



# Gestión de restos de poda en una plantación frutal

Extracto de la monografía completa en inglés (\*)

LOGRAR UN EQUILIBRIO  
POSITIVO ENTRE LA CALIDAD  
DEL SUELO Y LA CONVERSIÓN EN  
BIOENERGÍA

---

Autores:

**Cammerino A.R.B, Libutti A., Monteleone M.**

Universidad de Foggia

Departamento de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

Foggia, Italy

(\*) Full English Monograph is entitled "Management of pruning residues in a fruit tree plantation: gaining a positive trade-off between soil quality and bioenergy conversion". The full text of the English report is accessible at the section "documents" at uP\_running webpage: [www.up-running.eu](http://www.up-running.eu)



## CONTENIDOS

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Conceptos de fondo: como si la ecología importara.....                                      | 5  |
| 1.1. Una plantación de árboles frutales es un ecosistema cultivado.....                        | 5  |
| 1.2. El surgimiento del dilema de los restos de poda .....                                     | 5  |
| 1.3. La poda puede ser una fuente de biomasa relevante.....                                    | 6  |
| 1.4. Poda y energía: una materia prima que proporciona grandes ahorros de GEI.....             | 6  |
| 1.5. La poda en el suelo puede apoyar los servicios de los ecosistemas.....                    | 7  |
| 2. Resolver el dilema de los restos de poda: el marco.....                                     | 10 |
| 2.1. La quema de la poda al aire libre es una operación incorrecta.....                        | 11 |
| 2.2. Pilares conceptuales sobre el dilema de los restos de poda.....                           | 12 |
| 2.3. Hacia una solución: un enfoque de condicionalidad.....                                    | 12 |
| 3. Criterios de gestión del suelo para mantener la calidad del suelo.....                      | 14 |
| 3.1. La material orgánica del suelo es el segundo motor del ecosistema (el sol el primero).... | 14 |
| 3.2. Principales pilares para preservar la calidad del suelo.....                              | 15 |
| 3.3. El equilibrio de la materia orgánica del suelo.....                                       | 17 |
| 3.4. Erosión y compactación del suelo.....                                                     | 17 |
| 3.5. Cobertura del suelo.....                                                                  | 18 |
| 3.6. Mínimo laboreo.....                                                                       | 19 |
| 3.7. Aplicación de estiércol y compost.....                                                    | 19 |
| 4. Pautas para la recogida de la poda: un enfoque operativo.....                               | 21 |
| 4.1. Recomendaciones de EuroPruning para garantizar la sostenibilidad del suelo.....           | 21 |
| 4.2. La metodología de evaluación propuesta por uP_running.....                                | 22 |
| 4.3. Evaluación de las condiciones del suelo.....                                              | 23 |
| 4.4. Identificar la estrategia de Gestión adecuada.....                                        | 25 |
| 4.5. Aplicar las prescripciones de Gestión.....                                                | 26 |
| 5. Recomendación y conclusiones.....                                                           | 30 |
| 6. Glosario y definiciones.....                                                                | 33 |
| 7. Referencias.....                                                                            | 37 |

Esta es la segunda monografía de una serie de tres lanzada por uP\_running. Tenga en cuenta que este documento es una versión corta de la Monografía original (66 páginas, versión en inglés). La versión completa en inglés tiene por título “Management of pruning residues in a fruit tree plantation: gaining a positive trade-off between soil quality and bioenergy conversion” y se puede acceder en la pestaña de menú "documentos" en la página web de uP\_running : [www.up-running.eu](http://www.up-running.eu).

Esta monografía es la segunda de las monografías de uP\_running. Las monografías de uP\_running se pueden encontrar en inglés (EN) en la página web principal del proyecto ([www.up-running.eu](http://www.up-running.eu)) así como en todos los idiomas del proyecto (PT, ES, FR, IT, HR, GR, UA) en las páginas web nacionales correspondientes.

Las tres monografías de uP\_running:

|     |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M.1 | <i>Biomasa de la poda agrícola y de la renovación de plantaciones. Una práctica viable promovida por el proyecto uP_running.</i>                               | Conocimiento del estado actual del uso de la biomasa PARP, sus dificultades, las posibles alternativas para organizar una cadena de valor, y algunas recomendaciones prácticas para hacerlo.                                                 |
| M.2 | <i>Manejo de restos de poda en una plantación de árboles frutales. Lograr un equilibrio positivo entre la calidad del suelo y la conversión en bioenergía.</i> | Alcance del dilema: restos de poda para energía o como insumo orgánico para los suelos. Discute las alternativas y propone una metodología para evaluar las condiciones previas para la poda de la biomasa disponible con fines energéticos. |
| M.3 | <i>Cadenas de valor de poda agrícola y renovación de plantaciones de biomasa. Lecciones aprendidas de casos emblemáticos.</i>                                  | Cadenas de valor detectadas a través de uP_running, sus principales características y claves de éxito, con una visión de 10 cadenas de valor consideradas "flagships"; de la utilización de PARP. por uP_running.                            |

El proyecto uP\_running "Take-off for sustainable supply of woody biomass from agrarian pruning and plantation removal"; ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en el marco del acuerdo de subvención nº 691748.



# 1. Conceptos de fondo y dilema de la poda

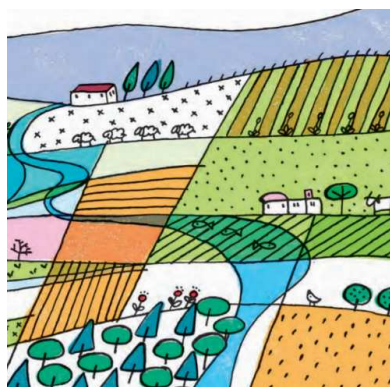
- 1.1 Una plantación de árboles frutales es un ecosistema cultivado
- 1.2 El surgimiento del dilema de los restos de poda
- 1.3 la poda puede ser una fuente relevante de biomasa
- 1.4 Poda para energía: Una materia prima que proporciona gran ahorro de GEI
- 1.5 La poda en el suelo puede apoyar los servicios de los ecosistemas



# 1 CONCEPTOS DE FONDO: LA ECOLOGÍA SÍ IMPORTA

## 1.1 Una plantación de árboles frutales es un ecosistema cultivado

Según una visión ecológica, una plantación de árboles frutales debe considerarse una forma particular de ecosistema no natural, agrícola (o ecosistema impulsado por el hombre). Como todo ecosistema, está hecho de un componente vivo (tanto de especies cultivadas como de especies silvestres, en este caso) interconectado dentro de un conjunto complejo de condiciones ambientales relacionadas con el suelo y la capa inferior de la atmósfera. Este sistema funciona como una entidad unificada, tanto estructural como funcionalmente. Representa un "mosaico" anidado dentro de un sistema meta-ecológico más amplio que confecciona el paisaje (figura 1.1).



*Figura 1.1*

*Las tierras de cultivo se pueden ver como un mosaico ecológico hecho de varias "teselas", colocadas una al lado de la otra, y que corresponden a diferentes usos de la tierra agrícola. El meta-ecosistema resultante es el paisaje ecológico.*

*La figura es la portada de una publicación de la FAO 2017.*

A diferencia de un ecosistema natural, el hombre (es decir, el agricultor) está gestionando el funcionamiento agroecológico del sistema de cultivo con el alcance principal de derivar un resultado productivo (el rendimiento). Por lo tanto, un "agroecosistema" (como una plantación) es una combinación multifacética y estratificada tanto de procesos basados en la naturaleza como de gestión humana, que a veces se obtienen después de un largo tiempo de coevolución, dando forma al campo. Su grado de "naturalidad" depende en gran medida de la especialización y simplificación del ecosistema debido a la intervención humana. El nivel de insumos agrotécnicos es una medida general del grado de subrogación al que se adapta el sistema a: a mayor nivel, menor es la capacidad del ecosistema para funcionar de manera independiente según los procesos de autorregulación (Monteleone, 2015c).

## 1.2 El surgimiento del dilema de los restos de poda

Los restos de poda, cuando se retiran del campo cultivado, pueden dirigirse a procesos de conversión de bioenergía para obtener formas de energía renovable, ofreciendo así un servicio de aprovisionamiento suplementario (posiblemente, junto con un ingreso adicional del agricultor aparte del derivado de la producción de fruta). Esta opción llegó a la vanguardia desde el momento en que la sustitución del uso de combustibles fósiles por combustibles renovables **se asumió** como una meta internacional crucial, con el protocolo de Kyoto primero (de 2005 a 2020) y el acuerdo de París a partir de entonces (de 2020 a 2030 y 2050).

También se puede aplicar una operación de gestión diferente. La poda (siempre que se haya triturado previamente) se puede dejar en la superficie del suelo para formar una capa de cobertura ("mulching") o, alternativamente, se puede incorporar a la capa superior del suelo (como una especie de "abono"). En ambos casos, estas operaciones proporcionan un servicio de "apoyo" para regular el funcionamiento del agroecosistema.

Por lo tanto, de acuerdo con la elección técnica del agricultor, hay dos opciones posibles: obtener un servicio de aprovisionamiento suplementario o, alternativamente, ofrecer otro tipo de servicio, esta vez un servicio de apoyo. Estas opciones son mutuamente excluyentes. En consecuencia, **surge un dilema junto con la necesidad de una decisión de compensación.**

### 1.3 La poda puede ser una fuente relevante de biomasa

Una cantidad impresionante, no explotada y ampliamente distribuida de energía renovable se puede obtener de la biomasa de PARP (Podas Agrícolas y Renovación de Plantaciones) en Europa. Los restos agrícolas, en general, pero los restos de PARP (Podas Agrícolas y Renovación de Plantaciones), en particular, son una fuente de energía renovable relevante, aunque todavía no se usan o están en gran parte infrautilizados. Algunas estimaciones significativas son las siguientes (uP\_running DLV 2.3) : las superficies de cultivo de árboles frutales en la UE son 11.33 Mha, lo que corresponde a un potencial teórico de disponibilidad de poda aproximadamente igual a 25 Mt/año (materia seca) si no hay considerados otros usos alternativos posibles. Esta cantidad relevante corresponde a 8,9 Mt/a de contenido potencial de energía bruta que (considerando toda la biomasa disponible) se puede convertir en una generación de energía potencial de 23,9 TWh/a. Alternativamente, y aún considerando toda la biomasa disponible, se puede obtener una generación de calor potencial de 57.9 TWh/a (uP\_running DLV 2.3).

Como puede verse, **la energía renovable obtenida movilizandobiomasa PARP (Podas Agrícolas y Renovación de Plantaciones) en la UE es potencialmente notable, pero debería aprovecharse de manera sostenible.**

Al menos en teoría, **la biomasa de la poda, al ser un material residual, no crea una demanda adicional de terreno y puede generar ahorros sustanciales de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles, no creando riesgo de impactos negativos en el medio ambiente y la biodiversidad.**

De acuerdo con la Directiva Europea de Energías Renovables (RED 2009 y 2018), no se deben asignar impactos directos (es decir, sin emisiones de GEI o consumos de energía) a la fase agrícola de una cadena de valor de bioenergía si los restos de cultivos (como la poda) se eliminan de las tierras agrícolas con el propósito de la conversión energética.

### 1.4 Poda para energía: Una materia prima que proporciona gran ahorro de GEI

La biomasa PARP, más allá de su gran potencial, tiene una capacidad singular para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esta reducción se puede evaluar a través de ACV (Análisis de ciclo de vida). Este procedimiento debe abordarse comparando el uso de energía PARP con respecto al uso de energía fósil de referencia. Se recomienda encarecidamente llevar a cabo el balance de energía y el presupuesto de emisiones manteniendo separadas las tres fases diferentes de la cadena de suministro energético:

**1. producción agrícola** (generalmente considerada cero ( $GEI = 0$ ), como biomasa PARP un resto o subproducto de la plantación, y no un objetivo o un subproducto).

**2. Logística y tratamiento de biomasa.** ( $\Delta\text{GEI} > 0$ ). Esta fase comprende las operaciones secuenciales de recolección, acondicionamiento (trituración o extracción), transporte, tratamiento previo y almacenamiento de restos de biomasa.

**3. Conversión de energía industrial.** ( $\Delta\text{GEI} < 0$ ). Este paso final debe ser impresionantemente negativo para asegurar los mayores ahorros de GEI considerando la cadena de valor de la bioenergía en comparación con los combustibles fósiles. El factor más influyente en el ahorro resultante de emisiones de GEI está relacionado con la naturaleza y la calidad del combustible fósil que se reemplaza (carbón, gasóleo, gas natural o metano, por ejemplo). Recientemente se han publicado resultados específicos en el marco del proyecto Europruning FP7 (EuroPruning, 2016b), que realizó un análisis profundo y, por consiguiente, una buena comprensión de los impactos ambientales de las cadenas de suministro de bioenergía basadas en la poda como materia prima. El ACV se aplicó comparativamente a la poda de cinco especies diferentes de frutas (almendra, melocotón, manzana, viñedo y oliva), tres áreas climáticas europeas (Medoc en Francia, Brandeburgo en Alemania y Aragón en España), junto con dos diferentes procedimientos de recogida de la poda (empacado y astillado). Algunos de estos resultados se han publicado (den Boer et al., 2016), mientras que los estudios paralelos de ACV que aplican el mismo enfoque metodológico se han realizado en Polonia considerando la poda de manzanas (Dyjakon et al., 2019).

