación, suma de dos costes:

$C_{\text{plantel}} = 15 \text{ €/100 plantas}$

$C_{\text{plantación}} = 0.66 \text{ h/100 plantas} \times \text{Sueldo/h}$
(plantación manual de 100 plantas)

Control de plantas adventicias, depende donde sea:

$C_{\text{caminos}} = 2 \text{ min/línea de } 75 \text{ m}$ (en los caminos)

$C_{\text{zanjas}} = 60 \text{ min/línea de } 75 \text{ m}$ (en la zanja o entre las plantas)

Aplicación de productos (por bancal de 75 m), depende del producto aplicado:

$C_{\text{BRF}} = 0.75 \text{ h/línea de } 75 \text{ m} \times \text{Sueldo/h}$

$C_{\text{biofertilizantes}} = 0.06 \text{ h/línea de } 75 \text{ m} \times \text{Sueldo/h}$
(por aplicación)

$C_{\text{abonos vegetales}} = 0$

■ Consideraciones sobre la estrategia óptima para el funcionamiento de un huerto sin labranza

Los **puntos clave** que debemos considerar en el funcionamiento de un huerto sin labranza son los siguientes:

- La **instalación y adecuación del riego** es clave en un cultivo intensivo como un huerto.
- El **coste del plantel** es totalmente variable, dependerá de las especies y la cantidad que se plante, así como el tiempo que se tarde en plantar.
- El **control de las plantas adventicias es uno de los costes más importantes** en un huerto sin labranza. Y es

especialmente importante realizarlo justo antes de que puedan afectar a los cultivos, aunque en general es una tarea que se realiza casi de manera continua durante todo el período de funcionamiento del huerto.

- La **aplicación de productos**, como el **BRF** al principio, los **abonos vegetales** cuando se producen, o los **fertilizantes** en los diferentes momentos del crecimiento de los cultivos, permiten mantener un suelo sano y fértil.

Parámetro	Unidad	Valor	Variabilidad y causas
Material de riego – manguera central	€/m	1.5	La cantidad total necesaria varía según la distribución del huerto y la distancia a la que está la fuente de agua
Material de riego – manguera de los bancales	€/m	0.5	El coste por bancal depende de la longitud del bancal, en el caso de Planeses son de 75 m
Alquiler motozanjadora para hacer surcos en el huerto	€/día	250	El precio puede depender de la oferta concreta de la zona
Tiempo en hacer la zanja de 75 m con motozanjadora	min	2	Es el tiempo de recorrer caminando lentamente 100 m
Tiempo en hacer la zanja de 75 m manualmente	min	30	Hay que ir parando cada cierto tiempo y eliminando la tierra que cae en la zanja
Tiempo de adecuación de las mangueras a principio de la temporada de huerto	h/100 m	0.5	Incluye desenterrar la manguera, limpiar el agujero y probar que sale agua por todos los agujeros
Coste del plantel para la plantación	€/100 plantas	15	Oscila considerablemente según las especies que se plantan, pudiendo variar entre 10 y 20 € por 100 plantas
Tiempo de plantación	h/100 plantas	0.66	Este es el tiempo de hacerlo manualmente, puede haber alguna herramienta que permita reducirlo
Tiempo en eliminar las plantas adventicias en los caminos de los bancales con desbrozadora	min/línea 75 m	2	Se va avanzando lentamente y cortando la vegetación de manera continua
Tiempo en eliminar las plantas adventicias entre las plantas de los bancales manualmente	min/línea 75 m	60	Puede ser más, hasta 90 min, si hay muchas adventicias y están muy en contacto con los cultivos
Tiempo de aplicación del BRF	min/línea 75 m	45	Sólo se aplica una vez al principio del período de producción
Tiempo de aplicación de los biofertilizantes	min/línea 75 m	4	Se aplican cada dos días después de la plantación, y luego cada 5-7 días según las necesidades
Tiempo de aplicación de los abonos vegetales	min/línea 75 m	0	Los abonos son el resultado de cortar los cultivos ya secos o las plantas adventicias, por lo que no se cuenta un tiempo extra para su aplicación

Tabla 1. Parámetros utilizados en el cálculo de los costes de funcionamiento de un huerto sin labranza, indicando los valores utilizados en Polyfarming y la posible variabilidad que se pueden dar en estos valores.





Rendimientos de las diferentes actividades

El sistema Polyfarming en su conjunto

- Balance de costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming. I. Costes.
- Balance de costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming. II. Ingresos y balance.

Balance de costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming. I. Costes

En una finca modelo en la que funcionan los diferentes elementos del sistema Polyfarming, se ha calculado el balance de costes e ingresos obtenidos a nivel de finca. Los costes anuales de los diferentes elementos son del orden de 148666 €, desglosados en las siguientes cuatro categorías: mano de obra (59.0 % del total, correspondientes a 4.5 trabajadores a jornada completa), mecanización (7.0 %), entradas externas (15.1 %) y entradas internas (18.9 %), que son entradas que necesita un determinado uso que proceden de otro elemento dentro de la propia finca.

■ Una finca modelo para valorar el sistema Polyfarming

Los principales costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming los hemos evaluado en **una finca modelo** en la que estarían funcionando los diferentes elementos de Polyfarming. Esta **finca modelo estaría formada por**: a) un bosque de encina de 50 ha; b) una dehesa de 7 ha obtenida por el aclareo intenso; c) un prado de 7 ha dividido en parcelas donde pastorea un rebaño de 10 vacas y 20 terneros (Pasto 1); d) un cultivo de 700 frutales (almendros) ya en producción instalados en las líneas de separación de las parcelas del prado; e) un prado de 2 ha, en la que pastan 960 conejos y 2400 pollos (Pasto 2); f) un cultivo extensivo de 2 ha en la que hay un pasto perenne activo en verano, y un cultivo de cereal de invierno; g) un huerto sin labranza de 1 ha donde hay dos gallineros móviles con 200 gallinas en total.

■ Costes de los diferentes elementos en el sistema Polyfarming

Los **costes anuales** de una finca como la descrita son del orden de 148666 €. Los costes se han desglosado en cuatro categorías (**Tabla 1**): **mano de obra, mecanización,**

entradas externas y entradas internas de la propia finca.

- **Los costes de mano de obra** son 87655 €, lo que representa el 59.0 % del total de gastos anuales de la finca. En total representan 4.5 trabajadores contratados a jornada completa.

- **Los costes de mecanización** son 10450 €, el 7.0 % del total de gastos anuales. Incluyen el tractor para sacar los troncos cuando la finca no dispone de él, la sembradora de siembra directa y la cosechadora para los cultivos extensivos, y el transporte y el matadero externo para los terneros.

- **Los costes de entradas externas** a la finca representan 22497 €, el 15.1 % del total. Incluyen gasoil y aceite para la motosierra semillas para las siembras, plantel, forraje, pienso, grano y los pollitos recién nacidos.

- Finalmente, **los costes de entradas internas** de la propia finca son 28064 €, el 18.9 % del total, principalmente hierba. Son gastos que se producen en elementos de la propia finca por lo que no representan un coste adicional.

Por elementos, los costes anuales más elevados son los de los cultivos de huerto (25376 €), los pollos (22269 €) y el bosque (19500 €), en todos los casos sin contar los costes de entradas internas de la finca. En cambio, los costes más reducidos son los de los cultivos extensivos (682 €), la dehesa (1218 €) y el pasto de pollos y conejos (2508 €).

Mano de obra (a)	Mecanización (b)	Entradas externas (c)	Entradas internas (d)	Costes anuales (a+b+c+d)
BOSQUE				
Corta, desramado y arrastre de troncos: 2 trabajadores * 100 días * 8 h/día * 12 €/h (trabajador) = 19200	Tractor para el arrastre de los troncos (si no dispone en la finca de él): 50 €/día * 100 días = 5000 €	Gasoil motosierra: 1 depósito/h * 0.37 l/depósito * 1.2 €/l * 2.5 h/día * 100 días = 111 € Aceite motosierra: 1 depósito/h * 0.25 l / depósito * 3 € / l * 2.5 h / día * 100 días = 188 €	0	24500 € o 19500 € (sin contar el tractor)
DEHESA				
Movimiento de los animales (incluido en los terneros) Resiembra (a voleo y cada 5 años): 7 ha x 2 h/ha * 12 €/h = 168 €	0	Semillas para resiembra: 7 ha * 5 kg/ha x 30 €/kg = 1050 € (cada 5 años)	0	1218 € (cada cinco años)
PASTO 1				
Movimiento de los animales (incluido en cada animal) Desbroce de la vegetación no consumida (en la fase de establecimiento): 1 h/parcela * 365 parcelas de 1000 m ² * 12 €/h = 4380 € Siega con desbrozadora (cuando hay pasto excedente): 1.5 h/parcela de 1000 m ² * 40 parcelas/mes * 3 meses * 12 €/h = 2160 € Resiembra (a voleo y cada 5 años): 7 ha x 2 h/ha * 12 €/h = 168 €	Por el tamaño de la zona de pasto 1 no es rentable utilizar una sembradora de siembra directa para la resiembra, se debe hacer manualmente.	Semillas para resiembra: 7 ha * 5 kg/ha x 30 €/kg = 1050 € (cada 5 años)	0	7758 €
PASTO 2				
Movimiento de los animales (incluido en cada animal) Desbroce de vegetación no consumida (separando una ha de pollos y una ha de conejos): 0.25 h/parcela de 160 m ² * 80 parcelas/mes * 3 meses * 12 €/h = 720 € Siega con desbrozadora (cuando hay pasto excedente y separando una ha de pollos y una ha de conejos): 0.5 h/parcela de 160 m ² * 80 parcelas/mes * 3 meses * 12 €/h = 1440 € Resiembra (a voleo y cada 5 años): 2 ha x 2 h/ha * 12 €/h = 48 €	Por el tamaño de la zona de pasto 2 no es rentable utilizar una sembradora de siembra directa para la resiembra, se debe hacer manual.	Semillas para resiembra: 2 ha * 5 kg/ha x 30 €/kg = 300 € (cada 5 años)	0	2508 €

