



D3.1. DIRECTRICES PARA USUARIOS FINALES



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon

Europa de la Unión Europea con el número de concesión N° 101060426.”

Traducción no oficial al Español

Este documento es producido por el proyecto en inglés y está disponible en el enlace Título del documento (fer-play.eu). ASAJA ha realizado una traducción no oficial con el único propósito de facilitar la lectura del texto a una audiencia más amplia de destinatarios.

D3.1. DIRECTRICES PARA USUARIOS FINALES

Hoja de información del entregable

Hoja de información entregable

Hoja de información entregable

Versión FINAL	Versión FINAL
Convenio de financiación número 101060426	Convenio de financiación número 101060426
Acrónimo del proyecto FER-PLAY	Acrónimo del proyecto FER-PLAY
Título del proyecto Evaluación múltiple de fertilizantes circulares para promover cadenas de valor locales sostenibles y ecosistemas limpios	Título del proyecto Evaluación múltiple de fertilizantes circulares para promover cadenas de valor locales sostenibles y ecosistemas limpios
Anuncio del proyecto HORIZON-CLD-2021-ZEROPOLLUTION-01	Anuncio del proyecto HORIZON-CLD-2021-ZEROPOLLUTION-01
Duración del proyecto Septiembre 2022 – Febrero 2025 (30 meses)	Duración del proyecto Septiembre 2022 – Febrero 2025 (30 meses)
Entregable número 3.1	Entregable número 3.1
Título del entregable Pautas para los usuarios finales	Título del entregable Pautas para los usuarios finales
Tipo de entregable Informe	Tipo de entregable Informe
Nivel de difusión del entregable PU – Público	Nivel de difusión del entregable PU – Público
Paquete de trabajo WP3	Paquete de trabajo WP3
Autores de Naturland: Ramona Kinder, Werner Vogt-Kaute Coldiretti: Adrian Patrick Prociuc	Autores de Naturland: Ramona Kinder, Werner Vogt-Kaute Coldiretti: Adrian Patrick Prociuc
Socios contribuyentes de CIC, NuReSys. ABE	Socios contribuyentes de CIC, NuReSys. ABE, ASAJA
Auditores CETENMA, CIC	Auditores CETENMA, CIC
Fecha de caducidad 30 de septiembre de 2024	Fecha de caducidad 30 de septiembre de 2024

Lista de tablas

Tabla 1. Contenido de nutrientes en la harina de plumas	13
Tabla 2 Recomendaciones para la aplicación de harina de plumas (consultar con normativa regional).....	15
Tabla 3. Umbrales para patógenos en la harina de plumas.....	18
Tabla 4. Umbrales para contaminantes en la harina de plumas	18
Tabla 5. Contenido de nutrientes de estruvita ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).....	20
Tabla 6. Recomendaciones para la aplicación de estruvita (consultar con la normativa regional) 20	
Tabla 7. Umbrales de patógenos para la estruvita.....	23
Tabla 8. Contenido de nutrientes en el compost de biorresiduos en materia seca (Bundesgütegemeinschaft, 2018; Möller et al, 2014).....	26
Tabla 9. Recomendaciones para la aplicación de compost de residuos orgánicos (consultar con normativa regional)	27
Tabla 10. Umbrales para patógenos en el compost de residuos orgánicos.....	31
Tabla 11. Umbrales para contaminantes en compost de residuos orgánicos	32
Tabla 12. Contenido promedio de nutrientes de lodos estabilizados en materia seca.....	34
Tabla 13. Recomendaciones para la aplicación de lodos estabilizados (consultar normativa regional).....	34
Tabla 14. Umbrales de contaminantes (mg/kg de materia seca) para lodos estabilizados.....	38
Tabla 15. Contenidos de nutrientes en la fracción sólida del digestato en materia seca (Bundesgütegemeinschaft, 2018)	41
Tabla 16. Recomendaciones para la aplicación de la fracción sólida del digestato (consultar con normativa regional)	42
Tabla 17. Contenido de nutrientes de sustratos usados de hongos en materia seca (Möller et al, 2014).....	47
Tabla 18. Recomendaciones para sustratos de lodos gastados (consultar normativa regional)....	47
Tabla 19. Umbrales de patógenos para subproductos gastados de hongos	52
Tabla 20. Umbral de contaminantes para subproductos de hongos gastados	52