En términos de "potencial de calentamiento global", se destaca claramente (ver la versión en inglés de la monografía para más detalles) que el manejo de la poda de mayor rendimiento es PtE (Poda a Energía) en comparación con PtS (Poda a Suelo) (171 vs 1,720 kg CO<sub>2</sub>-eq. Ha<sup>-1</sup>). Por lo tanto, se debería preferir PtE (Poda a Energía) a PtS (Poda a Suelo) en la medida en que la conversión de energía sea el objetivo a perseguir.

A pesar de las interesantes reducciones de CO<sub>2</sub> que se pueden lograr al reemplazar los combustibles fósiles por la biomasa PARP, debe tenerse en cuenta que "re-carbonizar" el suelo (como acción inversa de la descarbonización de la atmósfera y el sector energético), junto con la preservación de los servicios del ecosistema. Entregado por la plantación de árboles frutales son **condiciones previas**. El mantenimiento de estas buenas condiciones ambientales y ecológicas debe ser asegurado.

En la ejecución e interpretación de los resultados de ACV a la utilización de la poda, se recomienda además una observación cuidadosa del compartimento del suelo al comparar PtS (Poda a Suelo) versus PtE (poda a energía). Se deben tener en cuenta las siguientes características:

- El cuidado específico debe atribuirse a la compensación de carbono o, en otras palabras, a la necesidad de tener en cuenta la disminución del contenido de MO/COS (expresado en términos equivalentes de CO<sub>2</sub> por año) debido a la recogida de la poda (PtE).
- La recogida de la poda (PtE) también implica la necesidad de compensar la consecuente recogida de nutrientes minerales del suelo, en particular considerando el suministro de N, P y K (macronutrientes) realizado mediante la poda cuando permanecen en el suelo como mulching. . Esta aplicación adicional de fertilizantes requiere tener en cuenta el exceso de emisiones de GEI debido a la síntesis industrial de los fertilizantes, su comercialización y distribución en el campo.
- Como consecuencia de una aplicación suplementaria de fertilizantes nitrogenados en PtE (Poda a Energía), se deben detectar y contabilizar las emisiones de GEI adicionales, considerando también el efecto de neutralización de una reducción de emisiones de N<sub>2</sub>O debido a la ausencia de podas trituradas en el suelo que promueve este proceso.

## 1.5 La poda al suelo puede apoyar los servicios de los ecosistemas

Los restos de poda son una fuente potencial de materia orgánica del suelo (MO). En general, cuando la fracción vegetal no destinada al uso económico (restos o subproductos) vuelve al suelo, esto debe considerarse una buena práctica agronómica. Los restos de cultivos, cuando se liberan en el campo, desempeñan un papel relevante en el mantenimiento de las actividades agrícolas y su contribución en términos de servicios agroecológicos debe ser considerada adecuadamente. Una vasta literatura identifica varios efectos positivos que los restos de cultivos podrían ejercer sobre las características **físicas**, químicas y biológicas de los suelos agrícolas: mantener la materia orgánica, permitir el secuestro de carbono, favorecer el reciclaje de nutrientes, mejorar la agregación y estructuración del suelo, mejorar el control de la erosión, aumentar la infiltración de agua, retención y drenaje, etc. (Sofo et al., 2005; Rodríguez-Lizana et al., 2008; Lal, 1997; Nieto et al., 2010; Garofalo et al., 2014; Monteleone et al., 2015 ab)

El resultado más fuerte cuando los restos de poda se dejan en el suelo o se entierran ligeramente en él es que el carbono orgánico del suelo (COS) aumenta progresivamente su contenido en comparación con la recogida completa de restos. La cantidad de COS depende estrictamente no solo de la cantidad de resto que queda en el suelo y su composición, sino también de las características constitutivas del suelo (textura y estructura), así como de las condiciones climáticas que afectan al suelo y sus procesos biológicos. En general, en condiciones de estado estable, se establece un equilibrio a largo plazo entre la humificación y la mineralización; por lo tanto, se alcanza un COS máximo estable en el suelo dependiendo del efecto integral de estas condiciones.

A pesar de estos roles positivos generales en la acumulación de MO/COS, también podrían identificarse algunos inconvenientes cuando se deja la poda en el campo y es necesario resolver algunos riesgos específicos para desarrollar una estrategia de manejo de restos efectiva.

Una preocupación importante se debe a la posible plaga o enfermedad que los organismos pueden albergar y transmitir a la plantación de árboles, especialmente si los restos de poda se trituran y se distribuyen uniformemente en la superficie del suelo antes de la incorporación del suelo. Esta operación podría ser equivalente a la propagación de patógenos en toda la plantación de fruta y debe evitarse por completo.

Además, teniendo en cuenta la naturaleza de madera de la poda, otro factor relevante que afecta el uso de restos como fuente de MO se relaciona con su relación de carbono-nitrógeno bastante alta ( $C/N > 40$ ). Cuando estos restos se trituran y se entierran en el suelo, generalmente ocurre una inmovilización de nitrógeno mineral (el llamado "bloqueo de nitrógeno" en el cultivo). De hecho, los microorganismos responsables de la degradación de esta materia orgánica necesitan una relación C/N más baja, aproximadamente cercana a 10. Teniendo en cuenta la baja disponibilidad de nitrógeno de los restos de árboles (un material lignocelulósico), los microorganismos desvían el nitrógeno mineral fácilmente disponible de las reservas de suelo afectan el consiguiente crecimiento del árbol. Por lo tanto, es particularmente útil proporcionar un suministro adicional de nitrógeno al planificar la fertilización de la plantación de árboles frutales; como regla general, se debe aplicar aproximadamente 1 kg de nitrógeno cada 100 kg de restos de poda.

# 2. Resolver el dilema del resto de poda: el sistema

- 2.1 La quema al aire libre de la poda es una operación incorrecta
- 2.2 Pilares conceptuales sobre el dilema de los restos de poda
- 2.3 Hacia una solución: un enfoque de condicionalidad



## 2 RESOLVER EL DILEMA DEL RESTO DE PODA: EL SISTEMA

Como se observó anteriormente, son tres, esencialmente, los métodos de manejo de podas que pueden aplicarse en el cultivo de una plantación de árboles frutales. Son, respectivamente:

- 1) Quema directa de la poda en el campo y en condiciones al aire libre;
- 2) Recogida de la poda mediante recolección, transporte, almacenamiento y posterior conversión a bioenergía;
- 3) Preservación de la poda en el campo, en la superficie del suelo o ligeramente enterrada en el suelo.

Con la excepción de la primera opción, que definitivamente debe evitarse y abandonarse cuando esta práctica aún está en uso, la segunda y la tercera opción pueden aplicarse correctamente de acuerdo con parte de este documento, algunos criterios de manejo del suelo que se analizarán en profundidad a continuación.

La primera monografía del proyecto (uP\_running, M1) se dedicó a la descripción de los procedimientos técnicos y logísticos que se implementarán para organizar de manera eficiente la recolección y el primer acondicionamiento de la poda (por ejemplo, mediante procedimientos mecánicos de empaque o trituración), seguido del transporte y almacenamiento. Consulte ese documento para obtener información adicional sobre este tema.

Lo que se profundizará en este documento se refiere a la alternativa entre la renovación o el mantenimiento en el campo de los restos de poda (el llamado dilema "poda a energía" o "poda a tierra"), se explicará una vez que las razones desalientan la quema directa en el campo.

### 2.1 La quema al aire libre de la poda es una operación incorrecta

Cualquiera que sea la mejor opción de manejo de la poda, una cosa debe ser aceptada con seguridad: la quema al aire libre de la poda, directamente en el campo o en el margen del campo, debe evitarse definitivamente.

De hecho, la quema a campo abierto de restos agrícolas (como la paja de cereales y la poda de árboles) ha sido identificada como una de las principales fuentes mundiales de smog denso y contaminación atmosférica (Jiménez, 2002). Libera grandes cantidades de humo que contiene compuestos químicos y partículas que afectan la calidad del aire y producen problemas de salud humana (que causan trastornos respiratorios, cáncer de pulmón y otras enfermedades), y con frecuencia causan una menor visibilidad en las carreteras y accidentes automovilísticos.

La quema al aire libre es, de hecho, un proceso de combustión no controlado durante el cual especies químicas como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrocarburos no metanos (NMHC),  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , materia particulada (Menos de 2,5 micras y menos de 10 micras:  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  respectivamente) se generan y disuelven en la capa inferior de la atmósfera. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y las dibenzodioxinas policloradas (PCDD), o simplemente las dioxinas, también son relevantes debido a su toxicidad y naturaleza cancerígena. Entre esos químicos, los gases de efecto invernadero (GEI) de importancia son  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$  que contribuyen al calentamiento global y al cambio climático (Gadde, 2009). Además, la quema al aire libre puede ser muy peligrosa, considerando el riesgo de expansión del fuego a los campos adyacentes y los daños

consecuentes a las propiedades de cualquier naturaleza. Otro aspecto a considerar es el peligro potencial para los usuarios de la visibilidad severa y posiblemente repentina debido al humo.

Además de la contaminación del aire, la quema de la poda en el campo tiene un efecto duradero en la calidad del suelo y sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. La práctica de la quema de la poda reduce drásticamente la MO en la capa superior del suelo y se destruye la amplia gama de actividades biológicas que alberga el suelo. Una fuerte degradación del suelo donde se han quemado las pilas de biomasa siempre se produce poco después de la quema y es impulsada por el deterioro de la estructura del suelo, la reducción de la estabilidad de los agregados y, por lo tanto, una mayor sensibilidad a la erosión del suelo. Además, aumenta el pH del suelo y su conductividad eléctrica debido a un aumento de las sales solubles de las cenizas. La escorrentía superficial del agua se enfatiza debido a las propiedades hidrófobas de las cenizas y la retención de agua en el suelo se reduce temporalmente, debido a la compactación del suelo y las propiedades hidrófobas en la superficie del suelo.

Bajo la perspectiva de que la quema de restos de cultivos directamente en el campo solo trae consecuencias negativas, solo se puede tolerar en caso de que se hayan detectado plagas y exista la necesidad de controlar y prevenir la propagación de enfermedades en la plantación de árboles frutales. Otra ventaja relativa de la quema de la poda está relacionada con la cantidad de nutrientes liberados en el suelo a través de las cenizas obtenidas por la combustión, aunque para un efecto apropiado, las cenizas deben distribuirse a lo largo del campo, y no permanecer concentradas en el sitio donde se quemaron las pilas. . Debe notarse que las cenizas derivadas de la quema de la poda contienen los macronutrientes calcio, magnesio, potasio y fósforo, más una cantidad modesta de micronutrientes como el zinc y el cobre (consulte la Tabla 3.1 en la versión completa de este documento). El macronutriente principal es el calcio (20-30%); el magnesio está presente en aproximadamente 13-27%; El fósforo (1-3%) y el potasio (5-13%) fueron, respectivamente, aproximadamente el 1-3% y la concentración 5-13%. El cobre, el manganeso y el zinc en las cenizas que permanecen en el suelo después de la quema de la poda aliviarían las deficiencias del suelo en estos minerales traza donde existen.

## 2.2 Pilares conceptuales sobre el dilema de los restos de poda

Bajo la urgencia de reducir las emisiones de GEI, mitigar el cambio climático y cumplir los compromisos de contener el calentamiento global dentro de un valor máximo de 1.5°C, existe la amenaza de "sacrificar" la sostenibilidad ecológica de la agricultura para lograr una mayor sostenibilidad del sector energético. Este riesgo radica en la explotación del capital natural en el que se basa la agricultura y en el consiguiente debilitamiento de los flujos de recursos derivados de este capital. Esta condición desafortunada identifica un compromiso que se aproxima a cero, es decir, en el tamaño extremo del campo de oposición "energía contra naturaleza", el de "energía". También se puede decir una condición donde "el ganador se lo lleva todo".

De manera diferente, la "sostenibilidad" debe aplicarse en conjunto. Significa buscar la sostenibilidad energética sin comprometer la sostenibilidad agrícola o poner en peligro el capital natural y los recursos que se obtienen de ella.

Teniendo en cuenta lo anterior, un tercer criterio muy básico sobre el manejo de un agroecosistema es el siguiente: ***"la calidad del suelo, su salud y fertilidad (como la conservación de la MO) deben ser las condiciones previas y los requisitos necesarios para realizar una forma sostenible de agricultura"***.