Mano de obra (a)	Mecanización (b)	Entradas externas (c)	Entradas internas (d)	Costes anuales (a+b+c+d)
CULTIVOS EXTENSIVOS				
Siembra: 2 ha*2h/ha*12€/h ⁽¹⁾ = 48 € Cosecha: 2 trabajadores*1h*12€/h y trabajador ⁽¹⁾ = 24€	Sembradora de siembra directa: 2 ha * 0,5 días / ha * 350 €/día = 350 € Cosechadora: 2 ha * 0,5 h/ha * 100 €/h = 100 €	Semillas (con densidad media): 2 ha * 4 kg/ha x 20 €/kg cereal = 160 €	0	682 €
FRUTALES				
Plantación: 0.1 h/frutal * 700 frutales ⁽²⁾ * 12 €/h = 840 € Podas (poda anual + recogida restos (0.25h+0.1h)/frutal * 700 frutales * 12 €/h ⁽¹⁾ = 2940 € Cosecha (manual, con vara y lona): 0.15 h/frutal * 700 frutales * 12 €/h ⁽¹⁾ = 1260 €	Excavadora (alquiler): 0.08 h/frutal * 45 €/h * 700 frutales = 2520 €	Plantones (almendros): 12 €/frutal * 700 frutales = 8400 €	Camas de madera (producción): 0.25 m ³ (1 tronco de 20 cm diámetro y 2m longitud)/frutal * 700 frutales * 60 €/m ³ = 10500 €	4200 € (sin plantación) 22260 € (sólo plantación)
CULTIVOS DE HUERTA				
Riego (preparación): 0.5 h/100 m * 7500 m * 12 €/h ⁽¹⁾ = 450 € Plantación: 0.66h/100plantas*24200plantas ⁽³⁾ *12€/h ⁽¹⁾ =1916€ Control adventicias: (3 veces por plantación) (camino) 2 min/(línea y día) * 100 líneas * 6 días * 1 h/60 min * 12 €/h = 240 € (en la zanja o entre plantas) 60 min/(línea y día) * 100 líneas * 6 días * 1 h/60 min * 12 €/h ⁽¹⁾ = 7200 € Aplicación de BRF y biofertilizantes: (BRF) 0.75 h/línea * 100 líneas * 12 €/h ⁽¹⁾ = 900 € (biofertilizantes) 0.06 h/(línea y vez) * 100 líneas * 20 veces (una cada dos semanas) * 12 €/h ⁽¹⁾ = 1440 € Cosecha: (estimación media entre mayo y diciembre): 4 h/día * 200 días * 12 €/h = 9600 €	0	Plantel 15 €/100 plantas * 24200 plantas = 3630 €	BRF (producción): 0.5 m ³ /bancal de 75m*100 bancales * 3 h/m ³ BRF * 12 €/día = 1800 €	27176 € (contando entradas internas) 25376 € (sin contar entradas internas)
VACAS				
Funcionamiento: 3 h/día incluyendo movimiento (0.5 h/día), alimentación (0.5 h/día, algunos meses), desbroce parcela (1h/día), ordeño (1h/día) * 365 días * 12 €/h ⁽¹⁾ = 13140 €	0	Forraje: ⁽⁴⁾ 10746 kg/MS * ((0.6 * 1 bala/150 kg MS gramíneas * 35 €/bala) + (0.4 * 1 bala /200 kg MS alfalfa * 60 €/bala)) = 2794 €	Hierba: 12.5 kg MS/(vacca y día) ⁽⁵⁾ * 365 días * 10 vacas * ((0.6 * 1 bala/150 kg MS gramíneas * 35 €/bala) + (0.4 * 1 bala/200 kg MS alfalfa * 60 €/bala)) ⁽⁶⁾ = 11862 €	27796 € (contando entradas internas) 15934 € (sin contar entradas internas)
TERNEROS DE ENGORDE				
Funcionamiento: movimiento (0.5 h/día) * 365 días * 12 €/h ⁽¹⁾ = 2190 €	Transporte y matadero (externo): 500 €/ternero * 10 terneros = 5000 €	0	Hierba (terneros en el prado 1, la dehesa y el cultivo no extensivo): 200 kg peso/ternero * 0.025 kg MS/(kg peso y día) ⁽⁷⁾ * 20 terneros * 365 días * 1 bala/150 kg MS gramíneas * 35 €/bala = 8516 €	15706 € (contando entradas internas) 7190 € (sin contar entradas internas)
CONEJOS				
Funcionamiento conejos: Movimiento (en combinación con el transporte de los pollos) 0.5h/día * 365 días * 12 €/h = 2190 € Conejos jóvenes: alimentación y limpieza reproductores 8 h/(25 jaulas y mes) * 12 meses * 12 €/h ⁽¹⁾ = 1152 € Matadero (propio): 1h/6 conejos * 960 conejos * 12 €/h ⁽¹⁾ = 1920 €	0	Pienso (conejos reproductores, igual machos que hembras): 0.5 €/kg * 8 kg pienso/mes y conejo * 12 meses * 20 conejos = 960 €	Hierba (conejos en el prado 2): 2 kg peso/conejo * 0.15 kg MS/(kg peso y día) ⁽⁸⁾ * 960 conejos * 60 días * 1 bala/150 kg MS gramíneas * 35 €/bala = 4032 €	10254 € (contando entradas internas) 6222 € (sin contar entradas internas)
POLLOS				
Funcionamiento Pollos: movimiento, alimentación 1.5h/día * 365 días * 12 €/h = 6570 € Pollitos: alimentación y limpieza 0.25h/día * 155 días * 12 €/h ⁽¹⁾ = 465 € Matadero (propio): 2400 pollos * 1.5 €/pollo = 3600 €	0	Pienso (pollos): 0.58 €/kg * 7 kg/pollo * 2400 pollos = 9744 € Pollitos (pollitos): 0.36 €/kg * 0.75 kg/pollito * 3000 pollitos = 810 € Pollitos (compra con un día): 0.36 €/pollito * 3000 pollitos = 1080 €	Hierba (30% de la dieta de pollos en el prado 2): 3 kg MS/pollo * 2400 pollos * 1 bala/150 kg MS gramíneas * 35 €/bala = 1680 €	23949 € (contando entradas internas) 22269 € (sin contar entradas internas)
GALLINAS				
Funcionamiento: abertura al huerto, alimentación 0.5 h/día * 365 días * 12 €/h ⁽¹⁾ = 2190	0	Grano: 0.32 €/kg * 0.11 kg/gallina y día * 365 días * 200 gallinas = 2570 €	0	4760 €

⁽¹⁾ Se considera un sueldo de 9 €/hora (más Seguridad Social) para un trabajador agrícola.

⁽²⁾ Los frutales están distribuidos cada 10 m a lo largo de las líneas de separación de las parcelas, en una densidad de unos 100-120 por ha, en total 700 árboles.

⁽³⁾ Suma de la plantación anual de todos los productos desglosados en la **Tabla 2** de la ficha siguiente.

⁽⁴⁾ Es el forraje necesario para completar la alimentación de vacas y terneros en las épocas que no hay hierba suficiente en el prado.

⁽⁵⁾ Valor obtenido de Wattiaux (1996) para vacas de 500 kg y una producción de 10 l de leche al día.

⁽⁶⁾ Las vacas de leche se alimentan en una proporción de 60:40 de forraje de gramíneas y leguminosas (alfalfa). Cuando se suministran balas, las de gramíneas pesan unos 350 kg y tienen un precio alrededor de 35 €/bala, mientras que las de alfalfa pesan unos 400 kg y tienen un precio alrededor de 60 €/bala.

⁽⁷⁾ En Perramón (2016) se indica que cada ternero consume el 2.5% de su peso en kg de MS cada día.

⁽⁸⁾ En el informe de la FAO (1996) se indica que cada conejo adulto consume el 15% de su peso en kg de MS cada día.

Tabla 1. Costes previstos de mano de obra, mecanización, entradas externas y entradas internas de los diferentes elementos del sistema Polyfarming en la finca modelo descrita en la misma ficha.

Balance de costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming. II. Ingresos y balance

En una finca modelo en la que funcionan los diferentes elementos del sistema Polyfarming, los ingresos anuales de las salidas de los diferentes elementos son del orden de 214415 €. El balance total a nivel de finca entre los ingresos y los costes totales es positivo tanto si se incluyen los productos intermedios que se producen en elementos de la propia finca (+ 65749 €), como si no se incluyen (+ 93773 €). Estos resultados se basan en rendimientos óptimos que permiten minimizar los gastos y mantener los ingresos previstos en todos los elementos, pero pueden verse muy modificados cuando no están disponibles todos los elementos propuestos o cuando se producen variaciones climáticas que pueden afectar la mortalidad de animales y plantas.

■ Ingresos en los diferentes elementos del sistema Polyfarming

Los **ingresos anuales** previstos de las salidas de los diferentes elementos del sistema Polyfarming alcanzan un total de 214415 € (Tabla 1). En algunos casos se han llevado a cabo estimaciones a partir de información publicada de la literatura, pues en la finca Planeses no se han podido medir todavía. **Por tipos de salidas**, los ingresos más altos son los de las verduras y hortalizas del huerto (53515 €), la leche de las vacas (42000 €), la carne de los pollos (33600 €), la fruta de los frutales (28000 €) y la leña del bosque (24000 €). Además de las salidas al exterior, hay **una serie de productos intermedios**, principalmente hierba, pero también grano, que se producen en la finca y se utilizan en la misma. Estos representan un total de 23918 € que no se han de comprar fuera.

■ Balance de costes e ingresos a nivel de finca

El **balance total** a nivel de toda la finca modelo, descrita en la ficha anterior, es la diferencia entre los **costes totales** (calculados en la ficha anterior) y los **ingresos totales** (calculados en el apartado anterior). Si se incluyen todos los costes que tendría la explotación, **incluyendo los de los productos intermedios** que se producen en elementos de la propia finca para ser consumidos en otros elementos de la finca, el balance es el siguiente:

$$\text{Balance}_{\text{finca}} = \text{Ingresos}_{\text{finca}} - \text{Costes}_{\text{finca}} = 214415 \text{ €} - 148666 \text{ €} = 65749 \text{ €}$$

Elemento	Salidas	Cantidad por vez (a)	Número de veces/período (b)	Precio por unidad (c)	Ingresos anuales (a*b*c)
Bosque	Leña	4 Tm/día	100 días	60 €/Tm	24000 €
Dehesa	Forraje	3000 kg MS/mes ⁽¹⁾	3 meses	Gramíneas: 35 €/150 kg MS	2100 €
Pasto 1	Forraje	62379 kg MS anualmente ⁽³⁾	1 año	Gramíneas (60%): bala 35 €/150 kg MS Leguminosas (40%): bala 60 €/200 kg MS	16218 €
Pasto 2	Forraje	17822 kg MS/ha anualmente	1 año	Gramíneas: bala 35 €/150 kg MS	4158 €
Cultivos extensivos	Forraje	1719 kg MS/ha * 2 ha	1 pasada	Gramíneas: bala 35 €/150 kg MS	802 €
Cultivos extensivos	Grano (trigo)	1000 kg/ha ⁽³⁾ * 2 ha	1 cosecha	0.32 €/kg	640 €
Frutales	Fruta (almendras)	10 kg/árbol en regadío ⁽⁴⁾ * 700 árboles	1 cosecha	4 €/kg ⁽⁵⁾	28000 €
Cultivos de huerta	Verduras, hortalizas	Las cantidades por cultivos están en la Tabla 2 ⁽⁶⁾	6 meses	8919 €/mes	53515 €
Vacas	Leche	7 l/vaca y día * 10 vacas (un ordeño al día)	300 días (10 meses por año)	2 €/l ⁽⁷⁾	42000 €
Terneros de engorde	Carne	10 terneros / año * 400 kg/ternero * 0.33 ⁽⁸⁾	1 año	10 €/kg carne	13200 €
Pollos	Carne	200 pollos/mes * 2 kg/pollo	12 meses	7 €/kg carne	33600 €
Conejos	Carne	80 conejos / mes	12 meses	10 €/conejo	9600 €
Gallinas	Huevos	200 gallinas * 180 huevos / gallina y año	1 año	3.5 €/12 huevos	10500 €

⁽¹⁾ Únicamente se contabiliza la cantidad que consumen los terneros durante los meses que pasan en la dehesa.

⁽²⁾ La cantidad de hierba producida en el prado sumando la producción de cada una de las siete pasadas por año y utilizando la ecuación siguiente para cada una: Producción (kg MS/ha) = 52.7 + 1.6 * Altura pasto (cm).

⁽³⁾ La producción media de trigo en secano oscila entre 2800 y 3000 kg/ha. Se da un tercio de esta cosecha porque la siembra se hace a un tercio de densidad.

⁽⁴⁾ Producción media de 10 a 15 kg de almendra por árbol, en regadíos o en secanos frescos.

⁽⁵⁾ Precio medio de la Lonja de Reus en noviembre de 2020.

⁽⁶⁾ En la Tabla 2 se detallan las cantidades orientativas de los diferentes cultivos instalados en el huerto, los precios de los mismos y los ingresos obtenidos de cada uno.

⁽⁷⁾ Este es el valor de venta para la producción posterior de yogurt, no es el de venta de leche directamente.

⁽⁸⁾ Se estima el rendimiento de peso vivo a canal de 50% (aunque puede llegar hasta el 60% con grandes diferencias según razas y pesos en el momento del sacrificio) y queda finalmente un 33% de carne.

Tabla 1. Ingresos anuales previstos de las salidas de los diferentes elementos del sistema Polyfarming en la finca modelo descrita en la ficha anterior. En rojo, productos intermedios que no se venden, sino que se utilizan en otros elementos de la finca.