Lista de figuras

Figura 1. Selección por FER-PLAY de las cadenas de suministro de fertilizantes circulares más prometedoras de la Unión Europea	12
Figura 2. Pellets de harina de plumas y harina de plumas (Beckmann & Brehm.....)	16
Figura 3. Diagrama de flujo de harina de plumas	17
Figura 4. Granos de estruvita (Else Bünemann, FIB.....)	22
Figura 5. Diagrama de flujo de estruvita	23
Figura 6. Distribución del compuesto (foto de CIC)	27
Figura 7. Diagrama de flujo de compostaje de residuos orgánicos.....	30
Figura 8. Volumen de negocios de la pila de abono y de la planta de compostaje de la ciudad de Viena (Hartl, 2014).....	30
Figura 9. Esparcidor de lodo estabilizado	35
Figura 10. Lodo estabilizado después del prensado (Bundesarchiv).....	37
Figura 11. Diagrama de flujo de lodos de aguas residuales urbanas estabilizadas.....	37
Figura 12. Diagrama de flujo de la fracción sólida del digestato procedente de residuos alimentarios.....	44
Figura 13. Planta de biogás con sala técnica, silos, tanque de fermentación, depósito y depósito de gas (izquierda) y separador de fracciones sólidas (derecha; E. Räder).....	44
Figura 14. Esquema de producción de sustrato gastado para hongos.	50
Figura 15. Cronograma desde la entrega de materias primas hasta la devolución del subproducto de hongo gastado.	50
Figura 16. Diagrama de flujo de subproductos de hongos gastados	51

Lista de palabras clave

Pautas

Recomendaciones

Usuarios finales de fertilizantes

Abonos circulares

Eficiencia de recursos

Cadenas de valor de fertilizantes circulares

Agricultura, evaluación del ciclo de vida.

Lodos de depuradora

Biorresiduos

Subproductos orgánicos

Aguas residuales

Sustrato de hongos gastado

Compost

digestato

Harina de plumas

Aguas residuales

Descargo de responsabilidad

Este documento refleja las opiniones de los autores y no necesariamente refleja las opiniones o políticas de la Comisión Europea. Si bien se han realizado esfuerzos para garantizar la exactitud e integridad de este documento, la Comisión Europea no es responsable del uso que pueda hacerse de la información que contiene ni de los errores u omisiones, cualquiera que sea su causa. Este documento está producido bajo Licencia [Escritura - Atribución 4.0 Internacional - Creative Commons](#).

Contenido

Scheda informativa del deliverable	¡Error! Marcador no definido.
Lista de tablas	4
Lista de figuras	5
Lista de palabras clave	5
Descargo de responsabilidad	6
1. Síntesis ejecutiva	9
2. Introducción	11
3. Recomendaciones	13
3.1 Harina de pluma	13
3.1.1. Recomendaciones de uso	13
3.1.2. Mejora de suelos	15
3.1.3. Aspectos técnicos.....	15
3.1.3.1. Proceso de producción.....	15
3.1.3.1. Aspectos relativos al mercado	17
3.1.3.2. Analisis normativo.....	17
3.1.4. Referencias	19
3.2. Estruvita procedente de aguas residuales urbanas e industriales.....	20
3.2.1. Recomendaciones de Uso.....	20
3.2.2. Mejora de suelos	21
3.2.3. Aspectos técnicos.....	21
3.2.4. References	25
3.3. Abono de residuos biológicos.....	25
3.3.1. Recomendaciones de uso	25
3.3.2. Mejora de suelos	28

3.3.4. Referencias	33
3.4. Lodo estabilizado.....	33
3.4.1. Recomendaciones de uso	33
3.4.2. Mejora de suelos	35
3.4.3. Aspectos técnicos.....	35
3.4.4. Referencias	38
3.5. Fraccion sólida del digestato	39
3.5.1. Recomendaciones de uso	39
3.5.2 Mejora de suelos	42
3.5.3 Aspectos técnicos.....	42
3.5.4. References	46
3.6. Sustrato de hongos gastado.....	46
3.6.1. Recomendaciones de uso	46
3.6.2. Mejora de suelos	49
3.6.3. Aspectos técnicos.....	49
3.6.4. Referencias	53
4. Conclusiones	54

1. Síntesis ejecutiva

En la última década aparecieron nuevas cadenas de valor alternativas de fertilizantes circulares como opciones prometedoras para reemplazar los fertilizantes convencionales. FER PLAY cartografió cuarenta y ocho cadenas de valor de materias primas secundarias y luego seleccionó las siete más prometedoras basándose en una metodología desarrollada por el proyecto. Se pueden encontrar más detalles sobre este proceso en D1.2 “Informe sobre la selección de cadenas de valor de fertilizantes circulares”. Finalmente, se han evaluado las siguientes siete cadenas de valor: estruvita procedente de aguas residuales urbanas, estruvita procedente de aguas residuales industriales, lodos estabilizados, biorresiduos compostados, harina de plumas, fracción sólida de digestato y sustrato gastado de hongos. Ver más información www.fer-play.eu.

Estas directrices brindan información a los usuarios finales sobre estos fertilizantes seleccionados, recomendaciones de aplicación, efectos en el suelo, producción del fertilizante, cuestiones regulatorias y literatura. Las directrices ayudan a los agricultores a decidir qué fertilizante circular se puede utilizar en condiciones específicas y para qué cultivos.

Los fertilizantes seleccionados tienen diferentes efectos. Los nuevos fertilizantes circulares pueden ofrecer varias ventajas a los agricultores, como nutrientes y carbono para el suministro de nutrientes y la mejora del suelo. Las recomendaciones se adaptan a los diferentes tipos de cultivos (cereales, legumbres, hortalizas, viñedos y huertas). Además de la legislación de la UE y la Política Agrícola Común (PAC), es posible que sea necesario respetar las normativas nacionales y regionales, ya que pueden restringir el uso de todos estos fertilizantes..