Por lo tanto, la creación de una cadena de valor de bioenergía basada en el uso de restos de cultivos requiere que se permita la recogida de la poda del suelo solo si se lleva a cabo correctamente (es decir, en las cantidades anuales adecuadas de acuerdo con criterios de extracción sostenibles) y siempre que la calidad de El suelo no se ve afectado negativamente. Esto significa que las propiedades del suelo y las consecuentes funciones del suelo permanecen favorables y estables. El suelo no debe verse comprometido por una tendencia decreciente en la calidad, que conduce a la degradación y, por ejemplo, a una rotación desequilibrada de la materia orgánica.

## 2.3 Hacia una solución: un enfoque de condicionalidad

Avanzar hacia una especie de acuerdo condicional con los agricultores puede representar una oportunidad para superar el llamado dilema de la poda y encontrar una solución operativa efectiva para la gestión de la poda respetuosa de los criterios básicos sostenibles expresados hasta ahora. Un enfoque de condicionalidad se podría acordar de acuerdo con la siguiente declaración: ***"la recogida de la poda de la plantación de árboles para obtener bioenergía se puede respaldar a condición de que la calidad y la salud del suelo se mantengan y preserven con el tiempo"***. Por lo tanto, en este ámbito, se deben aplicar buenas condiciones agrícolas y ambientales en el cultivo del campo, de acuerdo con reglas operativas bien definidas y acordadas.

El concepto de "buenas prácticas agrícolas y ambientales" (abreviado como BPAA), se refiere a un conjunto de normas de la Unión Europea PAC definidas a nivel nacional o regional, con el objetivo de una agricultura sostenible. Mantener las tierras agrícolas en buenas condiciones agrícolas y ambientales está directamente relacionado con cuestiones tales como la protección del suelo contra la erosión, el mantenimiento de la materia orgánica del suelo, la preservación de la estructura del suelo, etc.

La "calidad del suelo" está asociada a un amplio conjunto de condiciones ambientales y agronómicas interconectadas y, obviamente, es una condición de estado multivariable específicamente dependiente del sitio. Se pueden formular reglas generales pero, necesariamente, deben aplicarse a condiciones locales distintivas que caracterizan la plantación particular que estamos considerando, dependiendo del clima, la composición y estructura del suelo, las operaciones de manejo, la cantidad de restos, etc.

Estos criterios de suelo seleccionados deben ser relativamente simples para ser detectados y aplicados por los agricultores, sin necesidad de realizar análisis y cálculos complejos o instrucciones difíciles de seguir.

Bajo esta perspectiva, **el enfoque uP\_running, tal como se describe en este documento (sección 4) tiene como objetivo establecer unos criterios básicos del suelo o características "mínimas" del suelo que deben cumplirse para prevenir o evitar cualquier riesgo de disminución de la calidad del suelo debido a la recogida de restos de árboles frutales (poda).**

Si se cumplen estas "mínimas" condiciones de suelo, se recomienda el uso de PARP para el uso de energía (se puede decir que una "luz verde" permite proceder en el destino de energía de PARP). A la inversa, en caso de que estas condiciones no se cumplan completamente, debe entenderse una señal de advertencia (en otras palabras, se enciende una "luz amarilla" que indica que hay que tener cuidado al retirar la poda). En este caso, se sugieren operaciones de manejo específicas para contrarrestar la supuesta degradación de la calidad del suelo. En caso de que las condiciones del suelo estén lejos de la óptima, se debe evitar la recogida de restos de poda del campo (es decir, se enciende una "luz roja"). La utilización de energía de PARP podría permitirse, en este caso, solo si los agricultores comienzan a

adoptar una serie de prácticas para aumentar el contenido de MO, realizando grandes esfuerzos para mejorar la calidad del suelo.

Como ya se informó, los restos de PARP incluyen tanto la biomasa de la poda agrícola (PA) como la madera de la renovación de plantaciones (RP). El presente documento se enfoca solo en la poda, identificado como una posible materia prima para la conversión de energía como una alternativa al uso de la poda como un acolchado o enmienda del suelo.

# **3. Criterios de gestión para mantener la calidad del suelo**

- 3.1 La materia orgánica del suelo es el segundo “motor” del ecosistema (el sol es el primero)**
- 3.2 Principales pilares para preservar la calidad del suelo**
- 3.3 El equilibrio de la materia orgánica del suelo**
- 3.4 Erosión y compactación del suelo**
- 3.5 Cobertura del suelo**
- 3.6 Mínimo laboreo**
- 3.7 Aplicación de estiércol y compost**

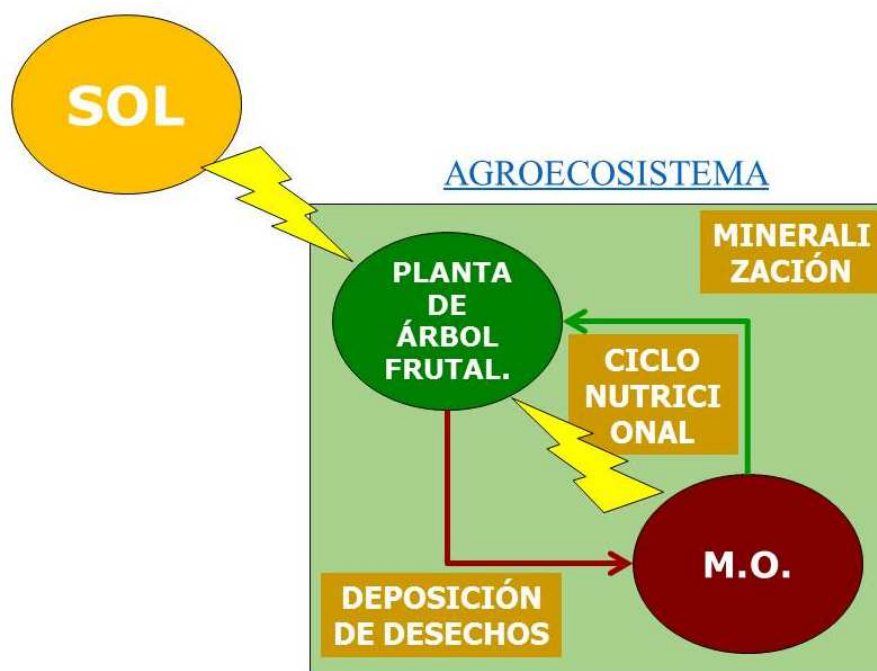


### 3 CRITERIOS DE GESTIÓN PARA MANTENER LA CALIDAD DEL SUELO

Anteriormente se subrayó que las plantaciones de árboles frutales pueden proporcionar servicios de ecosistemas relevantes. Las mejores prácticas agronómicas deben apoyar esta disposición, promoviendo todos los procesos positivos que maximizan estos beneficios. Estos servicios son el resultado de condiciones de buena calidad y un buen estado de salud del suelo (Figura 3.1), principalmente influenciado por su uso y manejo agrícola. (Adhiraki y Hartemik, 2016). Por esta razón, las opciones de manejo del suelo son consideradas de mayor importancia. La gestión sostenible del suelo parece desempeñar un papel fundamental en la regulación de un amplio conjunto de funciones del suelo y, a su vez, en la prestación de servicios ofrecidos por los sistemas de cultivo arbóreo (Hernández et al., 2005; Holland 2004). Esta gama de funciones del suelo está asociada principalmente con la materia orgánica del suelo y, por lo tanto, con la reserva de carbono derivada de ella. El contenido de MO/COS es, por lo tanto, la característica más relevante para evaluar las condiciones del suelo y su capacidad para dirigir la mayoría de las funciones relacionadas con el suelo.

#### 3.1 La materia orgánica del suelo es el Segundo “motor” del ecosistema (el suelo es el primero)

El cultivo del suelo debe mantener sus preciosas reservas de materia orgánica. Estas reservas son un stock de energía potencial. Cuando tiene lugar la mineralización, los microorganismos utilizan esta energía, que se disipa parcialmente a través de la respiración, mientras que los nutrientes minerales obtenidos del proceso están disponibles para el crecimiento de las plantas. Las sustancias orgánicas residuales, más recalcitrantes a la mineralización, se "condensan" en compuestos húmicos poliméricos que actúan principalmente para mejorar la calidad del suelo, estimulando también las actividades de microorganismos tan importantes en muchos procesos biogeoquímicos que tienen lugar en el suelo.



M.O. = funciona como un engranaje entre materia y energía

*Figura 3.1 La materia orgánica del suelo (MO) funciona como el segundo "motor" del ecosistema (el primero es el Sol). Almacena la energía que puede ser capturada o liberada (como un engranaje). Los nutrientes también se liberan debido a los procesos de mineralización/humificación.*

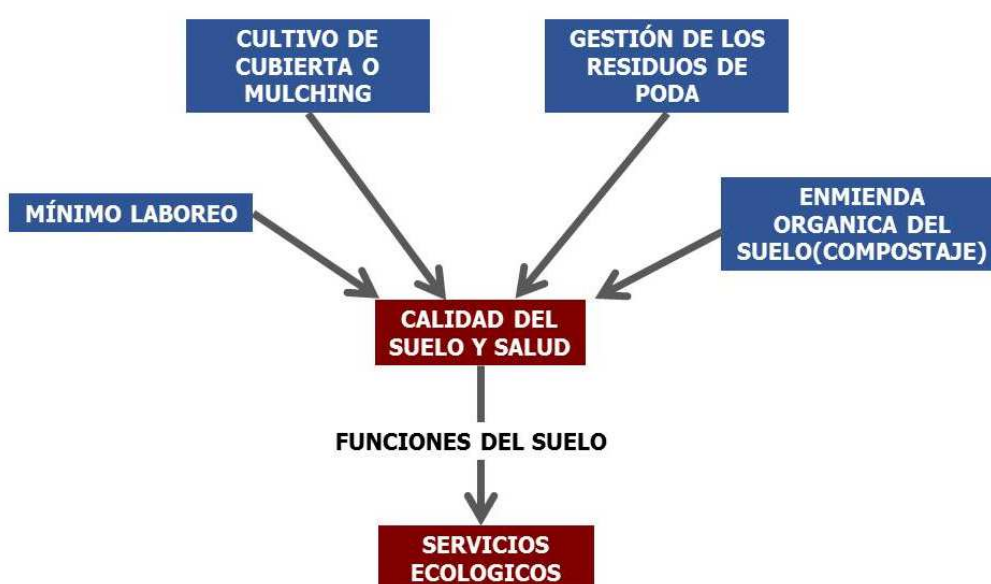
Se puede decir que la materia orgánica del suelo puede considerarse el "segundo motor" (es decir, una fuente de energía) de todos los ecosistemas naturales y agrícolas, siendo el primer motor externo el sol (Figura 3.1). La mineralización de este stock orgánico libera energía y minerales utilizados como nutrientes para las plantas. Esta, de hecho, es una de las características principales del "segundo motor": la mineralización libera lenta y gradualmente la energía incorporada en el suelo, evitando así las condiciones de exceso o escasez. Originalmente, el sol transmite la energía necesaria para realizar la fotosíntesis y obtener biomasa; esta energía activa todos los procesos posteriores de transferencia de materia orgánica (junto con la energía) a lo largo de la compleja red alimenticia que constituye cada ecosistema en la Tierra: desde los productores hasta los descomponedores, pasando a través de los consumidores.

Los agricultores deben conocer esta compleja red de relaciones y las grandes conversiones biogeoquímicas interconectadas que tienen lugar en el suelo para aplicar el mejor manejo del suelo y mantener sus funciones y servicios.

## 3.2 Principales pilares para preservar la calidad del suelo

La intensificación agrícola aumentó en gran medida la productividad pero, en general, se vio afectada negativamente en los componentes y procesos de los ecosistemas. Se observó una disminución a largo plazo en la calidad y fertilidad del suelo, a nivel mundial, principalmente debido a la erosión del suelo y la disminución de los niveles de carbono del suelo. Las disminuciones en la materia orgánica del suelo también contribuyen a reducir la capacidad de almacenamiento de humedad del suelo, lo que disminuye la resistencia de los cultivos a la sequía y disminuye la eficiencia de utilización de los nutrientes aplicados.

A diferencia de la agricultura convencional, la gestión sostenible del suelo se centra expresamente en mejorar su fracción orgánica, es decir, mantener, proteger y posiblemente aumentar su contenido mediante la aplicación de las mejores opciones agronómicas (Figura 3.2).



*La Figura 3.2, plantaciones de árboles frutales, puede proporcionar servicios de ecosistemas relevantes. Las mejores prácticas agronómicas deben apoyar esta disposición, promoviendo todos los procesos positivos que maximizan estos beneficios.*

El sistema de producción se gestiona de acuerdo con los siguientes pilares operacionales principales que involucran una gama de prácticas agronómicas:

- Mantener, en la medida de lo posible, una cobertura de suelo durante todo el año mediante la trituración orgánica, ya sea viva o muerta, proporcionada por restos de cultivos (triturados adecuadamente) o por un cultivo de cobertura (cortado al final de su crecimiento y dejado en el suelo).
- Minimizar la perturbación del suelo por la labranza; el mínimo laboreo o la labranza cero se consideran opciones válidas. La labranza de conservación, de hecho, se promueve como una alternativa a la labranza convencional debido a los problemas asociados con la rápida mineralización de la MOS debido a la fuerte mezcla de la capa superior activa y su pérdida progresiva de estructura debido a la alta potencia mecánica de los tractores frecuentemente disponibles.
- Suministro fertilizantes orgánicos, compost o mejoradores orgánicos del suelo, lo que aumenta el nivel de MO y contrarresta su tasa de mineralización, lo que también confiere al suelo mejores características físicas y estructurales.