CULTIVO	LÍNEAS	PLANTACIÓN	PRODUCTO	PRECIO POR UNIDAD	INGRESOS TOTALES
Lechuga	10	Cada 25 cm, 300 por línea, 3000 en total	3000 unidades	0.9 €/unidad	2700 €
Tomate	10	Cada 40 cm, 190 por línea, 1900 en total	4 kg/planta	1.8 €/kg	13680 €
Guisante	5	Cada 40 cm, 190 por línea, 950 en total	1 kg/planta	4.3 €/kg	4085 €
Haba	5	Cada 60 cm, 125 por línea, 625 en total	2 kg/planta	1.7 €/kg	2125 €
Berenjena	10	Cada 40 cm, 190 por línea, 1900 en total	2 kg/planta	2.2 €/kg	8360 €
Judía	5	Cada 40 cm, 190 por línea, 950 en total	1 kg/planta	4.5 €/kg	4275 €
Col	20	Cada 60 cm, 125 por línea, 2500 en total	2500 unidades	1.3 €/unidad	3250 €
Apio	5	Cada 50 cm, 150 por línea, 750 en total	5 u/manejo	0.9 €/manejo	135 €
Remolacha	10	Cada 25 cm, 300 por línea, 2 por taco, 6000 en total	5 u/manejo	1.2 €/manejo	1440 €
Acelga	5	Cada 25 cm, 300 por línea, 2 manojos por planta, 3000 en total	0.5kg /manejo	1.0 €/manejo	1500 €
Calabaza	20	Cada 100 cm, 75 por línea, 1500 en total	3 u de 1.5 kg cada una	1.4 €/kg	9450 €
Puerro	5	Cada 20 cm, 375 por línea, 2 por taco, 3750 en total	5 u/manejo	1.5 €/manejo	1125 €
Cebolla	5	Cada 10 cm, 750 por línea, 2 por taco, 7500 en total	7 u/kg	1.3 €/kg	1390 €

Tabla 2. Cantidad orientativa de plantas instaladas en el huerto de los distintos cultivos a lo largo de un año, e ingresos anuales obtenidos de cada uno de ellos. Los precios por unidad se han obtenido de los catálogos de las asociaciones de agricultores Xarxa Pagesa y Hortec para 2020.

Sin embargo, el balance **no teniendo en cuenta el coste de los productos intermedios** es bastante diferente, tal como se ve a continuación:

$$\text{Balance}_{\text{finca}} = \text{Ingresos}_{\text{finca}} - \text{Costes}_{\text{finca}} = 214415 \text{ €} - 120642 \text{ €} = 93773 \text{ €}$$

Considerando por separado **los diferentes elementos** que tienen un producto que se vende fuera de la finca, obtenemos lo siguiente:

- En el caso del **bosque**, y considerando que la finca dispone de un tractor, por lo que no hay que contabilizar su alquiler, los ingresos por leña (24000 €) superan considerablemente los costes anuales (19500 €).
- El balance de los **frutales** es muy positivo, ya que los ingresos anuales (28000 €) son muy superiores a los gastos (4200 €), aunque hay que tener en cuenta que los gastos iniciales de plantación son muy elevados (22260 €) y que tardan bastantes años en entrar en producción.
- En el caso del **huerto**, los costes son muy elevados (25376 €), pero se compensan con unos ingresos también elevados (53515 €).
- El balance de las **vacas** es claramente positivo entre ingresos por leche (42000 €) y costes (15934 €), incluso aunque se contabilizara la hierba que consumen (11862 €).
- Los **terneros** también tienen un balance positivo entre ingresos (13200 €) y costes (7190 €), aunque sin contabilizar la hierba que consumen (8516 €).
- En el caso de los **conejos**, los ingresos previstos por la venta de la carne (9600 €) superan los costes anuales (6222 €), siempre que no se contabilicen los costes de la hierba que consumen en el prado (6048 €).
- Con respecto a los **pollos**, los ingresos previstos por la venta de la carne (33600 €) superan considerablemente los costes anuales (22269 €), y en este caso los costes no se aumentan mucho por las entradas internas (1680 €).
- Finalmente, para las **gallinas**, los ingresos previstos por huevos (10500 €) también superan considerablemente los costes anuales (4760 €).

■ Aspectos a tener en cuenta sobre las variaciones del balance a nivel de finca

Los valores anteriores se basan en rendimientos óptimos que permiten minimizar los gastos y mantener los ingresos previstos en todos los elementos de la finca. Sin embargo, en muchos casos las condiciones internas o externas a la finca **no permiten desarrollar el proyecto en condiciones óptimas:**

- De entrada, hay que considerar que **sólo se han incluido los costes de producción**, pero que una finca tiene otros gastos de gestión y comercialización que en este caso no se han tenido en cuenta. Se han considerado los costes hasta la producción de la materia prima, no se han incluido los posibles costes de procesado de los productos, que también tienen un precio distinto de venta. Además, se ha considerado que todos los productos se venden al precio propuesto, lo cual a menudo no es posible.
- **Frecuentemente no es posible disponer de todos los elementos** propuestos en esta finca piloto y, en ocasiones, no todos están en producción por diferentes circunstancias. Dependiendo de cual no está en funcionamiento en un determinado momento, el resultado del balance es obviamente distinto.
- Por otra parte, se deben considerar **las posibles variaciones climáticas** que se puedan producir, como períodos de extremo calor o extremo frío que pueden afectar en gran medida a la supervivencia y crecimiento de los animales, o períodos de extrema sequía que pueden limitar el crecimiento de las plantas, principalmente del pasto. Grandes catástrofes naturales como la reciente tormenta Gloria también pueden provocar importantes pérdidas en las instalaciones.

En cualquier caso, los resultados de costes, ingresos y balances de Polyfarming en su conjunto y de los diferentes elementos por separado permiten cuantificar los factores que pueden modificarlos y saber que puede ser más o menos rentable para la finca según la situación que se presente en cada momento. En estos cálculos se integra la idea de que, en Polyfarming, con el mismo personal se optimizan los trabajos en el tiempo y en el espacio, y, además, se utilizan subproductos de un elemento para otros dentro de la finca.



Beneficios del sistema Polyfarming

- Beneficios ambientales, productivos y económicos del sistema Polyfarming





Beneficios del sistema Polyfarming

Beneficios ambientales, productivos y económicos del sistema Polyfarming

- Principales beneficios del sistema Polyfarming
- Mejora de las condiciones del suelo
- Aumento de la biodiversidad I. Organismos del suelo
- Aumento de la biodiversidad II. Aves
- Reversión del abandono rural

Principales beneficios del sistema Polyfarming

La aplicación del sistema Polyfarming tiene importantes beneficios a nivel ambiental, productivo y económico. En concreto: (1) la mejora de las condiciones del suelo, (2) el aumento del secuestro de carbono y la lucha contra el cambio climático, (3) la reducción del riesgo de incendio, (4) el aumento de la biodiversidad, (5) la mayor diversidad y calidad de los productos obtenidos, y (6) la reversión de la tendencia al abandono del medio rural.

BENEFICIOS



Figura 1. Esquema que refleja los beneficios derivados de aplicar el sistema Polyfarming.

■ Beneficios ambientales, productivos y económicos del sistema Polyfarming

La gestión plurifuncional de fincas de montaña, como es el caso del sistema Polyfarming, tiene numerosos beneficios a todos los niveles (Figura 1).

A) Beneficios ambientales. El sistema Polyfarming utiliza unas técnicas que mejoran las condiciones del suelo. Esto se traduce en un **aumento del secuestro de carbono** en la tierra, contribuyendo de esta manera a la lucha contra el cambio climático. A su vez, crea discontinuidad a nivel de paisaje y a nivel local, y, con ello, consigue **disminuir el riesgo de incendio** y generar hábitats, aumentando así la biodiversidad vegetal y animal.

B) Beneficios productivos. Las fincas gestionadas según el sistema Polyfarming pasan a ser productivas. Las técnicas que propone este sistema permiten **mejorar los recursos de la finca**, creando un nuevo sistema productivo en el que se establecen sinergias entre los diferentes usos y que se gestiona con menor dependencia de insumos externos. Esto resulta en **alimentos más saludables y nutritivos**, libres de pesticidas, fertilizantes y medicamentos.

C) Beneficios económicos y sociales. El sistema Polyfarming

beneficia a los agricultores, ya que plantea una alternativa **económicamente viable** para la recuperación de granjas abandonadas o en proceso de abandono de la montaña mediterránea.

A continuación se describen algunos de los principales impactos beneficiosos de la aplicación del sistema Polyfarming.

• Mejora de las condiciones del suelo

El modelo regenerativo tiene como objetivo principal mejorar las condiciones del suelo. Por ello, el sistema Polyfarming se focaliza en **recuperar su cubierta vegetal e introducir materia orgánica en el suelo**. Todo ello conlleva una serie de mejoras de las condiciones del suelo, en concreto:

- **La estructura y la fertilidad** de los suelos mejora al dejar los materiales vegetales en superficie. Esto facilita la recuperación de la materia orgánica y la red trófica del suelo, y permite la disminución del uso de maquinaria, lo que también reduce la presencia de suelo descubierta y el riesgo de erosión.
- El incremento de materia orgánica del suelo también conlleva el **aumento de su capacidad de retención de agua**, ya que la fracción orgánica del suelo es altamente

hidrófila. Esto incrementa la humedad aprovechable para las plantas.

• Aumento del secuestro de carbono y lucha contra el cambio climático

El cambio climático es uno de los principales riesgos que afronta el Planeta, en la región mediterránea en particular. El sistema Polyfarming consigue un balance positivo de carbono del sistema productivo a nivel de finca:

- Por una parte, se produce **un mayor secuestro de carbono en el suelo** por dos procesos diferentes: aumentar la materia orgánica en el suelo y no labrarlo. La aplicación de las diferentes técnicas propuestas en el sistema Polyfarming representa una importante incorporación de materia orgánica al suelo. Esto promueve la creación de humus estable en el suelo como resultado de la actividad biológica del mismo. Pero es que, además, al arar el suelo se destruye su estructura y se libera gran parte del carbono que contiene. En cambio, el modelo regenerativo, **a través de no labrar y cubrir el suelo con plantas**, revierte este proceso. El modelo regenerativo desarrollado en Polyfarming implica que los suelos no pierden carbono, sino que lo almacenan.

- Por otra parte, con el sistema Polyfarming se reducen significativamente **las emisiones de gases de efecto invernadero**, ya que el modelo regenerativo no tiene insumos de pesticidas y fertilizantes sintéticos, que requieren un gran coste de energía para ser producidos y, además, necesita muchos menos combustibles fósiles por su menor uso de maquinaria pesada.

• Reducción del riesgo de incendio

El sistema Polyfarming, como otros sistemas agrosilvopastoriles, representa una buena forma de **reducir el riesgo de incendio, que ha ido aumentando en las últimas décadas** debido a la desaparición de espacios abiertos (campos de cultivo, pastos y dehesas) y la densificación de las masas forestales (incremento horizontal y vertical de la vegetación).

El mantenimiento de las granjas a través de la aplicación de un sistema rentable como Polyfarming no sólo **incrementa la diversidad paisajística**, sino que también genera paisajes menos vulnerables a los incendios. Esto es así porque conserva zonas abiertas con baja continuidad del combustible. Lo consigue gracias a que **los animales de las granjas reducen la carga de combustible** del sotobosque. Además, **el pastoreo con una carga animal adecuada en el sotobosque**, el bosque o la dehesa reduce la continuidad vertical de la vegetación.

• Aumento de la biodiversidad

El sistema Polyfarming promueve el aumento de la biodiversidad de forma directa e indirecta por varias razones.

- **A nivel de paisaje**, se promueve la recuperación de espacios abiertos, que en zonas mediterráneas es el ambiente adecuado de muchas especies, y también la **mejora de la madurez del bosque**, que está asociada con una fauna y flora característica.

- Por otra parte, **a nivel local** la combinación de árboles, pastos y cultivos que caracteriza el sistema Polyfarming favorece una **mayor diversidad de hábitats con amplios gradientes de humedad y luz**. Esto crea una heterogeneidad ambiental en la que pueden encontrar refugio o alimento numerosas especies de microorganismos, animales o plantas.

En las fichas 'Aumento de biodiversidad I: organismos del suelo' y 'Aumento de biodiversidad II: aves' se describen los patrones de biodiversidad de dos grupos de organismos en el sistema Polyfarming.

• Mayor diversidad y calidad de los alimentos obtenidos

El modelo regenerativo desarrollado en el sistema Polyfarming promueve una **nutrición y salud óptimas**. Para ello, apuesta por una producción equilibrada, saludable y de calidad.