Los principales hallazgos contenidos en este documento son:

- La gama de diferentes fertilizantes circulares ofrece buenas opciones para las diversas necesidades de la agricultura sostenible.
- La estruvita ofrece la posibilidad de recuperar fósforo, el nutriente más limitante en la agricultura, ya que las fuentes de fosfato de roca no son infinitas y muchas veces están contaminadas.
- La harina de plumas proporciona nitrógeno orgánico con un bajo contenido de fósforo, lo cual es importante para los productores de hortalizas y frutas.
- Los lodos estabilizados proporcionan macro y micronutrientes con una liberación normalmente bastante rápida.

- Con un alto contenido de carbono estable, el compost de residuos orgánicos y el sustrato de hongos gastados son típicos "mejoradores del suelo". Sin embargo, no se deben subestimar otros nutrientes, ya que son baratos y tienen buena disponibilidad.
- La fracción sólida del digestato proporciona nitrógeno fácilmente disponible y carbono estable.

2. Introducción

FER-PLAY es un proyecto de Horizonte Europa que facilita la adopción de fertilizantes circulares para proteger los ecosistemas, reducir la dependencia de la UE de las importaciones de fertilizantes, promover la circularidad y mejorar la salud del suelo. El proyecto mapeó y evaluó fertilizantes circulares producidos a partir de materias primas secundarias, como el estiércol, destacando sus múltiples beneficios para promover su producción y uso a gran escala en los campos.

Para ello, FER-PLAY prevé un importante esfuerzo por comprender las diferentes perspectivas de tres grupos de partes interesadas: usuarios finales, productores de fertilizantes y administraciones públicas, para abordar sus principales preocupaciones con directrices específicas para cada grupo. Las directrices están disponibles en la sección Recursos de la web del proyecto y en Zenodo, y para su desarrollo se tuvieron en cuenta los resultados de la evaluación multitemática de impactos y oportunidades a nivel económico, regulatorio, social y ambiental que realizó el proyecto, cuyos resultados están disponibles en D2.2 "Multievaluación de impactos, compensaciones y condiciones marco". Para ello, se dedicó un paquete de trabajo específico a analizar estos temas y el enfoque seleccionado como más apropiado fue seguir los principios de co-creación, es decir, compartir, movilizar y activar sistemáticamente el conocimiento¹.

La experiencia de los miembros del consorcio FER-PLAY, junto con el feedback recogido a través de estas actividades, ha llevado al desarrollo de una serie de directrices (incluidas en los documentos D3.1, D3.2 y D3.3) que pretenden dar respuesta a las preguntas que más frecuentemente surgen de los productores de fertilizantes circulares, los usuarios finales y las administraciones públicas. Las recomendaciones de las directrices para los usuarios finales también se basan en los resultados del proceso de diálogo y cocreación con grupos de agricultores en Italia, España, Bélgica y Alemania.

Este documento presenta, para los siete fertilizantes circulares analizados, recomendaciones de uso, efectos de mejora del suelo, información del producto y cuestiones regulatorias. La información presentada se basa en conocimientos tradicionales, nuevos hallazgos de investigaciones y publicaciones para agricultores. Para algunos fertilizantes nuevos, se dispone de poca información detallada sobre las recomendaciones de uso. Por ello, se desarrollaron basándose en los de otros fertilizantes. Las referencias bibliográficas son en su mayoría publicaciones destinadas a los agricultores.

Los agricultores a menudo no tienen conocimientos suficientes sobre los nuevos fertilizantes circulares. Por ejemplo, muchos no saben que la estruvita es una alternativa

¹ 1-Triste, L. September 208. Communities of practice for knowledge co-creation on sustainable dairy farming.

nueva e interesante a los fertilizantes minerales y al fosfato mineral. Esta falta de conocimiento genera falta de confianza y prejuicios negativos. Sin embargo, los fertilizantes circulares pueden ofrecer varias ventajas: suministro de nutrientes con una liberación relativamente rápida o lenta y/o mayor contenido de carbono cuando tienen una relación C:N alta. Los fertilizantes circulares aún no están ampliamente disponibles en el mercado local e internacional, pero se espera que la demanda aumente, por lo que vale la pena desarrollar mayores capacidades de producción y comercialización, teniendo en cuenta que la logística el uso de algunos fertilizantes, como el compost, no es económicamente ventajoso en distancias largas. mientras que otros, como la estruvita, tienen una alta densidad de nutrientes y son adecuados para mercados más grandes.

Esta colección de recomendaciones tiene como objetivo reducir las lagunas de conocimiento sobre los fertilizantes circulares. Un mayor conocimiento ayuda a reducir los prejuicios y aumenta el interés. Las recomendaciones intentan mostrar el uso óptimo de los fertilizantes circulares seleccionados.