Como puede verse, de acuerdo con estas pautas, la retención de restos de cultivos se considera parte integral de este sistema de manejo sostenible y, como consecuencia, generalmente se aplica en aquellas granjas más técnicamente avanzadas (Kumar y Goh, 2000). En conjunto, este conjunto de prácticas tiene como objetivo aumentar indirectamente el rendimiento de la fruta mediante la mejora de varios servicios de ecosistemas reguladores y de apoyo (Palm et al, 2014).

### 3.3 El equilibrio de la materia orgánica del suelo

La gestión del suelo para preservar la MO está destinada a mantener los insumos de materia orgánica nueva para reemplazar la materia orgánica perdida por la descomposición y la mineralización (consulte la Figura 4.4 en la versión completa de este documento). El mismo concepto se aplica a la gestión de nutrientes, considerando que las aplicaciones de fertilización deben estar en equilibrio con los nutrientes extraídos a través de la recolección (de ambas frutas y eventualmente podas) o perdidas por la lixiviación y volatilización de nutrientes.

La materia orgánica del suelo comprende componentes diversos y heterogéneos. Su material vivo incluye raíces, microorganismos y fauna del suelo, mientras que su material no vivo incluye restos superficiales, raíces muertas, metabolitos microbianos y sustancias húmicas. El componente no vivo es, con mucho, la mayor proporción. La materia orgánica de los restos orgánicos (hojas, restos de podas) se descomponen (más rápido o más lento dependiendo de su composición química), y se someten a un proceso conocido como humificación. La fracción MO se estabiliza y, al mismo tiempo, los nutrientes minerales se liberan en el suelo y se ponen a disposición de la planta (mineralización).

El balance orgánico del suelo se realiza simplemente por la diferencia entre las entradas y salidas de carbono orgánico, que generalmente se realiza anualmente. La entrada se refiere a la cantidad de carbono orgánico que se suministra al suelo y se convierte gradualmente en una materia orgánica estable y completamente humificada. Por el contrario, la producción depende del proceso de descomposición y la consiguiente mineralización de la MO, debido a la actividad microbiológica. Si se detecta un balance negativo, significa que las salidas son más grandes que las entradas y se establece una dinámica MO decreciente. Esta condición, si persiste, conduce a una degradación progresiva de la

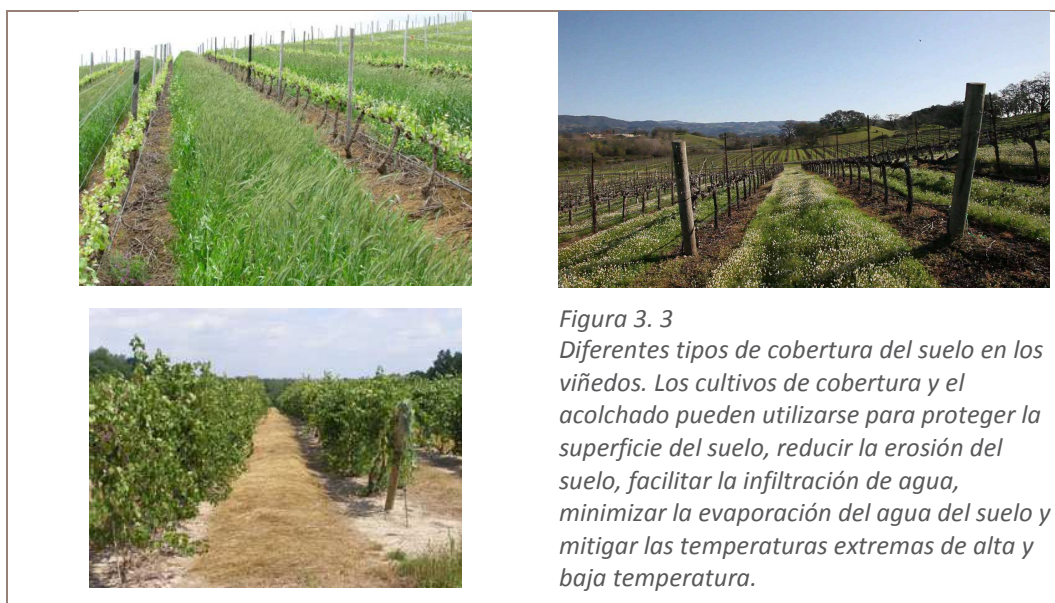
fertilidad del suelo y pérdidas en la producción de cultivos a largo plazo. La condición de estado estable significa que la mineralización (MO<sub>min</sub>) y la humificación (MO<sub>hu</sub>) son iguales y, por lo tanto, se cumple el balance de carbono.

Cuando se realiza la estimación del balance de carbono del suelo, las contribuciones de la caída de hojas, las pérdidas en cosecha (fruta no recogida), las raíces finas muertas y, eventualmente, la cobertura de hierba se debe considerar cuidadosamente. Estos componentes importantes del balance de MO se descuidan con frecuencia, mientras que, en total, podrían representar una cantidad significativa de aportes de carbono, útiles para contribuir a compensar las pérdidas debidas a la descomposición y la mineralización. Además, la cosecha de la poda no se puede ejecutar perfectamente y se deja una cierta cantidad de madera pequeña en la superficie del suelo, dependiendo de la eficiencia de la máquina de recogida y la habilidad del conductor. Además, esta cantidad de biomasa debe contabilizarse adecuadamente para estimar la entrada anual de MO.

### 3.4 Erosión y compactación del suelo

El estado físico del suelo se ve afectado principalmente por la estructura del suelo, la estabilidad de la agregación de partículas, la porosidad y la compactación (Pimentel, 2006; Dawson y Smith, 2007; Martínez-Mena et al., 2008; Lal, 1997). El manejo inadecuado compromete estas cualidades causando la degradación del suelo. La erosión es uno de los principales factores que contribuyen a la degradación de la calidad del suelo y del agua y afecta significativamente la pérdida de carbono del suelo, especialmente en las regiones semiáridas, como las zonas mediterráneas en la temporada de verano (Martínez-Mena et al., 2008). La erosión del suelo reduce seriamente la calidad del suelo. La pérdida de suelo productivo por erosión expone el subsuelo, que generalmente es mucho menos productivo. Además, la erosión del suelo puede causar la contaminación por fósforo de los cuerpos de agua superficiales porque la mayor parte del fósforo se adhiere a las partículas del suelo y es arrastrado por la escorrentía del agua.

En general, las prácticas de manejo de cultivos más importantes que ayudarán a disminuir la erosión son mantener la cobertura de restos de cultivos (al menos por encima del 30% de la superficie del suelo) y usar cultivos de cobertura (o permitir pastos naturales) durante los períodos en que el suelo pueda quedar más expuesta.



La compactación del suelo es otra forma de degradación del suelo. Con la erosión del suelo, la compactación se considera el problema ambiental más grave causado por la agricultura convencional. La compactación es causada principalmente por el tráfico de ruedas en el suelo y por la labranza del suelo. Los suelos compactados tienen mayor densidad aparente y una menor porosidad. La compactación comprime preferentemente los poros grandes, que son importantes para el movimiento de agua y aire en el suelo, por lo tanto, se reduce la infiltración y aumenta la erosión.

El laboreo del suelo está estrechamente relacionado con la compactación del suelo. Una de las propiedades básicas del suelo afectadas por la labranza es la densidad aparente. Los cultivos de cobertura se utilizan cada vez más para corregir y aliviar la compactación del suelo.

### 3.5 Cobertura del suelo

Los cultivos de cobertura son plantas se cultivan específicamente para evitar dejar la superficie del suelo desnuda ("mantillo vivo"). Los cultivos de cobertura pueden proporcionar muchos beneficios, incluido el control de la erosión, el aumento de materia orgánica, la mejora de la estructura del suelo, la fijación de nitrógeno en la atmósfera, la recuperación de nitratos, una mejor gestión del agua del suelo y el control de malezas.

Al acercarse al final del ciclo de crecimiento (antes o poco después de la floración), el cultivo está "terminado". La biomasa resultante puede segarse y luego incorporarse al suelo mediante labranza o simplemente dejarse en la superficie como cobertura protectora hasta que se descompone (Gliessman, 2000). Alternativamente, puede ser eliminado por herbicidas. Cuando los cultivos de cobertura se aportan al suelo, contribuyen con nutrientes al cultivo de árboles, por lo que se requiere menos fertilizante químico. La cantidad de esta contribución depende de la cantidad de biomasa suministrada al suelo. Cuando los cultivos de cobertura se aportan al suelo en una etapa temprana, la materia orgánica agregada se mineraliza rápidamente y la operación puede considerarse un "abono verde". Alternativamente, cuando los cultivos de cobertura se aportan al suelo en una etapa posterior, prevalece el efecto sobre el aumento de MO. En este sentido, el cultivo de cobertura es una fuente importante de materia orgánica. El cultivo de cobertura mejora la materia orgánica del suelo, estimula la actividad biológica del suelo y la diversidad de la biota del suelo, reduce la erosión del suelo y mejora la estructura del suelo. Si al menos una de las especies de cultivo de cobertura es una leguminosa, contribuye con nitrógeno biológicamente fijo y mejora significativamente la capacidad de soporte del suelo debido al paso de tractores y maquinarias incluso cuando el suelo es bastante húmedo. La cobertura verde se puede obtener sembrando cada año, alternativamente a través de cultivos de siembra automática o incluso permitiendo que la cobertura verde esté compuesta en gran parte por plantas de malezas.

### 3.6 Mínimo laboreo

El laboreo intensivo del suelo contribuye considerablemente a la pérdida de suelo a través de la erosión (Rodríguez-Lizana et al., 2008; Alvaro-Fuentes et al., 2009). Además, la labranza acelera la descomposición de MO del suelo como resultado de la ruptura de los agregados del suelo (Nieto et al., 2010; Balesdent et al., 2010; Paustian et al., 2000). La reducción de la labranza disminuye la cantidad de pérdidas de MO). Las técnicas de manejo de suelos que combinan una restricción en la labranza y la adición de restos orgánicos se consideran una forma muy efectiva para mejorar las propiedades del suelo y disminuir las emisiones de GEI almacenando carbono en forma de materia orgánica (IPPC, 2000; Nieto et al., 2010; Jareki y Lal, 2003). De hecho, reducir la intensidad del cultivo del suelo y dejar restos

en la superficie del suelo es un método primario para reducir efectivamente la perturbación del suelo y proteger la MO de una rápida descomposición. Se pueden obtener muchas ventajas al reducir tanto la frecuencia como la intensidad de la labranza. De hecho, la erosión del suelo, la pérdida de una buena estructura del suelo y la lixiviación de nutrientes son los principales problemas estrictamente asociados con el patrón convencional de labranza, basado en el frecuente paso de maquinarias para controlar las malezas, incorporar fertilizantes, eliminar las costras o agrietamiento del suelo debido al secado, especialmente Cuando el suelo es limoso o arcilloso.

### 3.7 Aplicación de estiércol y compost

Agregar estiércol animal al suelo es una forma práctica de aumentar el contenido de MO. La actividad ganadera en granjas produce una gran cantidad de desechos animales que se convierten en un recurso útil cuando se devuelven a los campos. Sin embargo, la aplicación directa de abonos animales tiene muchos problemas, como, por ejemplo, la pérdida de nitrógeno a través de la amonificación y la infiltración de nitratos. Más correctamente, se necesita un período para una descomposición y estabilización preliminares antes de la aplicación en el campo a través de la estabilización y maduración y el compostaje.

En condiciones controladas, la materia orgánica bruta (sin un compostaje previo) como en el caso de los restos de podas agrícolas pasa por un proceso de descomposición (aeróbica) y humificación parcial denominada "compostaje". De esta manera, se obtiene un material de enmienda que se estabiliza considerablemente.

Unas altas aportaciones de material orgánico estabilizado son cruciales para aumentar la fertilidad del suelo debido a una gran variedad de beneficios, estrictamente acoplados al aumento de MO. Por esta razón, la aplicación de abono y compost son muy recomendables en la disposición del plan de fertilidad del suelo de la huerta o plantación de árboles, no solo considerando el suministro de materia orgánica (potencialmente alternativa a la incorporación de la poda en el suelo) sino también en vista de la fuente de macronutrientes a largo plazo que promueven el crecimiento de los árboles y la productividad de la fruta.