- Un sistema compuesto por diferentes elementos es capaz de proporcionar una **gran diversificación de productos**: leña, madera, forraje, grano, fruta, verduras y hortalizas de muchos tipos, carne de diferentes animales, leche y huevos.

- Además, los alimentos producidos tienen un **gran valor nutritivo**. Así, la carne obtenida presenta una mayor densidad y un contenido más elevado en vitaminas (A, D y K) y grasas de calidad (Omega-3). La leche de las vacas criadas en el prado también tiene más grasas Omega-3, vitamina E y betacaroteno que la leche convencional. Las verduras cultivadas de manera regenerativa también contienen niveles mucho más altos de antioxidantes que las variedades cultivadas de manera convencional.

- Finalmente, en los **cultivos regenerativos** no se utilizan agroquímicos, que son productos que tienen un elevado coste para la salud humana y el medio ambiente, mientras que los **animales criados en el prado** de acuerdo al sistema Polyfarming también tienen menos enfermedades y necesitan menos medicamentos. Todo ello genera ambientes y alimentos más sanos.

• Reversión de la tendencia al abandono del medio rural

Uno de los objetivos principales del sistema Polyfarming es **revertir el abandono rural**. Lo consigue transformando las explotaciones agrícolas y ganaderas abandonadas en fincas rentables, teniendo en cuenta los **siguientes principios**: (i) **evita la dependencia** de insumos de mercado y de maquinaria pesada para la gestión del sistema; (ii) propone **tecnologías accesibles** para todos los productores y aplicables a diferentes escalas; (iii) **mejora la rentabilidad económica** de las explotaciones; (iv) permite crear **empleo**, especialmente para los jóvenes; (v) debe ir ligado con nuevos modos de venta de los productos; y (vi) plantea recuperar la **soberanía alimentaria**, que implica poder producir alimentos de calidad para toda la sociedad, sin que haya un control por parte de grandes lobbies externos. La descripción detallada de estos principios se explica en la ficha de beneficios del sistema Polyfarming 'Reversión del abandono rural'.

Mejora de las condiciones del suelo

El sistema Polyfarming, basado en la incorporación de materiales vegetales al suelo, mejora las condiciones del suelo en los lugares en los que se aplica. Tras haber desarrollado en la finca Planeses este modelo durante tres años, se ha doblado prácticamente la materia orgánica del suelo en los diferentes elementos del sistema. Esto viene acompañado por un incremento de la cantidad de nitrógeno, una mayor relación C/N y una mayor cantidad de agua en capacidad de campo en estas zonas, en comparación con otras en las que se aplica un sistema convencional.

■ Cambios en el suelo como resultado del modelo regenerativo

El stock potencial de carbono más importante de los sistemas naturales es el suelo. Una de las problemáticas actuales es que el modelo convencional destruye la estructura del suelo con el arado y favorece la mineralización de la materia orgánica al removerlo continuamente, liberando así a la atmósfera el carbono que estaba retenido en el suelo. En contraposición, **el modelo regenerativo busca preservar la estructura del suelo y alimentar su red trófica**, disminuyendo el carbono de la atmósfera e introduciéndolo en el suelo. De esta manera, el suelo se convierte de nuevo en un gran reservorio de carbono, una función que ha ido perdiendo desde hace décadas.

El modelo regenerativo procura que los aprovechamientos no afecten significativamente el potencial productivo del suelo, a la vez que reduce al máximo las aportaciones externas y mantiene los principales stocks de carbono. Para ello, **mejora las condiciones del suelo mediante la incorporación de materiales vegetales al mismo**. Esta materia orgánica incorporada en superficie aporta nutrientes y juega un papel importante en la cobertura de la superficie del suelo y en el aumento del agua de reserva para las plantas.

■ Mejora de las condiciones del suelo

En los componentes de Polyfarming, que se han desarrollado en la finca Planeses desde 2017, ya se han obtenido **mejoras importantes de diversas características del suelo**. El estudio de estas características se realizó al inicio de la aplicación de Polyfarming (2017) y tres años después (2020) en los siguientes hábitats: (A) bosque maduro, (B) prado donde pastan las vacas, (C) prado donde están los pollos y los conejos (sólo en 2020), (D) huerto sin labranza, y (E) huerto de una finca vecina donde se realiza una agricultura convencional (**Figura 1**). Se han analizado cuatro de los principales aspectos relacionados con la fertilidad y la productividad de los suelos.

• Materia orgánica

La materia orgánica corresponde a los materiales orgánicos humificados. Presenta mayor estabilidad que la materia vegetal de la que procede y representa un stock muy importante dentro del sistema. Es el **principal indicador de la cantidad de carbono que puede almacenar un suelo** e,

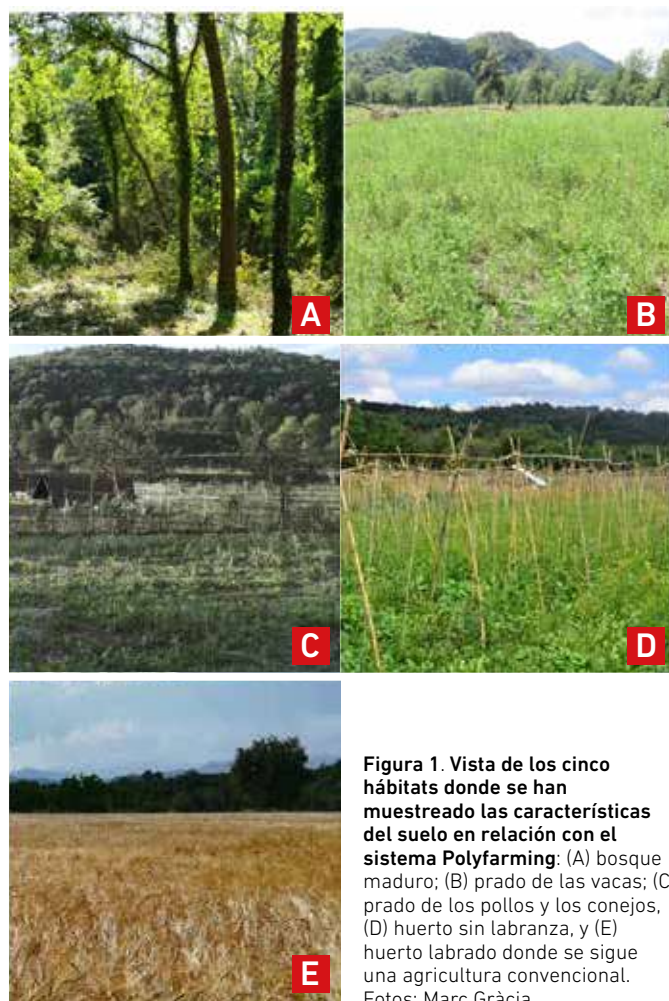


Figura 1. Vista de los cinco hábitats donde se han muestreado las características del suelo en relación con el sistema Polyfarming: (A) bosque maduro; (B) prado de las vacas; (C) prado de los pollos y los conejos, (D) huerto sin labranza, y (E) huerto labrado donde se sigue una agricultura convencional. Fotos: Marc Gràcia.

indirectamente, de la cantidad de agua disponible para las plantas- como la materia orgánica del suelo es altamente hidrófila, es capaz de retener entre 4 y 6 veces más agua que su propio peso. En la **Figura 2** se muestran los cambios en el **% de materia orgánica del suelo entre el inicio de la aplicación del sistema Polyfarming (2017) y tres años después (2020)** en los cuatro hábitats considerados (no se incluye el pasto de pollos porque no hay datos disponibles para 2017). Tal como se esperaba, el valor más alto de materia orgánica se obtiene en los dos muestreos en el bosque. En los dos hábitats en los que se aplicó Polyfarming (prado de las vacas y huerto sin labranza) se observa un **aumento prácticamente del doble de la cantidad de materia orgánica**. En cambio, el huerto convencional mantiene valores muy inferiores tanto en 2017 como en 2020 (**Figura 2**).

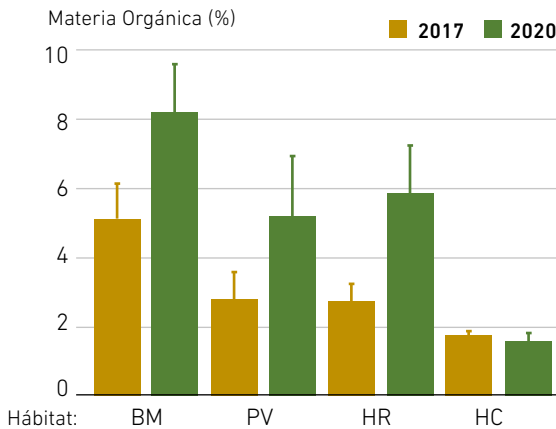


Figura 2. Cambios en el % de materia orgánica del suelo (media \pm desviación estándar) entre el inicio de la aplicación del sistema Polyfarming (2017) y tres años después (2020) en los cuatro hábitats considerados: bosque (BM), prado de las vacas (PV), huerto regenerativo (HR) y huerto convencional (HC).

• Nitrógeno

El nitrógeno se ha medido a través del **método Kjeldahl**, que incluye tanto el nitrógeno orgánico como el que está en forma de NH_4 , es decir, el nitrógeno que de una manera u otra está disponible para las plantas. Los valores altos de nitrógeno están asociados al incremento de los niveles de materia orgánica. En **el bosque y en el huerto sin labranza es donde se obtienen los valores más altos de nitrógeno**, mientras que tanto en el prado de las vacas como en el de los pollos y conejos los valores son intermedios (**Figura 3A**). Los valores más bajos se encuentran en el huerto convencional.

• Relación C/N

La relación C/N del suelo varía fundamentalmente en función de la relación C/N de la materia orgánica vegetal existente. **Un suelo se considera fértil si el valor numérico de esta relación se encuentra en torno a 10** (entre 8 y 12), valor que indica que hay aportes importantes de materia orgánica fresca. En los hábitats considerados en el estudio, los dos que tienen un valor muy cercano a 10 son el bosque y el prado de las vacas (**Figura 3B**), confirmando que son suelos fértiles. En los otros dos hábitats de Polyfarming, el prado de pollos y conejos y el huerto sin labranza, el valor obtenido es ligeramente menor, alrededor de 8, todavía en el rango de suelos equilibrados. En cambio, en el huerto convencional la relación C/N tiene un valor de 6, lo que indica que hay pocos aportes de materia vegetal y una velocidad de mineralización lenta.

• Cantidad de agua en capacidad de campo

El contenido de agua en capacidad de campo corresponde al agua que queda en el suelo a las 24 horas de saturarlo, e indica la capacidad de retención de agua útil para las plantas. Los valores más altos de agua disponible para las plantas se sitúan en el bosque seguidos por el huerto sin labranza y el prado de las vacas (**Figura 3C**). El prado de

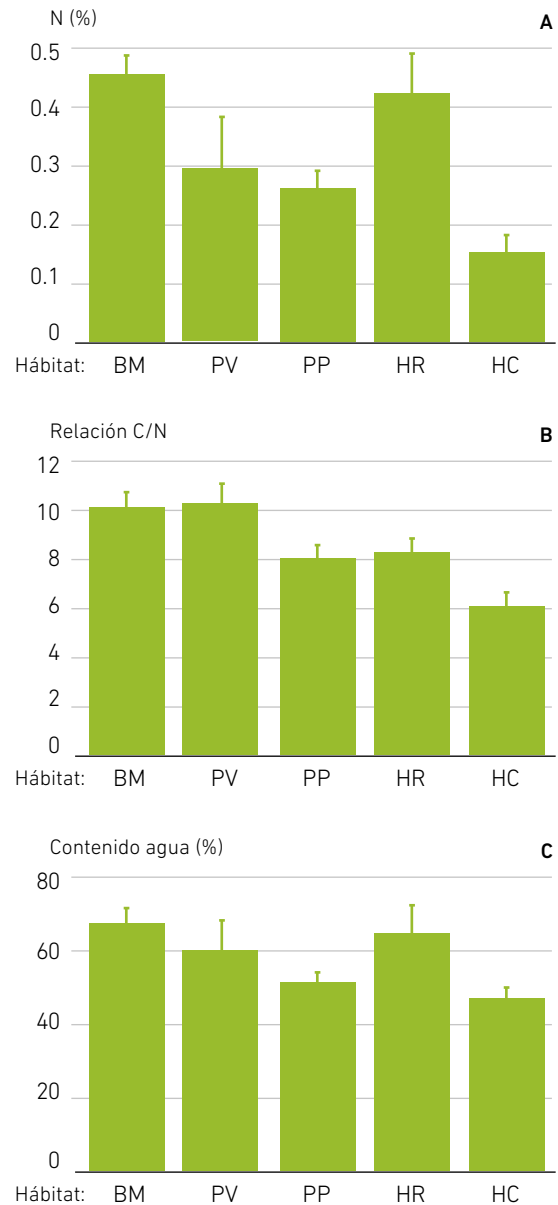


Figura 3. Valores (media \pm desviación estándar) de (A) nitrógeno total (%), (B) relación C/N, y (C) agua en capacidad de campo (%) en los cinco hábitats considerados: bosque (BM), prado de las vacas (PV), prado de pollos y conejos (PP), huerto regenerativo (HR) y huerto convencional (HC), después de tres años de funcionamiento del sistema Polyfarming.

los pollos y conejos tiene un valor intermedio y el valor más bajo se da en el huerto convencional.