La mayoría de los nuevos fertilizantes circulares están permitidos en la agricultura orgánica y ofrecen a los agricultores orgánicos la capacidad de equilibrar los balances negativos de nutrientes (particularmente fósforo) para una producción sostenible.

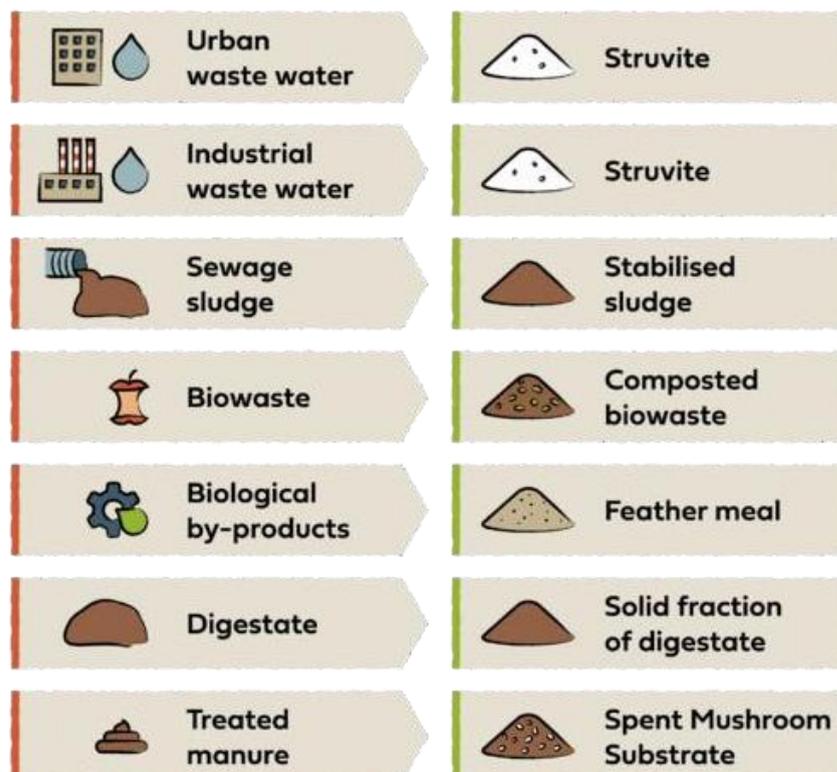


Figura 1. Selección por FER-PLAY de las cadenas de suministro de fertilizantes circulares más prometedoras de la Unión Europea

3. Recomendaciones

3.1 Harina de pluma

3.1.1. Recomendaciones de uso

La harina de plumas contiene una gran cantidad de nitrógeno y una baja cantidad de carbono. Es similar a otros fertilizantes derivados de subproductos animales, como la harina de huesos o la harina de sangre. Se debe aplicar ligeramente en la capa superior del suelo después de la aplicación. En condiciones normales de vegetación, el efecto del nitrógeno comienza a los pocos días y se puede observar claramente al cabo de 6-8 semanas. El efecto del nitrógeno es relativamente rápido para un fertilizante orgánico y no dura mucho. Se puede esperar que se libere entre el 75 y el 80 % del nitrógeno después de un año. Existe preocupación por la quema de plantas debido al contacto directo, lo que puede solucionarse mezclándolo con otros fertilizantes o incorporándolo al suelo.

Debido a su elevado precio, la harina de plumas no se suele aplicar a los cereales, sino a las verduras y frutas.

Tabla 1. Contenido de nutrientes en la harina de plumas

Nutrientes	Valor medio
Materia seca	95%
Valor pH	5,5
Materia organica	92 %
C org	40 %
N	14 %
C:N	3,1
P	0,4 %
K	1,6%
Ca	0,9 %
Mg	0,18 %
S	1,7 %
Fe	520 mg/kg

Mn	21 mg/kg
Nutrientes	Valor medio

Zn	195 mg/kg
Cu	15 mg/kg
B	< 10 mg/kg
Mo	< 1 mg/kg

La harina de plumas está disponible en sacos pequeños de 25 kg y en sacos grandes de 1000 kg. Conservar en un lugar fresco y seco, protegido de la luz solar. No mezclar con piensos y evitar el contacto con animales. Es necesario evitar la contaminación del agua. Los pellets se pueden distribuir con una abonadora normal.

Tabla 2 Recomendaciones para la aplicación de harina de plumas (consultar con normativa regional)

Cultivo	Dosis de aplicación	Periodo de aplicación
Cereales	30 – 80 kg/N ha dependiendo del cultivo y análisis del suelo	Feb – May
Legumbres	-	-
Verduras	Demanda de N dependiendo del cultivo y análisis del suelo.	Feb – Sept
Huertos y viñedos	Demanda de N dependiendo del cultivo y análisis del suelo.	Ene – May

3.1.2. Mejora de suelos

Como fertilizante orgánico, la harina de plumas activa la vida del suelo, mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua. El efecto de mejorar el nivel de carbono en los suelos es menor que el de los fertilizantes con una alta relación C:N, como el compost.