# **4. Pautas para la recogida de la poda: un enfoque operativo**

- 4.1 Recomendaciones de EuroPruning para garantizar la sostenibilidad del suelo**
- 4.2 La metodología de evaluación propuesta por uP\_running**
- 4.3 Evaluación de las condiciones de suelo**
- 4.4 Identificar la estrategia de gestión adecuada**
- 4.5 Aplicación de las prescripciones de gestión**



## 4 PAUTAS PARA RECOGIDA DE PODA: UN ENFOQUE OPERATIVO

Las operaciones técnicas para preservar la calidad del suelo se presentaron en la sección anterior (Sección 3) con respecto a un conjunto de posibles criterios de manejo. En esta sección, se propondrán pautas para la recogida de la poda. El objetivo es asegurar una calidad del suelo estable y duradera y, al mismo tiempo, permitir la recogida de la poda para el uso de energía. Este conjunto de criterios debe entenderse como una metodología para lograr una compensación óptima entre las dos opciones alternativas, "poda a la energía" y/o "poda al suelo", respectivamente.

### 4.1 Recomendaciones de EuroPruning para garantizar la sostenibilidad del suelo

En un proyecto anterior de la UE (EuroPruning 2016a) ya se han proporcionado recomendaciones sobre la recogida de la poda y la compensación de la fertilidad del suelo. Cinco principales condiciones críticas del suelo fueron consideradas:

1. Una buena estructura del suelo y un alto nivel de MO son condiciones que proporcionan una capacidad óptima de retención de agua y disponibilidad de nutrientes para los cultivos arbóreos. Los indicadores específicos a considerar son el COS y la densidad aparente del suelo.
2. Prevenir las pérdidas de nutrientes por el drenaje de aguas profundas, especialmente considerando la lixiviación de nitratos que causa la eutrofización de las corrientes de agua y las aguas subterráneas. Indicadores específicos: balance de nutrientes y lixiviación de nitratos.
3. Evitar la erosión del suelo debido a la escorrentía de la superficie del agua que produce pérdidas de partículas finas de suelo y MO del suelo en la capa superior del suelo (las pérdidas de suelo deben considerarse un indicador).
4. Reducir drásticamente las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) en la atmósfera, con especial consideración en el CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub> (estos últimos deben considerarse como indicadores).
5. También se deben considerar las condiciones locales del suelo particularmente críticas, como los riesgos de anegamiento, acumulación de salinidad, compactación y dureza, restricciones químicas o físicas (como pH extremo, alcalinidad, baja conductividad del agua, etc., según lo representado por varios indicadores específicos).

En el marco del proyecto *Europruning*, los efectos de la recogida de la poda se detectaron con referencia específica a las condiciones y los indicadores del suelo mencionados anteriormente, y se concluyó que la poda puede eliminarse del suelo si se disponen otras fuentes de carbono (como los pastos de cobertura o la enmienda del suelo orgánico) y la exportación de nutrientes se compensa con el suministro de nutrientes (mediante la fertilización).

Algunos inconvenientes, sin embargo, pueden ser identificados. Muy esquemáticamente:

**La poda no debe eliminarse** del campo si:

- **No se puede establecer una cobertura de vegetación > 80%** entre árboles (entre filas) y
  - a) la estructura del suelo es débil y tiende a compactación / sedimentación / escorrentía superficial o
  - b) los campos son propensos a la erosión y no existen medidas alternativas de protección contra la erosión o
  - c) suelo superior tiende a condiciones de anegamiento/anóxico o

- **No se puede establecer una cobertura vegetal con > 15 t ha/año** biomasa fresca (3 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>) y un bajo contenido de carbono en el suelo.

Si se aplica uno o más de los casos de (a) a (c), el problema dominante debe tratarse de la siguiente manera:

- Si (a) o (b), la poda debe triturarse y usarse como cobertura de mantillo.
- Si (c), la poda debe ser triturada e incorporada en el suelo.

Este consejo general puede ser modificado de acuerdo a las características ambientales locales. Además, se recomendó considerar cuidadosamente los efectos de los siguientes factores:

La plantación sin cobertura vegetal entre los árboles puede ser propenso a una fuerte erosión en el campo en pendiente. Se debe respetar un equilibrio de nutrientes entre el suministro de fertilizantes y la absorción de nutrientes por parte de los árboles. La irrigación efectiva de la plantación requiere un equilibrio entre el agua aplicada y el drenaje para evitar que se acumule salinidad en el suelo ("requisito de lixiviación").

La mayoría de los problemas de fertilidad/sostenibilidad del suelo podrían resolverse aplicando las herramientas y técnicas de manejo existentes; Parece que estos problemas no están relacionados principalmente con la recogida de la poda de las plantaciones. Considerando cuidadosamente estas recomendaciones, **se puede sugerir el uso energético de la poda como una operación normal**. Estas fueron las conclusiones alcanzadas por los análisis de *EuroPruning* y las evaluaciones realizadas.

## 4.2 La metodología de evaluación propuesta por uP\_running

Las recomendaciones presentadas en el marco del proyecto *EuroPruning* son un excelente conjunto de consejos operativos y un interesante punto de partida para avanzar un poco más.

Se dispone de marcos integrales para evaluar el efecto de las prácticas agrícolas en los servicios de los ecosistemas del suelo y, eventualmente, los servicios (Ferrarini et al., 2017; Barot et al., 2017; Clothier et al., 2011; Dominati et al., 2014). Un índice completo de calidad del suelo debe basarse en la selección de indicadores de suelo sensibles al manejo que son específicos de los tres componentes de la salud del suelo: físico, químico y biológico (Clothier et al., 2011; Moebius-Clune et al., 2016 ; Schindelbeck et al., 2008).

El objetivo de este informe es mucho más limitado y restringido, y se centra en elaborar un esquema de evaluación fácil de implementar (se puede decir que es una especie de breve "lista de verificación") para capturar las condiciones del suelo al identificar un conjunto mínimo de características intrínsecas del suelo, junto con las condiciones climáticas. De acuerdo con el estado del suelo inspeccionado y por medio de indicadores relacionados con las características básicas del suelo, es posible obtener una apreciación integral sobre el manejo del suelo que debe aplicarse y el consiguiente destino de la poda (para ser eliminado o retenido en el campo).

La metodología propuesta está estructurada en tres pasos consecutivos (ver Figura 5.1) que incluyen la selección de indicadores, la evaluación de la condición, la selección de la estrategia de manejo de suelos a seguir, selección de las operaciones concretas a aplicar conforme a la estrategia seleccionada y aplicación de las mismas. El siguiente es el proceso de tres pasos informados esquemáticamente.

**Paso 1.** Evaluar la condición del suelo a través de la detección de cuatro indicadores generales. (Tabla 4.1).

**Paso 2.** Establecer las estrategias de manejo del suelo que deben ser efectivas para mantener o mejorar la calidad del suelo (y preservar el contenido de MO) como resultado de la evaluación previa del suelo (Tabla 4.2).

**Paso 3.** Implementación de las opciones técnicas o prescripciones, de acuerdo con la estrategia de manejo seleccionada, que se debe seguir para preservar la calidad del suelo mientras se utiliza la poda con fines energéticos (Tabla 4.3).

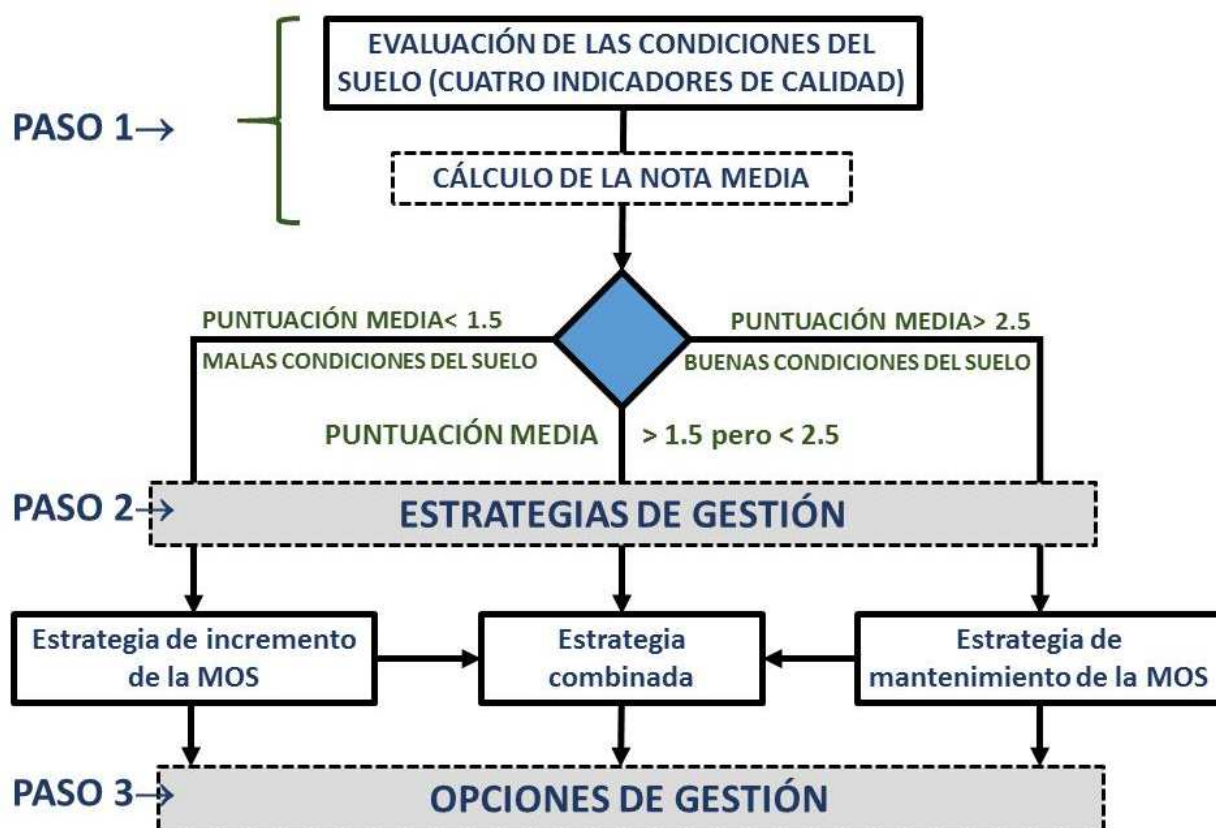


Figura 4.1 Diagrama de flujo de la metodología propuesta para evaluar las condiciones sostenibles del suelo para recoger la poda de árboles frutales del campo. El proceso de evaluación consta de tres pasos consecutivos: a) condiciones del suelo; b) estrategias de manejo; c) opciones de gestión.

### 4.3 Evaluación de las condiciones de suelo

El primer paso debe permitir la evaluación de las condiciones del suelo que se detectan considerando un conjunto mínimo de datos compuesto por solo cuatro indicadores de calidad del suelo. Se han considerado los siguientes indicadores: contenido de MO del suelo, textura del suelo, pendiente del suelo y condiciones climáticas.

- a) Contenido de materia orgánica del suelo (MO) expresado como porcentaje del peso seco del suelo. Teóricamente, solo deben considerarse los compuestos estables y humificados, donde el contenido de carbono está en el rango de 52-58% en peso con respecto a la MO. El factor convencional para convertir el carbono orgánico del suelo (COS) en materia orgánica del suelo (MO) es igual a 1.724, basado en el supuesto de que la materia orgánica del suelo contiene exactamente 58% de carbono. Como una indicación promedio, muy general, el suelo pobre en MO son aquellos con un valor inferior al 1.5%; Se suministran moderadamente los suelos con MO en el rango de 1.5-2.5%; finalmente, bien suministrados son los suelos con un valor de MO superior al 2.5%. Para ser más

precisos en este tipo de evaluación, se debe considerar que la textura del suelo afecta significativamente el contenido de MOS que disminuye gradualmente en la medida en que la textura del suelo está más representada por la arena que por la arcilla (Tabla 4.1). La Figura 4.2 muestra un mapa del contenido de carbono orgánico en la capa superficial.