A partir de estos resultados se puede concluir que **el sistema Polyfarming representa una importante mejora de los suelos** en los que se aplica. Así, la materia orgánica del suelo, que se considera un indicador de la salud de éste, prácticamente se dobla en tres años en las zonas donde se implementa el modelo regenerativo. Esto viene acompañado por un incremento de la cantidad de nitrógeno, una mayor relación C/N y una mayor cantidad de agua en capacidad de campo en estas zonas en comparación con otras en las que se aplica un sistema convencional.

Aumento de la biodiversidad I.

Organismos del suelo

El estudio de la biodiversidad de organismos del suelo en relación con el sistema Polyfarming se ha llevado a cabo en los siguientes hábitats: bosque maduro, prado donde pastan las vacas, prado donde se encuentran los pollos, huerto sin labranza, y huerto convencional de una finca vecina. Se observa un gran aumento de las unidades taxonómicas, OTUs, cuando se consideran todos los hábitats conjuntamente, tanto para bacterias como para hongos e invertebrados. Los análisis de ordenación muestran una composición similar tanto de bacterias como de hongos en el bosque, el huerto sin labranza y el prado de pollos, mientras que la composición de estos microorganismos en el prado de vacas y el huerto convencional es claramente distinta.

Tipos de organismos del suelo

El conjunto de organismos que viven en el suelo constituye la **red trófica del suelo**, RTS. **Un suelo sano alberga una compleja red trófica**, desde los microorganismos (bacterias, hongos, protozoos, nematodos), hasta la meso y macrofauna del suelo (lombrices, artrópodos, moluscos) (Figura 1).

- **Bacterias.** Las bacterias desempeñan importantes funciones en el suelo, incluyendo el reciclaje de los nutrientes, por la descomposición de la materia orgánica, y la mejora de la estructura y la agregación del suelo. Las bacterias forman microagregados en el suelo uniendo las partículas del suelo junto con sus secreciones creando una **estructura que aumenta la infiltración** y la capacidad de retención de agua.
- **Hongos.** Los hongos participan principalmente en la descomposición de materiales vegetales como celulosa, hemicelulosas, pectina o lignina, antes de ser atacados por bacterias. Gracias a la estructura filamentosa de su micelio, también **desempeñan un papel en la constitución y la conservación de la estructura del suelo**, ya que las hifas retienen sólidamente las partículas minerales y contribuyen a la formación y a la estabilidad de los agregados de la tierra.
- **Nematodos.** Los nematodos son los invertebrados más

abundantes en muchos suelos. La mayoría tienen un tamaño inferior a las 100 micras. **Regulan las poblaciones de bacterias y hongos alimentándose de ellos** e intervienen en el reciclado de los nutrientes.

- **Meso y macrofauna.** Son invertebrados del suelo que rondan las 100 micras y los 20 mm. Incluye diferentes grupos de artrópodos, moluscos y también anélidos. Tienen diversas funciones en el suelo: regulan las poblaciones de hongos y de la microfauna alimentándose de ellos, fragmentan los restos vegetales, intervienen en el reciclado de nutrientes y se mueven creando poros y agregados que mejoran la tasa de infiltración y aireación del suelo.

Presencia de los distintos grupos de organismos del suelo en los diferentes hábitats

En la finca Planeses la implementación del sistema Polyfarming ha consolidado una serie de hábitats con características muy contrastadas. El estudio de biodiversidad de organismos del suelo se ha realizado **en los siguientes hábitats**: el bosque maduro, el prado donde pastan las

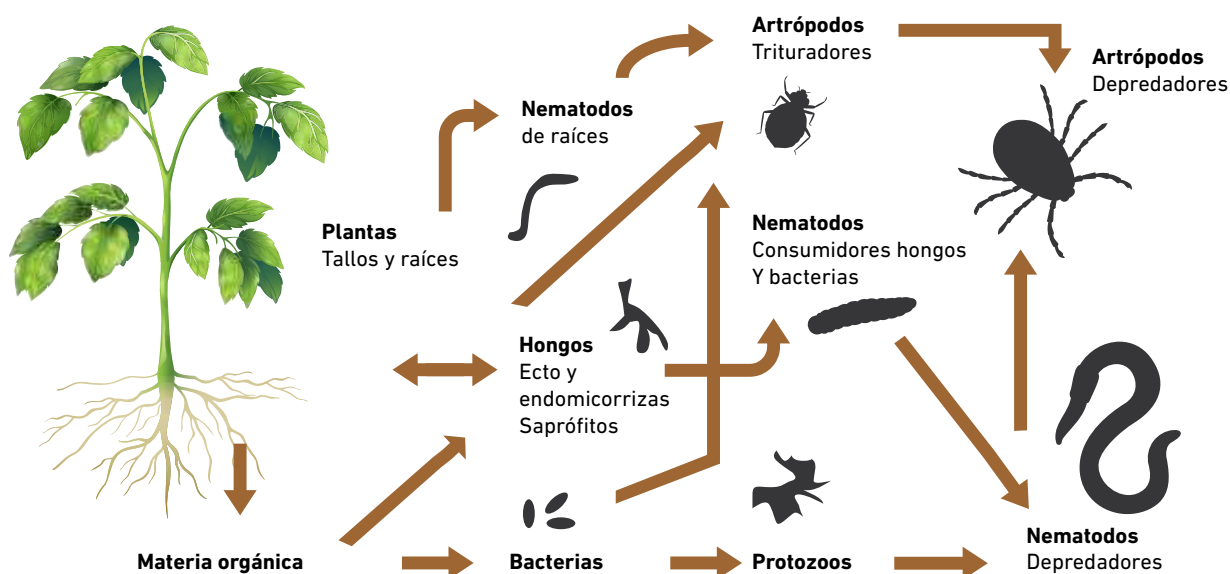


Figura 1. Esquema de la red trófica del suelo, muestra los principales grupos de organismos que viven en él.

vacas, el prado donde están los pollos y los conejos, el huerto sin labranza, y un huerto de una finca vecina donde se realiza una agricultura convencional. En la ficha "Mejora de las condiciones del suelo" se muestran todos ellos. En una muestra de suelo de cada hábitat, y utilizando la técnica de metabarcoding en la que se extrae el ADN presente en ella, se ha podido **estimar la biodiversidad de los diferentes grupos de organismos del suelo**: bacterias, hongos e invertebrados (incluyendo nematodos, anélidos y artrópodos), a partir de la secuenciación, identificación y cuantificación de unidades taxonómicas u **OTUs (Operational Taxonomical Units)** obtenidos de la muestra. Los resultados del número de OTUs de cada grupo identificados en cada hábitat y en total están recogidos en la **Tabla 1**.

- **Bacterias.** En total se han identificado **6886** OTUs diferentes. El número es muy alto, aunque esperable, ya que investigaciones recientes estiman que en un gramo de muestra típica de suelo puede haber miles de especies de bacterias. **El valor más alto se ha hallado en el prado de los pollos** y en el huerto convencional, y el más bajo en el bosque.
- **Hongos.** Se han identificado **674 OTUs distintas**. El mayor número de ellas se encuentran en el **prado de vacas**, seguido del bosque y el huerto sin labranza. El número claramente más bajo se encuentra en el huerto convencional.
- **Nematodos.** El total de OTUs de nematodos ha sido de **22**. El número encontrado **en los diferentes hábitats es muy similar**, oscilando entre 5 y 7.
- **Otros invertebrados.** En las muestras de

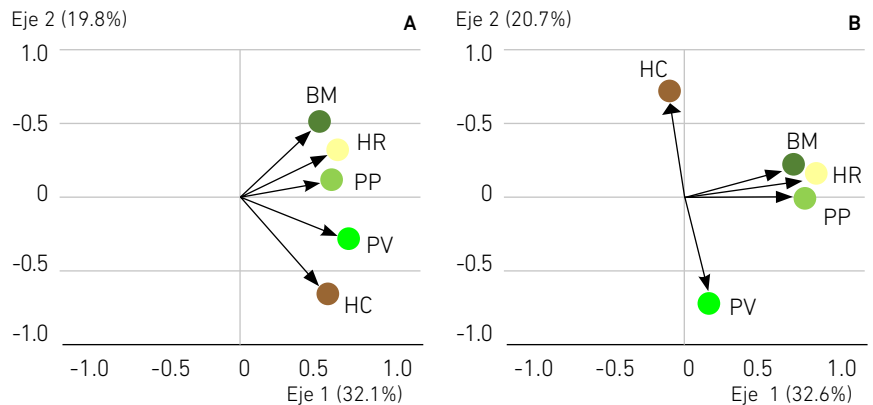


Figura 2. Distribución de los cinco hábitats muestreados a lo largo de los dos primeros ejes del Análisis de Componentes Principales (ACP) realizado para las **unidades taxonómicas (OTUs)** de bacterias **(A)** y hongos **(B)**. BM, bosque maduro; PV, prado de las vacas; PP, prado de los pollos; HR, huerto regenerativo; HC, huerto convencional.

suelo se han identificado anélidos y artrópodos diversos. **Los anélidos** (en total 11 OTUs) **son más abundantes en todos los hábitats de Polyfarming** excepto, sorprendentemente, en el bosque y tampoco se han encontrado en el huerto convencional. Los **artrópodos** (en total 18 OTUs) se encuentran **en todos los hábitats**, en menor medida en el prado de las vacas.

Un análisis de ordenación (ACP, Análisis de Componentes Principales), realizado con las OTUs de los diferentes hábitats, muestra los patrones que aparecen en la Figura 2 para los datos de bacterias y hongos por separado. En el caso de las bacterias (**Figura 2A**) se observa una proximidad (que indica una composición de bacterias similar) entre el bosque, el huerto sin labranza y el prado de pollos. El prado de las vacas queda más separado y el huerto convencional es el que está más lejos a lo largo del segundo eje. El gráfico ACP de los hongos (**Figura 2B**) muestra un patrón similar pero aún más claro: el bosque, el huerto sin labranza y el prado de pollos están muy juntos y distribuidos a lo largo del primer eje, mientras que el prado de vacas queda en un extremo del eje 2, ya que tiene más OTUs de hongos que los otros hábitats, y el huerto convencional, claramente con menos OTUs de hongos, en el otro extremo de este eje. Estos resultados muestran que, en general, **la composición del huerto convencional es claramente distinta de la de los restantes hábitats**. Esto puede estar relacionado con el hecho de que las prácticas agrícolas convencionales no son normalmente propicias para el mantenimiento de altos niveles de biodiversidad de organismos del suelo.

HÁBITAT	BACTERIAS	HONGOS	NEMATODOS	ANÉLIDOS	ARTRÓPODOS
Bosque	1616	183	6	0	7
Prado de vacas	1971	253	6	5	2
Prado de pollos	2274	135	5	4	6
Huerto sin labranza	2165	187	6	5	7
Huerto convencional	2252	112	7	0	5
Total	6886	674	22	11	18

Tabla 1. Número de unidades taxonómicas u OTUs (Operational Taxonomical Units) identificadas de los diferentes grupos de organismos en una muestra de suelo de cada uno de los cinco hábitats considerados.