3.1.3. Aspectos técnicos

3.1.3.1. Proceso de producción

Cuando se sacrifican las aves de corral, las plumas resultantes, junto con la piel y los residuos de heces adheridas, así como otras contaminaciones, se recogen, pasteurizan,

secan, trituran y, si es necesario, se hidrolizan. Se pueden transformar en pellets o gránulos. La harina de plumas se utiliza tanto como fertilizante único como como fertilizante compuesto en mezcla con otros fertilizantes (por ejemplo, orujo, harina de colza, cáscaras de cacao), p.e. Bioilsa. Los hidrolizados también se utilizan para la alimentación animal.



Figura 2. Pellets de harina de plumas y harina de plumas (Beckmann & Brehm)

Feather meal

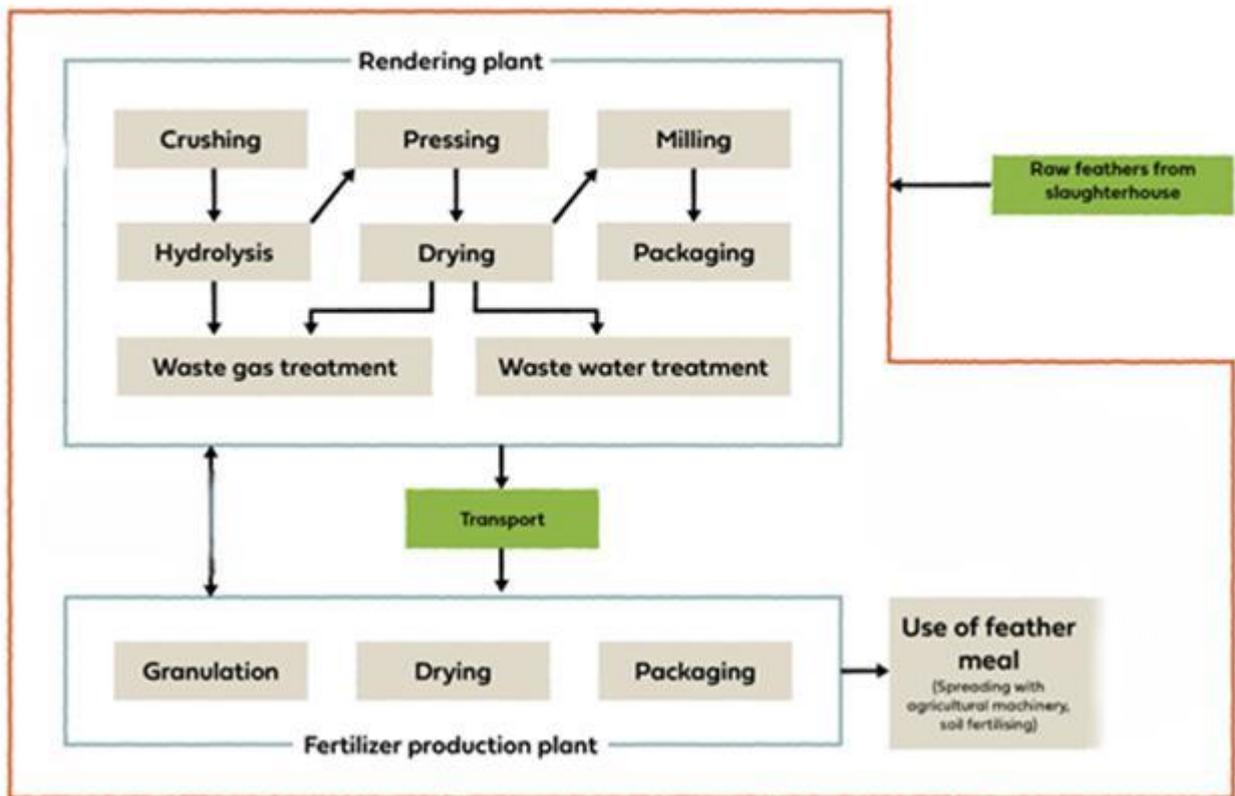


Figura 3. Diagrama de flujo de harina de plumas

3.1.3.1. Aspectos relativos al mercado

La harina de plumas es un subproducto resultante del sacrificio, al igual que la harina de huesos, la harina de carne, la harina de sangre, la harina de cuernos y la harina de pelo, que se utilizan de manera similar. Los precios son más altos que los de algunos fertilizantes sintéticos. Por lo tanto, la harina de plumas se utiliza con relativa frecuencia en la agricultura ecológica, especialmente en cultivos hortícolas y frutales. El uso de subproductos animales puede competir con el uso como pienso, lo que puede ofrecer un precio más alto al productor. Las cantidades son limitadas, pero pueden ser una parte importante de una estrategia que utilice fertilizantes circulares, ya que el nitrógeno se libera con bastante rapidez. La producción depende de las cantidades de aves producidas. Los costos de envío no son un factor importante en el precio; por lo tanto, la harina de plumas debería estar disponible en todas las regiones.