- b) Textura del suelo o desglose porcentual de partículas elementales del suelo en el diagrama ternario de arcilla, limo y arena. La textura del suelo (junto con la estructura) se correlaciona fuertemente con la capacidad de retención de agua del suelo, la permeabilidad y conductividad del agua, la aireación, la compactación y la trabajabilidad mecánica. Todas estas propiedades afectan significativamente la dinámica de MO y su volumen de negocios. Los suelos de textura muy ligera (fracción de arena más alta) son propensos a la mineralización MO, mientras que los suelos de textura pesada (fracción de arcilla más alta) pueden ser muy duros y difíciles de cultivar y propensos a la saturación de agua. Las mejores condiciones se registran cuando los suelos margosos están disponibles. Los suelos calcáreos (piedra caliza > 10%) generalmente tienen un pH bastante básico (7.4-7.9) y un valor de MO más bajo, mientras que cuando el pH es bastante bajo (6.1-6.5), la cantidad de MO del suelo es generalmente más alta.
- c) Pendiente del suelo (expresada como porcentaje). Si la pendiente del suelo es inferior al 5%, el suelo puede considerarse plano o moderadamente plano; si el ángulo de inclinación es entre 5 y 20%, la pendiente del suelo es significativa; finalmente, la pendiente es fuerte si la inclinación del suelo es superior al 20%. Cuánto más alta es la pendiente del suelo, mayor es el riesgo de erosión del suelo en caso de lluvias intensas, la tasa intensiva de escorrentía de agua y la infiltración limitada de agua en el suelo. Debido a la erosión, el suelo y las pérdidas de MO podrían ser muy importantes.
- d) Las condiciones climáticas locales pueden caracterizarse aplicando el índice de aridez anual de De Martonne cuando el interés principal es estimar el contenido de agua del suelo y la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas. La fórmula de De Martonne es la siguiente:  $P / (T + 10)$ ; donde P es la precipitación anual (medida en mm) que también considera la cantidad total de agua de riego suministrada a los cultivos arbóreos, y T es la temperatura promedio anual (medida en °C). El índice de aridez es una variable climática que se refiere al valor promedio de un período de tiempo suficientemente largo para ser estadísticamente representativo, al menos un marco de tiempo de treinta años, según la Organización Meteorológica Mundial (Figura 5.3). El índice de aridez se correlaciona estrictamente con la tasa de mineralización de la MO, ya que las temperaturas más altas y la disponibilidad de agua más baja promueven la descomposición de la MO, por lo que requieren mayores insumos de MO anuales.

*Tabla 4.1 Contenido de materia orgánica del suelo (MO) expresado como porcentaje del peso seco del suelo y con respecto a las principales categorías de textura del suelo.*

| MO<br>conten    | Suelos Arenosos <sup>(1)</sup> |      | Suelos Francos <sup>(2)</sup> |      | Suelos Arcillosos y Limosos <sup>(3)</sup> |      | Reglas Generales |      |
|-----------------|--------------------------------|------|-------------------------------|------|--------------------------------------------|------|------------------|------|
|                 | ≥                              | <    | ≥                             | <    | ≥                                          | <    | ≥                | <    |
| <b>Muy bajo</b> |                                | 0.80 |                               | 1.00 |                                            | 1.20 |                  | 1.00 |
| <b>Bajo</b>     | 0.80                           | 1.40 | 1.00                          | 1.80 | 1.20                                       | 2.20 |                  | 1.50 |
| <b>Moderado</b> | 1.40                           | 2.00 | 1.80                          | 2.50 | 2.20                                       | 3.00 | 1.50             | 2.50 |
| <b>Alto</b>     | 2.00                           |      | 2.50                          |      | 3.00                                       |      | 2.50             |      |

(1) Suelos arenosos = arena, arena franca; marga arenosa.

(2) Suelos francos = franco, limo limo, franco arcilloso, franco arcilloso arenoso.

(3) Suelos arcillosos y limosos = arcilla arcillosa, limo limo limo limo, arcilla arenosa, limo.

De acuerdo con la evaluación atribuida a cada indicador de suelo, se pueden asignar tres puntuaciones posibles: 1, 2 o 3, respectivamente. Un puntaje creciente identifica mejores características de calidad del suelo, de acuerdo con las especificaciones reportadas en la Tabla 4.2.

La puntuación final es la puntuación promedio resultante de los cuatro puntajes individuales asignados a cada indicador de suelo. Por ejemplo: COS = 3; Textura = 3; Pendiente del suelo = 2; Condición climática = 1;  $\Rightarrow$  Puntuación promedio =  $(3 + 3 + 2 + 1) / 4 = 2.25$ . La puntuación promedio calculado corresponde al "color amarillo" con respecto al uso de la poda (como se indica en la Tabla .3) que requiere una estrategia de manejo específica hecha de un conjunto de opciones técnicas disponibles para el agricultor.

Tabla 4.2 Indicadores de calidad del suelo considerados en el procedimiento de evaluación del suelo.

| CALIFICACIÓN | MO (%)    | TEXTURA (%)                                    | PENDIENTE (%) | CONDICIÓN CLIMÁTICA* |
|--------------|-----------|------------------------------------------------|---------------|----------------------|
| 3            | > 3.0     | ARCILLA 10-30;<br>y LIMO < 50;<br>y SAND < 50  | < 5           | > 30                 |
| 2            | 1.5 - 3.0 | ARCILLA 10-30;<br>y LIMO > 50;<br>o ARENA > 50 | 5 - 20        | 20 - 30              |
| 1            | < 1.5     | ARCILLA < 10<br>O<br>ARCILLA > 30              | > 20          | < 20                 |

\* De Martonne's annual aridity index

## 4.4 Identificar la estrategia de gestión adecuada

El segundo paso debería permitir identificar la estrategia adecuada de manejo del suelo una vez que se haya obtenido la puntuación final de condición del suelo (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Estrategias de manejo del suelo según puntuación promedio asignado a las condiciones del suelo.

| PUNTUACIÓN MEDIA                                                                                                                            | ESTRATEGIAS DE MANEJO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <br><b>Puntuación &gt; 2.5</b>                           | <b>"Luz Verde"</b><br>Las condiciones del suelo son buenas o incluso óptimas.<br>$\Rightarrow$ Posibilidad total de recoger la poda del suelo.<br>$\Rightarrow$ No se necesitan ajustes específicos.<br>$\Rightarrow$ Se deben aplicar opciones de mantenimiento de la calidad del suelo.                                                                                      |
| <br><b>Puntuación <math>\leq 2.5</math><br/>&gt; 1.5</b> | <b>"Luz Amarilla"</b><br>Condiciones del suelo no óptimas, pero buenas; seguramente no crítico.<br>$\Rightarrow$ La poda puede ser recogida del suelo.<br>$\Rightarrow$ Se solicitan estrategias específicas de manejo del suelo.<br>$\Rightarrow$ Se debe aplicar una combinación de (al menos) tres opciones de "aumento de calidad" y otras dos "mantenimiento de calidad". |
| <br><b>Puntuación <math>\leq 1.5</math></b>              | <b>"Luz Roja"</b><br>Las condiciones del suelo son malas o muy malas.<br>$\Rightarrow$ No hay posibilidades de recoger la poda del suelo<br>$\Rightarrow$ Se necesita un fuerte reajuste de las prácticas de manejo del suelo.<br>$\Rightarrow$ Se debe aplicar un conjunto de opciones de "aumento de la calidad".                                                            |

Las puntuaciones obtenidas se interpretarán a continuación:

- a) la puntuación promedio es superior a 2.5, las condiciones del suelo son buenas o incluso óptimas. Se enciende una "luz verde". Significa que la posibilidad total de recoger la poda del suelo está disponible, abordando su uso con fines energéticos. Por lo tanto, no se necesitan estrictamente ajustes específicos para mejorar aún más la gestión actual del suelo aplicada a condición de que al menos las opciones de mantenimiento de MO ya estén implementadas.
- b) La puntuación promedio está en el rango de 1.5 a 2.5, las condiciones del suelo no son óptimas, pero siguen siendo buenas; Seguramente no es crítico. Se enciende una "luz amarilla". Significa que la poda puede recogerse del suelo y dirigirse a fines energéticos, siempre que se apliquen opciones de manejo específicas ("cumplimiento cruzado"). Estas operaciones prescritas son una combinación de al menos tres opciones de "aumento de calidad" y dos "mantenimiento de calidad".
- c) La puntuación promedio es inferior a 1.5, las condiciones del suelo son malas o muy malas. Se enciende una "luz roja". Esto significa que no hay posibilidades de recoger la poda del suelo y abordar su uso con fines energéticos. Alternativamente, se necesita un reajuste profundo de las prácticas de manejo actuales para establecer mejores condiciones del suelo con respecto al contenido de MO. Por lo tanto, las condiciones del suelo deben mejorarse drásticamente mediante la aplicación de un conjunto de opciones de "mejora de la calidad". Este debe ser el único conjunto de opciones apropiado y obligatorio si se desea recoger la poda del suelo. Por lo tanto, se aplica un régimen de manejo regenerativo al suelo (ver "estrategia de aumento de la calidad del suelo" en la Tabla 4.4).

Además, las siguientes consideraciones deben ser claras y evidentes:

- Independientemente de las condiciones iniciales del suelo, una estrategia de "disminución de la calidad del suelo" no es una opción disponible y, por lo tanto, debe evitarse, incluso si los restos de poda no se retirarán de la plantación de fruta (se invoca el "principio de precaución").
- A la inversa, independientemente de las posibles condiciones iniciales del suelo, todos los agricultores deberían alentar la estrategia de "aumento de la calidad", independientemente del destino de la poda, tanto si permanece como si se recoge del campo (el "principio de mejor opción" es invocado en este caso).

## 4.5 Aplicar las prescripciones de gestión

El tercer paso debe permitir implementar algunas opciones técnicas o prescripciones de acuerdo con la estrategia de gestión seleccionada.

La gestión del suelo por parte de los agricultores debe tener en cuenta un conjunto de opciones técnicas capaces de preservar y mantener la calidad del suelo y los servicios ecológicos, junto con la capacidad de proporcionar recursos para el crecimiento y la productividad de las plantas. En este sentido, la fertilización orgánica, la cobertura del suelo por el pasto y los procesos mecánicos del suelo se consideran las principales opciones de manejo influyentes.

Después de evaluar la puntuación promedio de los cuatro indicadores de calidad del suelo, los agricultores deben considerar una serie de estrategias de mantenimiento o mejora del suelo para garantizar que el retiro de la poda no comprometa la calidad del suelo y su fertilidad a largo plazo. Para este propósito, las opciones son las siguientes (ver Tabla 4.4):

- Si la puntuación promedio > 2.5: no se solicitan acciones particulares, excepto por una estrategia de mantenimiento.

- Si la puntuación promedio está entre 1.5 y 2.5: los agricultores deben asegurarse de aplicar una serie de buenas prácticas en el manejo del suelo. Estas prácticas tienen como objetivo aumentar la calidad del suelo para permitir que se retire la poda del campo. El agricultor acuerda adoptar buenas prácticas de manejo del suelo de acuerdo con la siguiente combinación: (Tabla 4.4)
  - o Al menos 3 medidas para aumentar la calidad del suelo (estrategia de "aumento de la calidad").
  - o No más de 2 medidas para preservar la calidad del suelo (estrategia de "mantenimiento de la calidad").
- Si la puntuación promedio <1.5: dado que las condiciones del suelo son muy desfavorables, la recogida de la poda para el uso de energía de acuerdo con las prácticas habituales de manejo del suelo no está en línea con el objetivo de preservar la sostenibilidad del suelo. Por defecto, la poda puede tener un papel importante como fuente de carbono para agregarse al suelo, y se recomienda a los agricultores que usen la poda como un insumo de carbono. La poda para la energía podría promoverse solo en el caso de que los agricultores apliquen drásticamente las siguientes buenas prácticas:
  - o Todas las 5 medidas disponibles para aumentar la calidad del suelo (estrategia de "aumento de la calidad").

En la Tabla 4.4 se presenta un resumen de las operaciones de cultivo que permiten aumentar la calidad del suelo y las estrategias de mantenimiento.

Tabla 4.4 Estrategias de manejo del suelo según varias opciones técnicas.

| ADMINISTRACIÓN<br>ESTRATEGIAS           | OPCIONES TÉCNICAS                             |                                    |                                                                          |                                                    |                     |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|
|                                         | GESTIÓN<br>FERTILIZACIÓN                      | GRADO<br>CUBIERTA<br>SUELO         | PERIODO<br>COBERTURA<br>SUELO                                            | MECÁNIZACIÓN<br>DEL SUELO                          | TRÁFICO<br>MECÁNICO |
| <b>INCREMENTO DE<br/>MOS</b>            | Fertilización<br>orgánica y abono             | Cobertura<br>total                 | Cobertura<br>anual<br>permanente                                         | Ausente<br>(sin laboreo)                           | Bajo                |
| <b>ESTRATEGIA<br/>COMBINADA<br/>MOS</b> | Fertilización<br>orgánica<br>o<br>abono verde | Cobertura<br>total o<br>parcial    | Cobertura anual<br>permanente o<br>cobertura de<br>invierno<br>extendida | Ausente o<br>significativamente<br>reducida        | Bajo o<br>moderado  |
| <b>MANTENIMIENTO<br/>MOS</b>            | Abono verde                                   | Cobertura<br>parcial               | Cubierta de<br>invierno<br>extendida                                     | Significativamente<br>reducida<br>(mínimo laboreo) | Moderado            |
| <b>MOS<br/>MENGUANTE</b>                | sin abono<br>ni<br>fertilización<br>orgánica  | Cobertura<br>limitada o<br>ausente | cubierta de<br>invierno limitada<br>o ausente                            | convencional<br>(arando y subsolado)               | Alto                |

La parte final de esta sección incluye algunas consideraciones sobre las diferentes opciones técnicas para garantizar una gestión sostenible de los suelos por parte de los agricultores cuyos campos deben mejorarse en términos de calidad del suelo y contenido de MOS.