Aumento de la biodiversidad II. Aves

El sistema Polyfarming integra diferentes usos a nivel de finca y, como resultado, genera distintos hábitats para la fauna y la flora. Al establecer hábitats contrastados, que incluyen zonas de bosque cerrado, bosque muy abierto o dehesa, zonas de pasto y huerto, Polyfarming aumenta en conjunto la riqueza de especies de aves, ya que en cada hábitat conviven especies distintas. En el bosque y la dehesa predominan las especies típicas de bosque, mientras que en el prado y el huerto aparecen especies propias de zonas abiertas y de zonas agrícolas.

■ Biodiversidad de aves en los diferentes hábitats de Polyfarming

En el sistema Polyfarming la integración de diferentes usos a nivel de finca genera **diferentes hábitats para la fauna y la flora**: espacios abiertos de prado o de huerto adecuados para muchas especies, y zonas de bosque con diferentes tipos de gestión, incluyendo rodales con signos de madurez que también permiten la presencia de especies propias de bosques maduros. En la finca Planeses el sistema Polyfarming ha consolidado una serie de hábitats con características muy contrastadas. En **cuatro de estos hábitats se ha analizado la composición de aves durante todo el año a lo largo de tres años (Figura 1)**: bosque maduro, zona de dehesa, prado donde pastan las vacas y huerto sin labranza.

Los valores totales de los muestreos de aves en los diferentes hábitats se presentan en la **Tabla 1**. A lo largo de tres años se identificaron 2312 individuos. De ellos, **el mayor número se encuentra en la zona de pasto (Tabla 1)**, principalmente por la presencia de individuos de *Passer domesticus* (**Figura 2A**), que representan más del 50% de los registros. El número total de especies hallado en los muestreos es elevado, 41, y también en el pasto es donde encontramos el mayor número de ellas (35), seguido por la dehesa (25), el huerto (20) y el bosque (17). La diversidad total (índice de Shannon) es 1.75. **Los valores de diversidad más altos** por zonas son los del bosque (2.40) y la dehesa (2.67), mientras que los más bajos son los de las zonas abiertas, el prado (1.27) y el huerto (1.14), principalmente por la gran abundancia de *P. domesticus*.

COMPONENTE	# INDIVIDUOS	RIQUEZA	DIVERSIDAD
Bosque	134	17	2.40
Dehesa	219	24	2.67
Pasto	1577	35	1.27
Huerto	382	20	1.14
Todos	2312	40	1.75

Tabla 1. Valores de riqueza y diversidad de las cuatro zonas donde se han muestreado las aves en la finca Planeses.

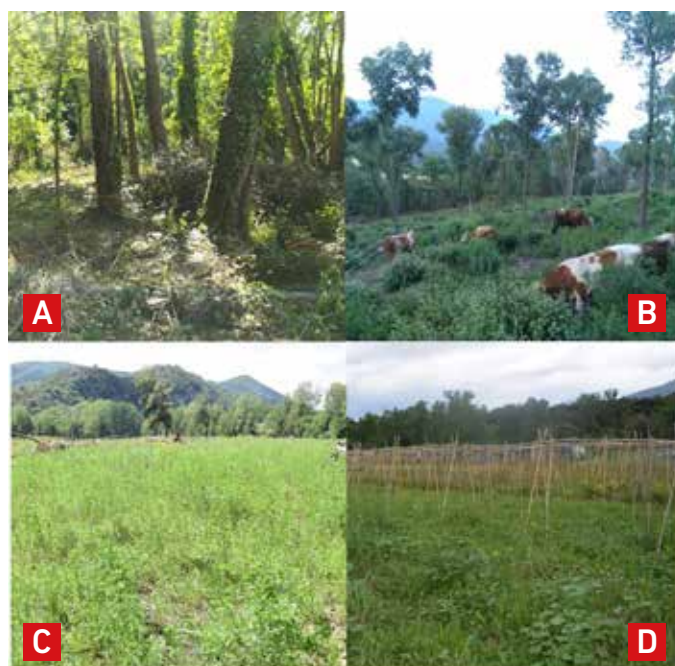


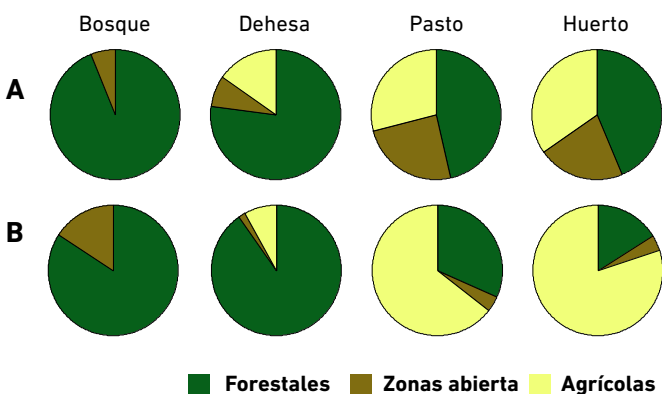
Figura 1. Vista de los cuatro hábitats donde se ha muestreado la biodiversidad de aves en la finca de Planeses: (A) bosque maduro; (B) dehesa; (C) prado de las vacas; (D) huerto sin labranza. Fotos: Marc Gràcia.



Figura 2. (A) Gorrión común (*Passer domesticus*). Foto: Pixabay, Oldiefan. (B) Mirlo (*Turdus merula*). Foto: Pixabay, Oldiefan. (C) Petirrojo (*Eritacus rubecula*). Foto: Pixabay, Manfredricher.

ESPECIE	BOSQUE	DEHESA	PASTO	HUERTO
<i>Aegithalos caudatus</i>	0.0	1.8	0.7	0.0
<i>Anthus pratensis</i>	0.0	0.0	0.3	0.3
<i>Carduelis cannabina</i>	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Carduelis carduelis</i>	0.0	1.4	0.9	1.0
<i>Carduelis chloris</i>	0.0	0.0	0.4	0.0
<i>Certhia brachydactyla</i>	9.0	4.6	0.1	0.3
<i>Cisticola juncidis</i>	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Columba palumbus</i>	7.5	1.8	0.2	0.0
<i>Corvus corax</i>	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Corvus corone</i>	0.7	0.0	0.3	0.0
<i>Cyanistes caeruleus</i>	0.0	1.8	0.1	0.0
<i>Dendrocopos major</i>	0.0	1.4	0.0	0.0
<i>Emberiza cirius</i>	0.0	0.5	0.4	1.0
<i>Erithacus rubecula</i>	17.9	16.9	0.9	1.6
<i>Fringilla coelebs</i>	11.2	9.6	26.7	3.7
<i>Garrulus glandarius</i>	8.2	1.8	0.3	0.3
<i>Hippolais polyglotta</i>	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Hirundo rustica</i>	0.0	0.0	0.1	0.3
<i>Luscinia megarhynchos</i>	1.5	3.2	0.3	1.3
<i>Motacilla alba</i>	0.0	0.0	1.8	0.8
<i>Oriolus oriolus</i>	0.0	0.5	0.2	0.0
<i>Parus major</i>	2.2	6.8	0.3	0.5
<i>Passer domesticus</i>	0.0	1.4	61.4	76.7
<i>Passer montanus</i>	0.0	0.0	0.1	1.3
<i>Phoenicurus ochruros</i>	0.0	0.5	0.6	0.8
<i>Phylloscopus bonelli</i>	1.5	0.0	0.0	0.0
<i>Phylloscopus collybita</i>	0.7	0.9	0.3	0.0
<i>Picus viridis</i>	3.7	2.7	0.1	0.0
<i>Prunella modularis</i>	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Regulus ignicapilla</i>	1.5	0.9	0.0	0.0
<i>Saxicola rubetra</i>	0.0	0.0	0.1	0.0
<i>Serinus serinus</i>	0.0	3.7	0.8	0.8
<i>Sitta europaea</i>	0.7	0.0	0.0	0.0
<i>Streptopelia turtur</i>	0.0	0.0	0.1	0.3
<i>Sylvia atricapilla</i>	10.4	7.3	0.5	2.4
<i>Sylvia communis</i>	0.7	0.0	0.0	0.0
<i>Sylvia melanocephala</i>	0.0	0.9	0.1	0.0
<i>Troglodytes troglodytes</i>	0.7	2.7	0.2	0.3
<i>Turdus merula</i>	18.7	17.8	1.3	1.6
<i>Turdus philomelos</i>	3.0	9.1	0.2	5.0
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0

Tabla 2. Composición de especies identificadas en las cuatro zonas de la finca Planeses. Los valores son los porcentajes de individuos de las diferentes especies identificados en todos los muestreos realizados en cada una de las zonas.



En la **Tabla 2** se da la composición de especies en las cuatro zonas. El bosque y la dehesa tienen una composición parecida de especies, predominando *Turdus merula* (**Figura 2B**), *Erithacus rubecula* (**Figura 2C**) y *Fringilla coelebs*. También son similares la composición de especies en el pasto y el huerto, destacando *P. domesticus* en ambas zonas y *F. coelebs* en el pasto. En total, 7 especies se han identificado sólo en el pasto, 3 sólo en el bosque y 2 sólo en la dehesa, mientras que todas las especies que aparecen en el huerto también están en alguna otra zona.

La gran mayoría de las especies (94%) e individuos (84%) encontrados en el bosque son típicos de bosque (Figura 3). También son forestales la mayoría de especies (76%) e individuos (90%) de la dehesa. En cambio, **tanto en el prado como en el huerto la mayoría de individuos son de zonas agrícolas (64 y 80%, respectivamente)**, mientras que a nivel de especies dominan las especies forestales (46 y 44% respectivamente), siendo similares las proporciones de especies agrícolas y las de zonas abiertas (**Figura 3**).

La conclusión que se extrae de estos resultados es que la implementación del **sistema Polyfarming conlleva un aumento de la biodiversidad de pájaros en conjunto.** La razón es que genera hábitats muy contrastados, incluyendo zonas de bosque cerrado, bosque muy abierto o dehesa, zonas de pasto y huerto, lo que favorece la presencia de especies típicas de bosque, de zonas abiertas y de zonas agrícolas.

Figura 3. Proporción de (A) especies e (B) individuos en tres categorías de especies: forestales (verde), de zonas abiertas (marrón) y agrícolas (amarillo) en los cuatro hábitats de Polyfarming muestreados.

Reversión del abandono rural

El sistema Polyfarming plantea revertir el abandono rural rentabilizando las explotaciones en base a los siguientes principios: (i) evitar la dependencia de insumos de mercado y de maquinaria pesada para la gestión del sistema; (ii) utilizar tecnologías accesibles para todos y aplicables a diferentes escalas; (iii) mejorar la rentabilidad económica de las explotaciones a partir de los puntos anteriores; (iv) promover la creación de empleo, especialmente para los jóvenes; (v) establecer nuevos modos de venta de los productos; y (vi) recuperar la soberanía alimentaria, que implica poder producir para toda la sociedad alimentos de calidad sin que exista un control por grandes lobbies externos.



Figura 1. Huerto sin labranza de la finca Planeses (Girona), donde no se utilizan agroquímicos externos ni maquinaria para labrar el suelo. Foto: MJ Broncano.

■ El sistema Polyfarming como herramienta para revertir el abandono rural

El modelo regenerativo debe ser el **futuro motor de la España rural**, ya que responde a los principales retos que se plantean a la hora de recuperar la actividad de las zonas rurales. Cuando el modelo regenerativo se aplica, como sucede en el caso del **sistema Polyfarming**, puede **revertir el abandono rural** rentabilizando las explotaciones, ya que **permite producir conservando el medio ambiente en condiciones en las que el modelo actual no es viable**. El sistema Polyfarming plantea la puesta en producción de explotaciones agrícolas y ganaderas abandonadas o no rentables teniendo en cuenta **los siguientes principios**:

- **Evitar la dependencia de insumos externos y de maquinaria pesada**

El modelo productivo convencional depende de las grandes empresas que fabrican los agroquímicos y la maquinaria necesarios para el funcionamiento del sistema, así como del petróleo para producirlos y ponerlos en funcionamiento. Los costes de maquinaria y agroquímicos son los más altos del sistema productivo, por lo que se crea una **dependencia de productos externos** (maquinaria, fertilizantes, herbicidas e insecticidas) que provoca que los productores cada vez deban obtener rendimientos más altos para poder pagarlos, lo cual no es posible para pequeñas explotaciones.