3.1.3.2. Analisis normativo

Según el "REGLAMENTO (UE) 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL

CONSEJO

de 5 de junio de 2019", la harina de plumas está clasificada en la categoría de producto 1A 1 "Abono orgánico sólido para el suelo".

Según el Reglamento antes mencionado, un fertilizante de la UE solo puede estar compuesto por ingredientes que cumplan los requisitos de una o más de las categorías de materiales componentes (CMC) enumeradas en este anexo. La harina de plumas, en forma de proteínas hidrolizadas, está autorizada en la UE y se clasifica aquí en CMC 10 "productos derivados según el Reglamento (CE) nº 1069/2009" (ciertos productos derivados de subproductos animales).

Existen especificaciones para niveles máximos de metales pesados y patógenos.

Los patógenos contenidos en un mejorador orgánico del suelo no deben exceder los límites enumerados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Umbrales para patógenos en la harina de plumas

Patógeno umbral	Patógeno umbral
Salmonella spp	Ninguna presencia en 25 g o 25 ml
Escherichia coli o Enterococcaceae	1000 en 1 g o 1 ml

Los contaminantes contenidos en un mejorador orgánico del suelo no excederán los siguientes límites:

Tabla 4. Umbrales para contaminantes en la harina de plumas

Contaminante	Límite de dosis
Cadmio (Cd)	2 mg/kg de materia seca
Cromo VI (Cr VI)	2 mg/kg de materia seca
Mercurio (Hg)	1 mg/kg de materia seca
Níquel (Ni)	50 mg/kg de materia seca
Plomo (Pb)	120 mg/kg de materia seca
Arsénico (As) inorgánico	inorgánico 40 mg/kg de materia seca
Cobre (Cu)	300 mg/kg de materia seca
Zinc (Zn)	300 mg/kg de materia seca

El biuret ($C_2H_5N_3O_2$) no debe estar presente en un fertilizante orgánico. El cromo VI no debe ser detectable. No se debe aplicar harina de plumas a las partes comestibles del cultivo. También pueden aplicarse regulaciones nacionales.

La harina de plumas está permitida en la agricultura ecológica, pero las granjas ecológicas no pueden aplicar más de 170 kg de nitrógeno (UE 2018/448).

Además de la legislación de la UE y la Política Agrícola Común (PAC), es posible que se necesiten comentarios sobre las regulaciones nacionales y regionales, por ejemplo, las Regulaciones sobre residuos orgánicos, las Regulaciones sobre fertilizantes, las Regulaciones sobre transferencia de estiércol agrícola y las regulaciones en áreas de protección del agua o áreas con otros estados de protección. Estas regulaciones también pueden incluir restricciones temporales a la aplicación de fertilizantes, por ejemplo en invierno. Es posible que sea necesario informar la aplicación del sustrato a la autoridad pertinente según dichas regulaciones.

3.1.4. Referencias

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Fertilizantes comerciales orgánicos en la agricultura biológica, p.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

REGLAMENTO UE 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

REGLAMENTO UE 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Ordenanza sobre fertilizantes https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, artículo 3, párr. 5 en combinación con el Anexo 3.

3.2. Estruvita procedente de aguas residuales urbanas e industriales

3.2.1. Recomendaciones de Uso

La estruvita se puede aplicar a todos los cultivos, ya que todos los cultivos requieren fósforo (P). Es una gran alternativa al fosfato de roca.

La liberación de fósforo es baja pero continua cuando es solubilizado por exudados radiculares o en suelos ácidos. A diferencia del fosfato de roca, también está disponible en suelos alcalinos (RELACS, 2021). Dado que la estruvita libera P con bastante lentitud, se recomienda aplicarla antes o en el momento de la siembra. La estruvita debe incorporarse al suelo después de la aplicación al voleo. También es posible el uso de estruvita en hileras (Bünemann, 2022).

Tabla 5. Contenido de nutrientes de estruvita ($\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Nutriente	Valor medio
N	5 %
P ₂ O ₅	28 %
Mg	10 %
K ₂ O	< 1%

La estruvita no contiene cadmio, a diferencia del fosfato de roca. La estruvita está formulada en gránulos de aproximadamente 1 a 3 mm de diámetro, lo que permite su uso con maquinaria agrícola normal. Almacenar en condiciones secas.

Tabla 6. Recomendaciones para la aplicación de estruvita (consultar con la normativa regional)

Cultivo	Dosis de aplicación	Periodo de aplicacion
Cereales	70 - 100 kg/ha dependiendo del cultivo y análisis del suelo	Todo el año

Legumbres	70 - 100 kg/ha dependiendo del cultivo y análisis del suelo	Todo el año
Veduras	70 - 100 kg/ha dependiendo del cultivo y análisis del suelo	Todo el año
Frutales y viñedos	70 - 100 kg/ha dependiendo del cultivo y análisis del suelo	Todo el año

La cantidad máxima a aplicar corresponde a la remoción esperada de P del cultivo. Las dosis recomendadas son similares a las de otros fertilizantes fosfatados.