El suministro de materia orgánica completamente madura y compostada (ya sea de origen animal o vegetal) es el factor que afecta directamente la ingesta de carbono en el suelo y su balance de MO. Por lo tanto, esta operación de cultivo generalmente es muy efectiva para establecer una fase de aumento rápido y progresivo en el contenido de MOS.

La cobertura del suelo por una hierba natural establecida o sembrada (Figura 5.2) tiene dos formas diferentes de ejercer su acción protectora del suelo: una está relacionada con el "espacio" (la fracción del suelo realmente cubierta) y la otra está relacionada con el "tiempo" (la fracción del año en que la cobertura del suelo está presente y activa). Cuánto más alta es la fracción de superficie cubierta, tanto en el espacio como en el tiempo, mayor es el beneficio para el suelo. Las condiciones microclimáticas que experimenta un suelo cubierto son muy positivas para reducir la evapotranspiración, preservar el agua del suelo, aumentar la infiltración de agua evitando la escorrentía superficial y la erosión del suelo, mitigar las temperaturas extremas (valores máximos y mínimos), promover las actividades bacterianas y micorrizales, humificación y ciclo de nutrientes. La cobertura de hierba en inter-filas resuelve muchos problemas de sostenibilidad para el uso de la poda. Genera una fuente de carbono alternativa debido a la dinámica de la microbiología del suelo y la acumulación de sustancias húmicas (EuroPruning, 2016a, b).



*Figura 5.2. Comparación del manejo del suelo; A la izquierda muestra la superficie del suelo desnudo, mientras que a la derecha muestra el suelo cubierto de pastos y restos de cultivos secos.*

Teniendo en cuenta los climas mediterráneos, la temporada de otoño-invierno es la que se caracteriza principalmente por las lluvias, mientras que la temporada de primavera-verano es generalmente casi árida. Estas observaciones significan que, durante la temporada de lluvias, una cubierta del suelo grande, densa y efectiva es de gran importancia para preservar el suelo mediante la erosión. Además, la actividad de los árboles en invierno es lenta o ausente. A la inversa, durante la estación seca, los pastos pueden competir con los árboles frutales por la disponibilidad de agua; el crecimiento de la hierba es difícil debido a esta restricción climática (a menos que se aplique riego) pero, en cualquier caso, las operaciones de corte periódicas tienen el propósito de reducir este efecto competitivo. Por lo tanto, una cobertura de suelo con pasto se considera más efectiva en invierno que en verano, dado que las lluvias (escasas) en verano pueden acontecer de manera súbita y concentrada en forma de tormentas, su impacto en algunas zonas puede ser muy alto. Mantener una cobertura mínima, o evitar el laboreo son medidas que limitan el impacto de erosión en estos periodos.

La alteración del suelo por operaciones mecánicas frecuentes y pesadas es la causa de la degradación y las pérdidas estructurales del suelo, especialmente cuando la arcilla es el principal componente del suelo. Una mezcla de tierra demasiado energética da como resultado una rápida mineralización de MOS con la consiguiente pérdida de carbono orgánico junto con nutrientes. La compactación del suelo, el anegamiento, las condiciones anóxicas son, generalmente, las consecuencias resultantes. Aplicar una labranza reducida o incluso desarrollar un sistema de cultivo sin labranza (en combinación con cultivos de cobertura) es una reorientación muy positiva en la gestión de la agricultura.

En cualquier caso, y cualquiera que sea el sistema de cultivo adoptado (si está más o menos orientado a una práctica de cultivo sostenible), el seguimiento periódico de las características del suelo es de gran importancia, con especial atención al contenido de la MO, por lo que una verificación rápida de la Se puede detectar la evolución dinámica de la calidad del suelo.

# 5. Recomendación y conclusiones



## 5 RECOMENDACIÓN Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la actividad general del agricultor invertido en el manejo de una plantación de árboles frutales, el mantenimiento de la calidad y la fertilidad del suelo juega un papel esencial, con grandes e importantes consecuencias tanto en el corto como en el largo plazo.

El concepto de sostenibilidad ecológica establece que el uso de recursos naturales para favorecer la formación de la fruta y unos altos rendimientos deben invertirse a un ritmo igual o inferior al de su regeneración natural. Cumplir a la perfección con este principio ecológico es una clave crucial para realizar una buena práctica agrícola y lograr el éxito en la agricultura.

El objetivo es evitar cualquier riesgo de efecto perjudicial sobre la fertilidad del suelo y sobre el ecosistema en general, lo que apoya la plena realización del potencial de rendimiento de la planta, en sinergia con varias otras operaciones técnicas, como el manejo integrado de plagas y enfermedades, riego y drenaje, manejo de parte aérea y poda.

Recoger la poda del viñedo, del olivar o plantación de frutas significa extraer recursos que deben devolverse o compensarse, evitando así los efectos perjudiciales progresivos y el empobrecimiento del suelo a largo plazo. En este sentido, se presentó y discutió en este documento un enfoque para evaluar las condiciones sostenibles del suelo para eliminar los restos de árboles frutales.

El principal criterio a desarrollar en el manejo de la plantación de árboles frutales es el de "equilibrio" o "equilibrio". Dependiendo de las condiciones iniciales del suelo, se pueden aplicar varias opciones técnicas para contrarrestar la recogida de la poda y permitir un buen rendimiento agrícola. Cuanto peores son estas condiciones, más firmes son las operaciones efectivas que deben realizarse y la necesidad de evolucionar las prácticas de cultivo hacia mejores estándares ecológicos.

Para hacer un resumen, algunas consideraciones esquemáticas finales pueden ser útiles:

- La quema al aire libre de la poda (Figura 6.1) debe ser siempre evitada, a menos que haya plagas y enfermedades presentes y los restos muestren síntomas claros de contaminación por microorganismos. Solo en este caso, la quema de la poda en campo abierto se puede tolerar como una operación adecuada, justificada por la necesidad de prevenir la propagación del ataque de plagas (es decir, por razones de profilaxis). De manera diferente, la quema en campo abierto es una práctica muy peligrosa para la salud por los humos nocivos emitidos, y por el riesgo que implica como origen de incendios forestales. Esta práctica habitual también es ambientalmente inadecuada (debido a las emisiones de GEI y contaminantes en la atmósfera); poco saludable para el suelo (debido a la consecuente mineralización de la MO, eliminación microbiana, comportamiento hidrófobo del suelo, etc.); poco útil en términos de suministro de minerales mediante cenizas (como una referencia general de aproximadamente 7-14 kg/ha en  $K_2O$ ; 2-4 kg/ha en  $P_2O_5$ ).
- La trituración de la poda para crear una cobertura de mantillo en el suelo o, como alternativa, para integrar los restos en las capas superiores del suelo, podría representar una operación beneficiosa en términos de calidad y salud del suelo. Como una estimación muy general y aproximada, esta práctica anualmente permite el retorno al suelo de una cantidad de MO aproximadamente igual a un 40% del humus perdido anualmente por la mineralización. Con respecto a los minerales, aproximadamente el 10-30% de los requerimientos anuales en macro y el 30-50% en micronutrientes están disponibles mediante la descomposición de la poda. Esto significa que de todos modos se necesita una compensación en términos de fertilizantes orgánicos y minerales. Además, se debe tener en cuenta

un suministro adicional de nitrógeno para evitar el llamado "bloqueo del nitrógeno". Los fertilizantes orgánicos (en comparación con los minerales) tienen la ventaja de caracterizarse por una liberación más lenta de nutrientes, evitando así las pérdidas por lixiviación o escorrentía de la superficie y también como acondicionadores del suelo.



*Figura 5.1 La quema a campo abierto de la poda siempre debe ser evitada, a menos que haya plagas y enfermedades y los restos muestren síntomas claros de contaminación por microorganismos.*

- La conversión de energía de la poda no es incompatible con un manejo sostenible del suelo y una fertilidad y calidad del suelo a largo plazo. Estas conclusiones ya se mencionaron como resultado de un proyecto anterior de la UE (EuroPruning 2016a, b) y se confirman completamente aquí. La poda puede ser eliminada y dirigida a fines energéticos, siempre que se organice un conjunto de operaciones de contrarrestación y se implemente de manera habitual por el agricultor. Habiendo asegurado así las condiciones adecuadas y seguras del suelo, se puede recomendar el uso energético de la poda sin ningún tipo de carga para los recursos agrícolas y el medio ambiente.

# 6. **Glosario y definiciones**



## 6 GLOSARIO Y DEFINICIONES

*Aquí una versión corta de las definiciones. El texto completo está disponible en la versión completa en inglés de este documento (disponible en la pestaña del menú "documentos" de [www.up-running.eu](http://www.up-running.eu)).*

**Plantación de árboles frutales.** Campo cultivado o parcelas plantadas con árboles frutales o arbustos, incluyendo cualquiera de los siguientes:

- Frutal de pepita y hueso: manzanas, peras, ciruelas, albaricoques, melocotones, cerezas, membrillos, otras rosáceas e higos.
- Olivos y viñedos
- Arbustos de bayas: grosellas negras y / o rojas, frambuesas, grosellas, mora
- Especies de cítricos: naranjas, limones, mandarinas, mandarinas, uvas, pomelos
- Frutal de frutos secos: castaño, nogal, almendra, avellana, pistacho

**Poda de árboles frutales.** Corte y recogida de partes seleccionadas de un árbol frutal. Abarca una serie de técnicas hortícolas. La poda a menudo significa cortar ramas, a veces eliminando miembros más pequeños por completo; también puede significar la eliminación de brotes jóvenes, brotes y hojas.

**PARP.** Acrónimo. Tipo particular de materia prima de biomasa correspondiente a la madera de "Poda Agraria y Renovación de Plantaciones". Este acrónimo se usa en el marco del proyecto uP\_running.

# 7. Referencias

## 7 REFERENCIAS

Aquí la lista completa de referencias publicadas en la versión en inglés de este documento. No todas las referencias citadas están presentes en el texto, ya que este documento es una versión que concentra los elementos principales de la versión original.

- Adhikari K., Hartemink A.E., 2016. Linking soils to ecosystem services - A global review. *Geoderma* 262, 2 101-111.
- Alvaro-Fuentes, J., Lopez, M.V., Arrue, J.L., Moret, D., Paustian, K. 2009. Tillage and cropping effects on soil organic carbon in Mediterranean semiarid agroecosystems: testing the Century model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134, 211–217.
- Badalkova, B., 2010. Influence of soil tillage on soil compaction. In: Dedousis, A.P., Bartzanas, T. (Eds.), *Soil Engineering, Soil Biology* 20. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 19-30.
- Baggs E.M., Rees R.M., Smith K.A., Vinten A.J.A., 2000. Nitrous oxide emission from soils after incorporating crop residues. *Soil Use Manage Oxford*. 16, 82-7.
- Balesdent, J., Chenu, C. & Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research*, 53, 215–230.
- Barot S., Yé, L., Abbadie, L., Blouin, M., Frascaria, N., 2017. Ecosystem services must tackle anthropized ecosystems and ecological engineering. *Ecol. Eng.* 99, 486-495.
- Barot, S., Yé, L., Abbadie, L., Blouin, M., Frascaria, N., 2017. Ecosystem services must tackle anthropized ecosystems and ecological engineering. *Ecol. Eng.* 99, 486–495.
- Baveye P. C., Baveye J., Gowdy J., 2016. Soil “Ecosystem” Services and Natural Capital: Critical Appraisal of Research on Uncertain Ground. *Frontiers in Environmental Science*, Volume 4, Article 41.
- Berndes G, Bird N, Cowie A, 2010. Bioenergy, land use change and climate change mitigation. IEA Bioenergy. Available from: <http://task39.org/files/2013/05/Bioenergy-Land-Use-Change-and-Climate-Change-Mitigation.pdf>
- Boschiero M., Cherubini F., Nati C., Zerbe S., 2016. Life cycle assessment of bioenergy production from orchards woody residues in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production* 112, 2569-2580.
- Boschiero, M., Kelderer, M., Schmitt, A.O., Andreotti, C., Zerbe, S., 2015. Influence of agricultural residues interpretation and allocation procedures on the environmental performance of bioelectricity production e a case study on woodchips from apple orchards. *Appl. Energy* 147, 235-245
- Brandão M, Milà i Canals L, Clift R., 2011. Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass Bioenergy*. 35, 2323–36.
- Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., de Goede R., Flesskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukkel W., van Groenigen J.W., Brussaard L., 2018. Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125.
- Campbell E., Paustian K, 2015. Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: a review. *Environ. Res. Lett.* 10, 123004