En cambio, **el modelo regenerativo** no requiere labrar el suelo y no utiliza productos agroquímicos (pesticidas, fertilizantes, etc.) (**Figura 1**). Con este modelo, los **costes de producción relacionados con insumos externos se reducen mucho** y además, se evita en gran medida la dependencia tanto del petróleo como de las grandes multinacionales de productos agroquímicos. De esta manera se recupera la rentabilidad de las explotaciones pequeñas.

- **Utilizar tecnologías accesibles y aplicables a diferentes escalas**

La propuesta de Polyfarming es la de un modelo regenerativo sostenible, en el cual **se utilizan diferentes técnicas en el bosque, los cultivos y los animales** que permiten controlar de manera eficiente el retorno de los materiales orgánicos al suelo y el balance mineralización/humificación. Esto **mejora la producción por unidad de superficie** de los campos sin necesidad de insumos externos ni maquinaria. No se trata de volver a implementar un sistema del pasado, al contrario, **el sistema Polyfarming es posible gracias al avance científico** entorno al conocimiento de los procesos naturales. Esto permite saber cómo funciona la nutrición natural de las plantas y los animales y su aplicación técnica de manera integrada, es decir, aprovechando los recursos del entorno.

Un aspecto especialmente relevante de **este modelo es que es escalable**, es decir, puede adaptarse a cualquier tipo de condiciones. Al no tener grandes gastos externos, **no tiene limitaciones de espacio**, se puede aplicar a escalas pequeñas, pero también a gran escala, para lo cual hace falta maquinaria para la siembra o la cosecha, pero respetando siempre los principios regenerativos.

• Mejorar la rentabilidad económica de las explotaciones

La **rentabilidad económica** de las explotaciones basadas en el modelo regenerativo **es mucho más elevada** que la de las que emplean el modelo convencional. De entrada, el modelo regenerativo propuesto en Polyfarming tiene **unos costes de funcionamiento mucho más bajos** que el convencional, por todo lo que se ha comentado en los puntos anteriores: (i) **depende poco del petróleo** y nada de las grandes multinacionales de productos agroquímicos; y (ii) permite trabajar a **escalas pequeñas**, en las que la diferencia de costes se puede asumir, ya que puede ser compensada por estrategias de venta directa.

Además, este sistema plantea optimizar las producciones aprovechando los recursos del bosque, el ganado y los cultivos de la granja mediante: (i) **una economía circular** en la que hay una **complementariedad de productos** a nivel de finca que economiza gastos, ya que lo que sobra de un uso se aplica en otro, y (ii) la **complementariedad de trabajos y mano de obra entre usos en el espacio y el tiempo**, lo que también contribuye a que los costes disminuyan.

• Crear empleo, especialmente para los jóvenes

El sistema Polyfarming **facilita la creación de empleo continuo y de calidad**, especialmente para los jóvenes y otros colectivos desfavorecidos. Esto es así por dos razones básicas: (i) **rentabiliza proyectos que no lo eran** o que incluso no existían, especialmente en zonas donde las oportunidades de trabajar en el medio rural son reducidas; (ii) pero, además, lo consigue porque en proyectos que aplican el sistema Polyfarming **el gasto más importante es el de la mano de obra**, no infraestructuras o maquinaria (ver ficha "Balance de costes e ingresos a nivel de finca del sistema Polyfarming I: costes. Asimismo, crea empleo en regiones con una tasa elevada de abandono rural, en las que se recuperan antiguas explotaciones abandonadas.

• Innovar en nuevos modelos de venta de los productos

El sistema Polyfarming contempla que, junto a la manera de producir, también **es importante la manera de vender**. Por ello, recuperar las relaciones entre las personas (grupos de consumo, mercados locales, relación directa productor-consumidor, etc.) es un principio básico que debe desarrollarse



Figura 2. Tienda de la finca Planeses, donde se venden directamente los alimentos que se producen en la finca. Foto: Ángela Justamante.

(Figura 2). La propia **diversidad de productos** promovida por el sistema Polyfarming favorece el establecimiento de mercados locales con **relación directa entre productor y consumidor**. Esto permite que ambos avancen juntos en los retos que se plantean en la sociedad actual: reutilización de los envases (**economía circular**), retorno y reciclaje de la fracción orgánica al sistema productivo (es decir, todos los restos orgánicos implicados en la producción y la transformación de los alimentos), oferta de producto fresco de calidad y la posibilidad de que el consumidor conozca y visite las granjas donde se producen los productos.

• Recuperar la soberanía alimentaria

La **soberanía alimentaria** es el derecho de cada pueblo a decidir sobre su propio sistema alimentario y productivo y a proteger el mercado local frente a los mercados internacionales. El **valor del modelo regenerativo para recuperar la soberanía alimentaria** se basa en varios de los aspectos que se han tratado en los puntos anteriores: (i) permite alimentar a toda la población de manera **asequible**; (ii) produce alimentos **seguros y saludables** mediante procesos que, además, permiten **secuestrar CO₂** y conservar los recursos naturales y la biodiversidad; (iii) **no depende de grandes lobbies externos**, productores de agroquímicos o maquinaria; (iv) establece una manera directa de relacionar a los productores con los consumidores, promoviendo **mercados locales**, diversificados y basados en precios justos; (v) plantea una diferente manera de alimentarse, basada en una **dieta local** adaptada a las características productivas de cada zona; y (vi) propone el contacto directo entre consumidores, administraciones y las granjas, de forma que pueda descubrirse y valorarse el conocimiento que hay detrás del sector productivo y su papel en la **lucha contra el cambio climático y la conservación de la biodiversidad**.





Conclusiones

- El futuro será regenerativo o no será

El futuro será regenerativo o no será

La crisis ambiental global está altamente relacionada con la manera en que producimos, distribuimos y consumimos los recursos, sobre todo en el ámbito de la alimentación y la energía. El modelo agroalimentario regenerativo es una alternativa ambiental de la producción de alimentos y una propuesta de futuro tanto a nivel local como global. Granjas como Planeses y proyectos como Polyfarming pueden convertirse en centros de referencia, en ejemplos reales y demostrativos para realizar un cambio a sistemas de producción más respetuosos con el medio ambiente. El conjunto de la sociedad tiene que empujar para que modelos como el regenerativo, que nos benefician a todos, puedan consolidarse.

■ Crisis ambiental global: una consecuencia de la actividad humana

En diciembre de 2020, la Unión Europea, 14 países, múltiples ciudades, entidades y universidades declararon el "**Estado de emergencia climática**". Esta declaración involucra la adopción de medidas para lograr disminuir las emisiones de carbono a la atmósfera en un plazo determinado, así como aumentar la conciencia sobre la existencia de una **crisis ambiental global**. Esta crisis también abarca otras emergencias que pueden llegar a ser tan críticas como la climática, como son la pérdida y **degradación de los suelos** (erosión, acidificación, salinización, etc.) y el estado de **alteración de los mares y océanos**.

La crisis ambiental actual está relacionada con el **sistema productivo humano**. El concepto de "huella ecológica" es la medida del impacto de las actividades humanas sobre la naturaleza y representa la superficie necesaria para producir recursos y absorber los impactos de una determinada actividad. En 2020 para satisfacer las necesidades de la humanidad se ha consumido una cantidad de recursos naturales equivalente a 1,75 planetas, y esta huella será de 2,5 planetas en el 2050, según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF en sus siglas en inglés). Para contrarrestar esta tendencia, es **urgente y necesario** cambiar y mejorar la **manera en que producimos, distribuimos y consumimos los recursos** sobre todo en los campos de la **alimentación** y la energía. El Informe Planeta Vivo (2018) del WWF demuestra que el **sistema alimentario actual es insostenible** debido al elevado coste ambiental y social.

1. Ambiental. La producción agropecuaria convencional, que ocupa el 34% de la tierra del Planeta, es responsable del 69% de las extracciones de agua dulce y es la principal causa de la degradación de la salud de los suelos. Junto con el resto del sistema alimentario, genera casi la cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2019). La continuidad del sistema productivo convencional provocará que en las próximas décadas se supere, con creces, lo que la comunidad científica ha definido como el **punto de no retorno**: 450 ppm de CO₂ en la atmósfera. Según un informe de Northeast Organic Farming Association (2015), el sistema productivo actual ha desplazado el 50-75% del contenido original de carbono en los suelos del planeta (136 billones de toneladas de carbono) hacia la atmósfera y los océanos.

2. Social. El sistema alimentario actual se basa en tres ejes: **globalización, monocultivo y control por parte de**

corporaciones transnacionales. Joel Salatin, impulsor de la agricultura regenerativa, atribuye a estos ejes la **falta de relevo generacional en el mundo agrario y rural** que existe en la actualidad - la edad media de los agricultores y ganaderos en Europa y EEUU es de 60 años. Tal y como apunta en su libro "Esto no es normal", el paradigma actual, altamente capitalizado y basado en monocultivos de alimentos de primera necesidad, tiene poco que ofrecer a las próximas generaciones de jóvenes y, de ahí, la falta de relevo generacional. El sistema actual aboca a que ganarse la vida trabajando la tierra, produciendo alimentos y gestionando el paisaje para producir belleza estética y social, deje de ser una vocación para los jóvenes.

■ El modelo de producción regenerativo como alternativa ambiental para producir alimentos

En estos momentos existen diferentes propuestas que producen alimentos saludables, a la vez que se preocupan por el medio ambiente. El **modelo productivo regenerativo** es una de las alternativas que se encuentra en expansión y, cada vez, adquiere más relevancia. Una de las razones es que su manera de producir alimentos tiene uno de los **impactos ambientales y sociales más bajos**, o incluso positivos netos (Rhodes, 2017). Si bien algunos enfoques de su definición se centran estrictamente en los resultados y procesos como la mejora de la salud del suelo y su capacidad de almacenamiento de carbono, otros son más amplios y se basan en la capacidad regenerativa y salud del ecosistema (Newton et al., 2020). Existen diferentes aspectos que hacen que el modelo regenerativo sea especialmente **valioso** en estos momentos.

• **Es una solución al secuestro de carbono.** Cuanta más materia orgánica hay en un suelo, mayor es su capacidad de secuestrar carbono. Por ello, los modelos de producción regenerativos, que se basan en la **salud del suelo** acumulando materia orgánica, llevan a cabo una captura anual de CO₂ atmosférico del orden de 50-100 Tm cada media hectárea. Las prácticas regenerativas maximizan la **fijación de carbono** en el suelo y minimizan su pérdida una vez que éste se ha incorporado en el suelo, revirtiendo de esta forma el efecto invernadero. Datos recientes de la captura de carbono en los sistemas agrícolas y pastos de todo el mundo, muestran que se podría secuestrar más del 100% de las emisiones anuales de CO₂ actuales con un cambio a prácticas productivas regenerativas (Informe Rodale Institute, 2020).

- **Se basa en la experiencia real y el avance científico del conocimiento de los procesos naturales.** Los productores podrán crear mejores **sistemas regenerativos** basándose en un conocimiento ecológico básico como es saber cómo funciona la nutrición natural de las plantas y los animales y su aplicación de manera integrada aprovechando los recursos del entorno.

- **Es un modelo sinérgico**, que combina un amplio abanico de diferentes prácticas regenerativas fundamentadas, como las que se describen en el '**Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo de producción: El sistema Polyfarming**', y que pueden ser implementadas en cada finca para cambiar aspectos de la gestión y ayudar a que la agricultura pase de ser un problema de la crisis climática a formar parte de la solución.

- **Es un sistema productivo circular**, en el que hay una **complementariedad de productos** a nivel de finca que permite economizar gastos. Es decir, lo que sobra de un uso se aplica en otro, cerrándose el ciclo de nutrientes, ya que se devuelve la materia orgánica al suelo a la vez que se evita el consumo de productos químicos.