La estruvita se puede mezclar con otros fertilizantes sólidos o disolverse en una solución ácida. La estruvita tiene varias ventajas, especialmente en comparación con la roca de fosfato no renovable:

- La estruvita no añade P nuevo al ciclo ya que proviene del reciclaje. Las fuentes de roca fosfato son limitadas.
- No hay contaminación del suelo con cadmio, minerales radiactivos y otros contaminantes. Hay una liberación continua incluso en suelos alcalinos.
- La estruvita es fácil de aplicar con maquinaria agrícola existente.

3.2.2. Mejora de suelos

El fósforo es un mineral esencial en el suelo y las plantas. Es necesario un suministro suficiente para el crecimiento de las plantas y la vida del suelo.

3.2.3. Aspectos técnicos

3.2.3.1. Proceso de producción

La estruvita es un fosfato de magnesio y amonio con la fórmula química $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. El agua industrial también puede contener otros minerales como el potasio que reemplazan al $\text{NH}_4\text{-N}$. La estruvita se produce por precipitación de aguas residuales. La cristalización de la estruvita, en el caso de aguas residuales urbanas e industriales, sigue principalmente un proceso de digestión anaeróbica. En el sistema de tratamiento de aguas residuales municipal, el concepto es concentrar el fosfato soluble dentro de la masa microbiana en la línea de agua. El lodo activado residual combinado con el lodo primario se alimenta a un digestor anaeróbico. Durante la digestión, el fósforo se libera de los sólidos en la matriz acuosa, haciéndolo disponible como $\text{PO}_4\text{-P}$ soluble concentrado para precipitar como estruvita. Posteriormente, se puede producir estruvita

dentro del digestato o después de la deshidratación del digestato del concentrado. En el tratamiento de aguas residuales industriales, principalmente la precipitación de estruvita va seguida de un sistema de tratamiento de aguas residuales anaeróbico, por ejemplo, UASB.

La precipitación y la cristalización se producen mediante la adición de $MgCl_2$ y $NaOH$ (Bünemann et al., 2021). La recuperación de fósforo de las aguas residuales es del 12-22%, según el proceso.

La estruvita se puede producir localmente, dondequiera que haya una planta de tratamiento de aguas residuales.



Figura 4. Granos de estruvita (Eise Bünemann, FIB)

Struvite from IWW

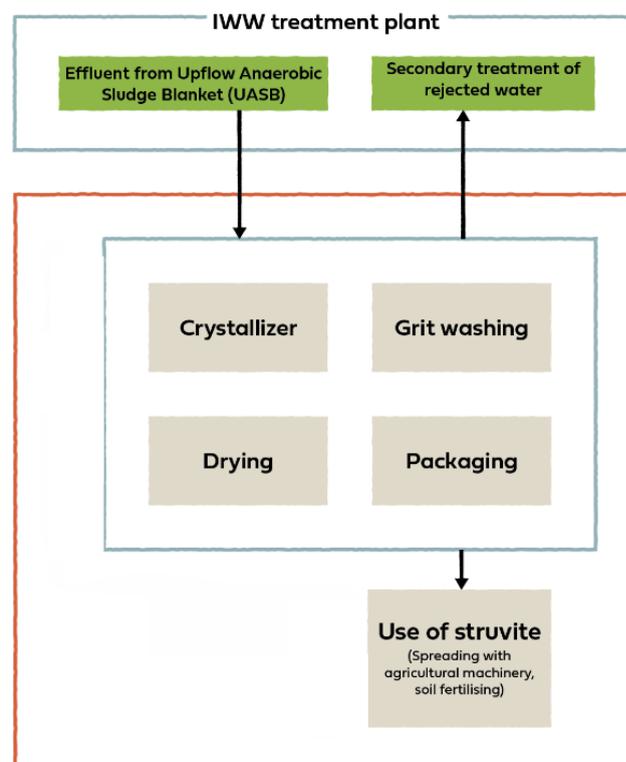


Figura 5. Diagrama de flujo de estruvita

3.2.3.2. Aspectos relativos al mercado

La estruvita es un fertilizante bastante nuevo que aún no es muy conocido en la agricultura. Las cantidades ofrecidas aún son limitadas y, en algunos casos, existen barreras regulatorias. Sin embargo, la estruvita y otros subproductos de las aguas residuales tienen el potencial de convertirse en la fuente más importante de suministro de fósforo agrícola en el futuro, ya que la roca de fosfato es una fuente limitada a nivel mundial. Por tanto, utilizar fósforo de las aguas residuales es una opción importante para el futuro. Se espera que las ofertas aumenten rápidamente el próximo año con una buena relación precio-coste, aunque todavía existen algunas diferencias de precios entre las diferentes regiones. Los costos de transporte no son un factor importante en el precio, por lo que la estruvita debería estar disponible en todas las regiones.