- Cederberg C, Stadig M., 2003. LCA case studies system expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *Int J Life Cycle Ass.* 8, 350–6.
- Cherubini, F., Strømman, A.H., 2011. Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresour. Technol.* 102 (2), 437–451.
- Cherubini, F., Ulgiati, S., 2010. Crop residues as raw materials for biorefinery systems e a LCA case study. *Appl. Energy* 87 (1), 47–57.
- Clothier, B.E., Hall, A.J., Deurer, M., Green, S.R., Mackay, A.D., 2011. Soil ecosystem services. *Sustaining Soil Productivity in Response to Global Climate Change*. Wiley-Blackwell, Oxford, UK, pp. 117–139.. ch9.
- Costanza R. 2015. Ecosystem services in theory and practice. In *Valuing nature: Protected areas and ecosystem services*, Figgs P, Mackey B, Fitzsimons J, Irving J, Clark P (eds). Australian Committee for IUCN: Sydney; 6–15.
- Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253–260.
- Costanza R., Daly H., 1992. Natural Capital and Sustainable Development. *Conservation Biology* 6(1):37–46.
- Costanza R., de Groot R., Braat L., Kubiszewski I., Fioramonti L., Sutton P., Farber S., Grasso M., 2017. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services* 28, 1–16.
- Cowie, A.L., Smith, P., Johnson, D., 2006. Does soil carbon loss in biomass production systems negate the greenhouse benefits of bioenergy? *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 11 (5e6), 979–1002.
- Dawson, J.J.C., Smith, P. 2007. Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. *Science of the Total Environment*, 382, 165–190.
- De Cicco J.M., Schlesinger W.H., 2018. Reconsidering bioenergy given the urgency of climate protection. *PNAS*, 115, 9642–9645.
- Demestihis C., Plénet D., Génard M., Raynal C., Lescourret F. (2017). Ecosystem services in orchards. A review. *Agron. Sustain. Dev.* (2017) 37: 12.
- den Boer, J., Gomez-Palmero, M., Sebastian, F., García-Galindo, D., Dyjakon, A., Bukowski, P., Den Boer, E., Germer, S., Bischoff, W-A., 2016. Pruning residues: energy production or mulching? Environmental impacts of almond pruning residues use. In *Proceedings of the 24th European Biomass Conference and Exhibition, Amsterdam, the Netherlands, 6–9 June 2016*; pp. 1485–1489.
- Dominati E.J., Mackay A., Green S., Patterson M., 2014. A soil change-based methodology for the quantification and valuation of ecosystem services from agro-ecosystems: a case study of pastoral agriculture in New Zealand. *Ecol. Econ.* 100, 119–129.
- Dominati EJ, 2013. Natural capital and ecosystem services of soils. In Dymond JR ed. *Ecosystem services in New Zealand – conditions and trends*. Manaaki Whenua Press, Lincoln, New Zealand.
- Doran, J. W., et al. 1994. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Madison, WI: Soil Science Society of America.

- Doran, J.W. and Parkin, T.B. (1994) Defining and Assessing Soil Quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicsek, D.F. and Stewart, B.A., Eds., *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*, Soil Science Society of America Journal, Madison, 3-21.
- Dyjakon A., den Boer J., Szumny A., den Boer E. 2019. Local Energy Use of Biomass from Apple Orchards - An LCA Study. *Sustainability* 11(6):1604.
- EuroPruning (2016a). Report with recommendation for wood prunings utilisation for sustainable soil management. Deliverable Report D7.3 EuroPruning. Available at: [www.europruning.eu](http://www.europruning.eu)
- EuroPruning (2016b). Report on environmental evaluation of the supply chain. Deliverable Report D8.1 EuroPruning. Available at: [www.europruning.eu](http://www.europruning.eu)
- FAO, 2017. *Landscapes for life Approaches to landscape management for sustainable food and agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Ferrarini A., Bini C., Amaducci S., 2018. Soil and ecosystem services: Current knowledge and evidences from Italian case studies. *Applied Soil Ecology*. 123, 693-698.
- Ferrarini A., Bini C., Amaducci, S., 2018. Soil and ecosystem services: Current knowledge and evidences from Italian case studies. *Applied soil ecology* v.123 pp. 693-698
- Fritsche UR, Ralph EH, Sims REH, Monti A, 2010. Direct and indirect land-use competition issues for energy crops and their sustainable production - an overview. *Biofuels Bioprod. Bioref.* 4, 692-704.
- Garofalo P., Cammerino A.R.B., Delivand M.K., Monteleone M., 2014. Cereal straws for energy conversion: a regional assessment to preserve soil organic carbon and decrease GHG emission. Conference: 22nd European Biomass Conference and Exhibition, Hamburg, Germany.
- Giuntoli, J., Boulamanti, A.K., Corrado, S., Motegh, M., Agostini, A., Baxter, D., 2013. Environmental impacts of future bioenergy pathways: the case of electricity from wheat straw bales and pellets. *Glob. Change Biol. Bioenergy* 5 (5), 497-512.
- Gliessman S. R. (2000). *Agroecology – Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press: Boca Raton FL, USA.
- Gnansounou, E., Dauriat, A., Panichelli, L., Villegas, J., 2008. Energy and greenhouse gas balances of biofuels: biases induced by LCA modelling choices. *J. Sci. Ind. Res.* 67 (November), 885-897.
- Gómez J.A., Guzmán M.G., Giráldez J.V., Fereres E., (2009a) The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research* 106, 137–144.
- Gómez J.A., Sobrinho T.A., Giráldez J.V., Fereres E (2009b) Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of southern Spain. *Soil & Tillage Research* 102, 5–13.
- Guest, G., Bright, R.M., Cherubini, F., Michelsen, O., Strømman, A.H., 2011. Life cycle assessment of biomass-based combined heat and power plants. *J. Ind. Ecol.* 15 (6), 908-921.
- Haines-Young, R., Potschin, M., 2010. The links between biodiversity, ecosystem services and human wellbeing. *Ecosystem Ecology: a new synthesis* 110–139.
- Hernández A.J., Lacasta C., Pastor J., (2005) Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agricultural Water Management* 77, 232–248.

- Holland J.M. (2004) The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103, 1-25.
- IPCC. 2000. Special report on land use, land-use change and forestry. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jarecki, M.K., Lal, R. 2003. Crop management for soil carbon sequestration. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22, 471–502.
- Jimenez J.R., 2002. Air quality impact from agricultural field burning in eastern Washington. *Atmospheric Environment* 40, 639-650.
- Kibblewhite M.G., Ritz K., Swift M.J., 2008. Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences* 363(1492):685-701.
- Kumar K., Goh K. M., 2000. Crop residues and management practices: Effect on Soil Quality, Soil Nitrogen Dynamic, Crop Yield, and Nitrogen Recovery. *Advance in Agronomy*, Volume 68, 197-319.
- Lal R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil & Tillage Research* 43, 81-107.
- Lal R., 2004. Is crop residue a waste? *J. Soil Water Conserv.* 59, 136-139.
- Lal R., 2008. Crop residues as soil amendments and feedstock for bioethanol production. *Waste Manage.* 28, 747-758.
- Lal R., 2016. Beyond COP21: Potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. *Journal of Soil and Water Conservation*. 71, 1, 20A-25A.
- Lal R., Bruce J.P., 1999. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environmental Science & Policy* 2, 177–185.
- Liu C., Wang K., Meng S., Zheng X., Zhou Z., Han S., 2011. Effects of irrigation, fertilization and crop straw management on nitrous oxide and nitric oxide emissions from a wheat–maize rotation field in northern China. *Agric Ecosyst Environ.* 140, 226-33.
- Martinez-Mena, M., Lopez, J., Almagro, M., Boix-Fayos, C., Albaladejo, J., 2008. Effect of water erosion and cultivation on the soil carbon stock in a semiarid area of South-East Spain. *Soil and Tillage Research*, 99, 119–129.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA)., 2005. *Ecosystems and Human WellBeing: Synthesis*. Island Press.
- Moebius-Clune B.N., Moebius-Clune D.J., Gugino B.K., Idowu O.J., Schindelbeck R.R., Ristow A.J., van Es H.M., Thies J.E., Shayler H.A., McBride M.B., Wolfe D.W., Abawi G.S., 2016. *Comprehensive Assessment of Soil Health – The Cornell Framework Manual*, 3.1. ed. Cornell University, Geneva, NY.
- Montanaro G, Xiloyannis C, Nuzzo V, Dichio B., 2017 Orchard management, soil organic carbon and ecosystem services in Mediterranean fruit tree crops. *Sci Hort* 217:92-101.
- Monteleone M. 2015c. Reshaping agriculture toward a transition to a post-fossil Bioeconomy. In: *Law and Agroecology - A Transdisciplinary Dialogue*. Editors: Monteduro M., Buongiorno P., Di Benedetto S., Isoni A. p. 359-376. Publisher: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Monteleone M., Cammerino A.R.B., Garofalo P., Delivand M.K.. 2015a. Straw-to-soil or straw-to-energy? An optimal trade off in a long term sustainability perspective. *Applied Energy* 154 (2015) 891–899.
- Monteleone M., Garofalo P., Cammerino A. R. B., Libutti A., 2015b. Cereal straw management: a trade-off between energy and agronomic fate. *Italian Journal of Agronomy*, 10(2), 59-66.
- Nguyen T.L.T., Hermansen J.E., Mogensen L., 2013. Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: the case of wheat straw in Denmark. *Appl. Energy* 104, 633-641.
- Nieto OM, Castro J, Fernández E, Smith P (2010) Simulation of soil organic carbon stocks in a Mediterranean olive grove under different soil-management systems using the RothC model. *Soil Use and Management* 26, 118–125.
- Palese A., Giovannini G., Lucchesi S., Dumontet S., Perucci P., 2004. Effect of fire on soil C, N and microbial biomass. *Agronomie, EDP Sciences*, 24 (1), pp.47-53.
- Palm C., Blanco-Canqui H., DeClerck F., Gatere I., Grace P., 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 187, 87-105.
- Paustian, K., Six, J., Elliott, E.T. & Hunt, H.W. 2000. Management options for reducing CO<sub>2</sub> emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, 48, 147–163.
- Pimentel D., 2006. Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*. 8, 119-137.
- RED, 2009 and 2018. EU Renewable Energy Directive 2009/28/EC.
- Rees R.M. et al., 2013. Nitrous oxide emissions from European agriculture - an analysis of variability and drivers of emissions from field experiments. *Biogeosciences*.10, 2671-82.
- Rodríguez-Lizana A, Espejo-Pérez AJ, González-Fernández P, Ordóñez-Fernández R (2008) Pruning residues as an alternative to traditional tillage to reduce erosion and pollutant dispersion in olive groves. *Water, Air, and Soil Pollution* 193, 165–173.
- Roelandt C., Van Wesemael B., Rounsevell M., 2005. Estimating annual N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in temperate climates. *Glob. Change Biol.* 11, 1701-11.
- Sandilands J, Kellenberger D, Nicholas I, Nielsen P., 2009. Life cycle assessment of wood pellets and bioethanol from wood residues and willow. *Biofuels* 53, 25–33.
- Sastre, C.M., Maletta, E., Gonzalez-Arechavala, Y., Ciria, P., Santos, A.M., del Val, A., Carrasco, J., 2014. Centralised electricity production from winter cereals biomass grown under central-northern Spain conditions: global warming and energy yield assessments. *Appl. Energy* 114, 737-748.
- Schindelbeck R.R., van Es H.M., Abawi G.S., Wolfe D.W., Whitlow T.L., Gugino B.K., Idowu O.J., Moebius-Clune B.N., 2008. Comprehensive assessment of soil quality for landscape and urban management. *Landsc. Urban Plann.* 88, 73-80.
- Seifu W., Elias E., 2018. Soil Quality Attributes and Their Role in Sustainable Agriculture: A Review. *International Journal of Plant & Soil Science*. 26, 3, 1-26.
- Shan J., Yan X., 2013. Effects of crop residue returning on nitrous oxide emissions in agricultural soils. *Atmos Environ.* 71, 170–5.

- Sofo, A., Nuzzo, V., Palese, A. M., Xiloyannis, C., Celano, G., Zukowskyj, P. & Dichio, B. 2005. Net CO<sub>2</sub> storage in Mediterranean olive and peach groves. *Scientia Horticulturae*, 107, 17–24.
- Tóth, G., Stolbovoy, V. and Montanarella, 2007. Soil Quality and Sustainability Evaluation - An integrated approach to support soil-related policies of the European Union. A JRC position paper. EU 22721 EN.
- uP\_running DLV 3.2. Project entitled “Take-off for sustainable supply of woody biomass from agrarian pruning and plantation removal”. Deliverable 2.3.
- uP\_running M1. Project entitled “Take-off for sustainable supply of woody biomass from agrarian pruning and plantation removal”. Monography N.1.
- Valente, C., Spinelli, R., Hillring, B.G., 2011. LCA of environmental and socioeconomic impacts related to wood energy production in alpine conditions: Valle di Fiemme (Italy). *J. Clean. Prod.* 19, 1931-1938.
- Zhang W, Ricketts T, Kremen C, Carney K, Swinton S., 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol Econ* 64:253-260.



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 691748

**uP\_running project:**

Take-off for sustainable supply of woody biomass from agrarian pruning and plantation removal

**[www.up-running.eu](http://www.up-running.eu)**