- También un **modelo escalable**, lo que significa que puede adaptarse a cualquier tipo de condiciones. Al no depender de los insumos externos sino de la capacidad de regeneración del sistema, no tiene limitaciones de espacio y se puede aplicar tanto a escalas pequeñas como grandes.

■ Un modelo de futuro tanto a nivel global como local

La producción regenerativa está recibiendo una atención significativa por parte de productores, investigadores y consumidores, así como por parte de los políticos y los principales medios de comunicación de todo el mundo. En torno a este sistema existe un "**movimiento regenerativo**" en expansión. Tanto el sector público como el privado exploran actualmente las posibilidades de que este modelo pueda contribuir a los planes de acción climática. Así, el informe especial sobre "Cambio climático y tierra" del IPCC (2019) habla del sistema regenerativo como "una práctica de gestión sostenible centrada en las funciones ecológicas, que puede ser eficaz en la construcción de la resiliencia de los agroecosistemas".

Por parte del **sector público**, y bajo el respaldo de la organización "*The Climate Reality Project*" liderada por Al Gore, diferentes gobiernos estatales de EEUU apuestan por su puesta en funcionamiento para ayudar a lograr los objetivos locales de sostenibilidad. En el ámbito **no gubernamental** existen varias organizaciones ambientales, agrícolas y alimentarias que trabajan para difundir el conocimiento y promover la **adopción de sistemas de producción que incorporen la agricultura y ganadería regenerativa**. Así, a nivel internacional, se encuentran Regeneration International, Instituto Rodale, Savory institute o Kiss the ground, entre otras. A nivel del estado español, destacan Agricultura regenerativa,

Asociación Alvelal o Carne de Pasto, entre otras. **A nivel local**, el sistema regenerativo permite responder a los principales retos que se plantean a la hora de recuperar la actividad de las zonas rurales. Cuando el modelo regenerativo se aplica, como sucede en el caso del **sistema Polyfarming**, se convierte en un modelo que demuestra **una reversión real del abandono rural**: las explotaciones se hacen rentables y se producen alimentos conservando el medio ambiente en condiciones en las que el modelo actual no es viable. **A nivel global**, el sistema regenerativo es un modelo que permite **alimentar a la humanidad** de manera más acorde con la naturaleza, a la vez que ayuda a **enfriar el planeta** con la absorción masiva de CO₂ en los suelos regenerados.

■ Polyfarming: un proyecto para impulsar políticas que incluyan el modelo regenerativo

Consolidar un modelo regenerativo, como el que se propone en Polyfarming, no requiere mucho más que conocimientos, experiencia y apoyo para cambiar de práctica. Sin embargo, adoptar este nuevo enfoque puede resultar difícil porque el sistema de producción convencional de amplia escala se sustenta en políticas agrícolas gubernamentales y grandes corporaciones agroindustriales. En consecuencia, salirse de este sistema a veces no depende solo de la voluntad de los que quieren cambiarlo.

Granjas como Planeses y proyectos como Polyfarming pueden convertirse en centros de referencia, en ejemplos reales y demostrativos a los que los productores del entorno pueden acudir y emular el modelo para realizar un cambio a sistemas de producción más respetuosas con el medio ambiente.

Pero no solo los productores han de realizar un cambio, es **el conjunto de la sociedad quien tiene que empujar** para que modelos como el regenerativo puedan suceder. Entre las claves para impulsar este cambio se encuentran: comprar productos regenerativos, apoyar políticas locales de cambio y presionar para que los gobiernos apoyen iniciativas internacionales que implementan la agricultura regenerativa. Una de las más significativas es el proyecto "**4 por 1000**". Este proyecto se lanzó en la COP21 e impulsó a muchos gobiernos a incluir el secuestro de carbono del suelo como parte de sus estrategias de cambio climático. El objetivo de esta iniciativa es conseguir para el año 2050 una tasa de crecimiento anual del 0.4% de las reservas de carbono de los primeros 30-40 cm de suelo, reduciendo así muy significativamente la concentración de CO₂ en la atmósfera. **Pero hay otras muchas iniciativas** que se encaminan a mejorar la salud del suelo para dar nueva vida a los ecosistemas, creando una nueva vocación a agricultores y ganaderos, produciendo alimentos más saludables y nutritivos, a la vez que revirtiendo el calentamiento global. El primer paso es conocer y apoyar el modelo regenerativo. Así, nos dirigiremos a un **futuro más esperanzador y beneficioso para la humanidad**.

Bibliografía citada

- Alvarez A., Gracia M., Vayreda J., Retana J. (2021) Patterns of fuel types and crown fire potential in *Pinus halepensis* forests in the Western Mediterranean Basin. *Forest Ecology and Management* 270: 282-290.
- Begon M., Townsend C.R., Harper J.L. (2006) *Ecology: from individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing, Malden, EEUU.
- Casals P., Baiges T., Bota G., Chocarro C., de Bello F., Fanlo R., Sebastià M.T., Tauli M. (2009) Silvopastoral systems in the northeastern Iberian Peninsula: a multifunctional perspective. En: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J., Mosquera-Losada M.R. (Eds.) *Agroforestry in Europe. Current status and future prospects*. Springer, Berlin, pp. 161-181.
- Catálogo oficial de razas de ganado de España (2019) Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Enrich-Prast A., Gaxiola A., Lúcia A., Durán J., Rodríguez A., Marotta H. (2018) Ciclos biogeoquímicos y cambios globales. En: *Cambio Global: una mirada desde Iberoamérica*, Departamento de Publicaciones, CSIC, 111-125.
- FAO (1996) *EL conejo, cría y patología*. Colección F.A.O.: producción y sanidad animal. FAO, Roma.
- Fincher G.T. (1981) The potential value of dung beetles in pasture ecosystems. *Journal of the Georgia Entomological Society* 16: 316-333.
- Gómez-Cantero J. (2015) *Cambio climático en Europa 1950-2050. Percepción e impactos*. Los Verdes-ALE / EQUO, Madrid.
- Hill J., Stellmes M., Udelhoven Th, Rödera A., Sommer S. (2008) Mediterranean desertification and land degradation: Mapping related land use change syndromes based on satellite observations. *Global and Planetary Change* 64: 146-157.
- Northeast Organic Farming Association (2015) *Soil carbon restoration: can biology do the job?*. Jack Kittredge. www.nofamass.org. Massachusetts Chapter, Inc.
- WWF (2018) *Informe Planeta Vivo - 2018: Apuntando más alto*. Grooten M. Almond, R.E.A. (Eds). WWF, Gland, Suiza.
- Rodale Institute (2020) *Regenerative agriculture and the soil carbon solution*. Rodale Institute.
- IPCC (2019) *Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley (Eds.)].
- Lumaret J.P., Martínez I. (2005) El impacto de productos veterinarios sobre insectos coprófagos: consecuencias sobre la degradación del estiércol en pastizales. *Acta Zoológica Mexicana* 21: 137-148
- Martínez I., CruzRosales M., Huerta C., Montes de Oca E. (2015) *La cría de escarabajos estercoleros*. Secretaría de Educación de Veracruz, México.
- Mazzoleni S., Di Pasquale G., Mulligan M. (2004) Conclusion: reversing the consensus on Mediterranean desertification. En: Mazzoleni S., Di Pasquale G., Mulligan M., di Martino P., Rego F. (Eds.) (2004) *Recent dynamics of the Mediterranean vegetation and landscape*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, pp. 281-285.
- Mosquera-Losada M.R., McAdam J.H., Romero-Franco R., Santiago-Freijanes J.J., Rigueiro-Rodríguez A. (2009) Definitions and components of agroforestry practices in Europe. En: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J., Mosquera-Losada M.R. (Eds.) *Agroforestry in Europe. Current status and future prospects*. Springer, Berlin, pp. 3-19.
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G., Kent J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Newton P., Civita N., Frankel-Goldwater L., Bartel K., and Johns C. (2020) What is regenerative agriculture? A review of scholar and practitioner definitions based on processes and outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4. 10.3389/fsufs.2020.577723
- OSE (2010) *Biodiversidad en España. Base de la sostenibilidad ante el cambio global*. Fundación Biodiversidad, Madrid.
- Pausas J.G. (2004) Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean Basin). *Climatic Change* 63: 337-350.
- Perramon B. (2016) Efecte de la fertilització orgànica en la productivitat i la qualitat de les pastures de mitja muntanya. Generalitat de Catalunya, Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa, Olot.
- Rhodes C. J. (2017). The imperative for regenerative agriculture. *Science Progress* 100: 80-129.
- Sanchez-Bayo F., Wyckhuys K. (2019) ¿Qué provoca el declive de los insectos? *Investigación y Ciencia*, octubre 2019, pp. 12-14.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C. (2006) Livestock's long shadow. FAO, Roma.

Urbina V. (2001) Morfología y desarrollo vegetativo de los frutales. Paperkite Ed., Lleida.

Verdú J.R., Cortez V., Ortiz A.J., Lumaret J.P., Lobo J.M., Sánchez-Piñero F. (2020) Biomagnification and body distribution of ivermectin in dung beetles. Scientific Reports 10: 9073.

Wattiaux M.A. (1996) Nutrición y alimentación. Guía técnica lechera. Instituto Babcock, Universidad de Wisconsin, Madison, EEUU.

Bibliografía de referencia

- Cho J. (2013) JADAM Agricultura ecológica. JADAM publ.
- Fukuoka M. (1987) The road back to nature: regaining the paradise lost. Japan Publications.
- Fukuoka M. (2010). The one-straw revolution: an introduction to natural farming. New York Review Books.
- Lemieux G., Germain D. (2001) Le bois raméal fragmenté: la clé de la fertilité durable du sol. Université Laval, Quebec.
- Mollisson B., Holmgren D. (1978) Permaculture One: a perennial agriculture for human settlements. Transworld Publishers.
- Mollisson B. (1979) Permaculture Two: practical design for town and country in permanent agriculture. Tagari Publications.
- Mollisson B. (1991) Introduction to Permaculture. Tagari Publications.
- Pinheiro Machado L.C. (2004) Pastoreo Racional Voisin. Hemisferio Sur.
- Pinheiro Machado L.C., Pinheiro Machado-Filho L.C. (2016) La dialéctica de la agroecología. Hemisferio Sur.
- Restrepo J. (2007) Manual práctico. El A, B, C de la agricultura orgánica y harina de rocas. Servicio de Información Mesoamericano sobre Agricultura Sostenible (SIMAS).
- Salatin J. (1996) Pastured Poultry Profit\$. Polyface.
- Salatin J. (1998) You can farm: the entrepreneur's guide to start & succeed in a farming Enterprise.
- Salatin J. (2017) Esto no es normal. Ed. Diente de León.
- Salatin J., Slattery C. (2021) Polyface designs: a comprehensive construction guide for scalable farming infrastructure. Polyface.
- Sánchez D. Potentiels et techniques de redressement et d'entretien de la fertilité des sols par les Bois Raméaux Fragmentés (BRF). Université Laval, Quebec.
- Savory A. (2016) Holistic management. Island Press.
- Toensmeier E. (2016) The carbon farming solution: a global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security. Chelsea Green Publishing.
- Yeomans P.A. (1954) The Keyline Plan (Free online).
- Yeomans P.A., Yeomans K.B. (1993) Water for every farm — Yeomans Keyline Plan. Keyline Designs.



Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo: el sistema Polyfarming

El 'Manual para el diseño e implementación de un modelo agroalimentario regenerativo: el sistema Polyfarming', es una guía completa para que cualquier persona interesada pueda conocer el modelo regenerativo, disfrutar de su aprendizaje y replicarlo a pequeña o gran escala. Es también una invitación hacia un cambio de modelo agrícola y ganadero realmente sostenible que contribuya, tanto a mitigar el cambio climático e incrementar la biodiversidad en el suelo, como a aumentar la soberanía alimentaria y a la creación de empleo local.

Polyfarming es un proyecto financiado por el programa LIFE de la Comisión Europea y liderado por el centro de investigación CREAM, el proyecto se lleva a cabo en Planeses.