3.2.3.3. Análisis normativo

Según el "REGLAMENTO (UE) 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

de 5 de junio de 2019", un fertilizante de la UE solo puede estar compuesto por ingredientes que cumplan los requisitos de una o más de las categorías de materiales constituyentes (CMC) enumeradas en este anexo. La estruvita está autorizada en la UE y está clasificada aquí en PFC 1 "fertilizante macronutriente sólido inorgánico, CMC 12 "sales de fosfato precipitadas y derivados".

Hay detalles específicos para nutrientes y patógenos. Los patógenos no deben exceder los límites que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Umbrales de patógenos para la estruvita

Patógeno umbral	Patógeno umbral
-----------------	-----------------

Salmonella spp	No se encontró ninguno en 25 g o 25 ml
----------------	--

Escherichia coli o Enterococcaceae	1000 en 1 go 1 ml
------------------------------------	-------------------

Estos requisitos no se aplican cuando los procesos de esterilización a presión, pasteurización o sanitización han ocurrido bajo condiciones definidas.

Las sales de fosfato precipitadas deberán contener un mínimo de 16% de pentóxido de fósforo (P₂O₅) en la materia seca, un contenido máximo de un 3% de carbono orgánico en la materia seca, un máximo de 3 g/kg de impurezas macroscópicas superiores a 2 mm en cualquier forma (materia orgánica, vidrio, piedras, metal, plástico) y un máximo de 5 g/kg de la suma en la materia seca. También pueden aplicarse regulaciones nacionales. Todavía existen restricciones en algunos países.

La estruvita recuperada y las sales de fosfato precipitadas se añadieron al Reglamento (UE) 2018/848 para la agricultura ecológica con el Reglamento de Ejecución 2023/121, de 17 de enero de 2023. El estiércol como fuente no puede proceder de ganadería industrial.

3.2.4. References

REGLAMENTO UE 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

REGLAMENTO UE 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Ordenanza sobre fertilizantes: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, Sesión 3, párrafo 5 en conjunción con el anexo 3

https://relacs-project.eu/wp-content/uploads/2021/05/RELACS_PA_07_struvite_FiBL_final.pdf

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0121>

https://nutriman.net/sites/default/files/2021-05/Thematic_training_material_STRUVITE_DE.pdf

Potencial de la estruvita como fuente alternativa de fósforo para la agricultura orgánica, resumen de práctica de RELACS (2021), en: www.organic-farmknowledge.org/tool/40053

STRUVITE: Resultados de precipitación de estruvita (2023), presentación NUTRI-KNOW, en: <https://eufarmbook.eu/en/contributions/661f794ead7afadbfd522b0a>

3.3. Abono de residuos biológicos

3.3.1. Recomendaciones de uso

El compost es una enmienda natural del suelo que promueve un suelo saludable al aumentar la materia orgánica, mejorar la actividad microbiana, el contenido de nutrientes y ayudar en la retención de humedad.

El compost puede proporcionar nutrientes esenciales a las plantas. Los nutrientes utilizados, como el nitrógeno, son sólo parcialmente eficaces y dependen de la relación C:N. Por ejemplo, el Reglamento alemán de fertilizantes considera que en el año de aplicación se acredita el 10% del contenido total de nitrógeno del compost. En el primer año posterior se considera el 4% del nitrógeno total aplicado en el cálculo de los requerimientos de fertilizantes y en el segundo y tercer año posterior se debe tener en cuenta el 3% del nitrógeno total aplicado originalmente. En realidad, los abonos con una proporción C:N superior a 15:1 liberarán menos nitrógeno. Fosfato, potasio y azufre están

100% acreditados.

En la Tabla 8 se muestra el contenido promedio de nutrientes en materia seca. Los rangos son grandes. Por este motivo, es importante conocer el contenido exacto del sustrato vegetal del proveedor, también para cumplir con los requisitos legales.

Tabla 8. Contenido de nutrientes en el compost de biorresiduos en materia seca (Bundesgütegemeinschaft, 2018; Möller et al, 2014)

Nutriente	Valor medio (en materia seca)	Rango (en materia seca)
Materia seca	64 %	51 – 74 %
Valor del pH	8	7,5 – 9

Contenido en sales	1,6 %	
Materia organica	64 %	45 – 87 %
C	33 %	26 – 50 %
N	1,4 %	1,1 – 2,6 %
P	0,35 %	0,22 - 0,67 %
K	1,04 %	0,73 – 1,83 %
Ca	3,61 %	2,0 – 6,8 %
Mg	0,50 %	
S	0,3 %	0,15 – 0,4 %
Cu	37 g / t	
Zk	155 g / t	
B	26 g / t	
Mn	414 g / t	
Mo	1 g / t	

El compost se puede utilizar en todos los cultivos, incluidos los de los huertos. Se puede aplicar antes de la siembra en primavera u otoño, durante el cultivo o después de la cosecha en verano y se puede incorporar al suelo. La tasa de aplicación habitual es de 10 a 20 toneladas por hectárea, dependiendo de las necesidades del cultivo y de las restricciones de fertilizantes de la región. En el caso de aplicaciones regulares, se deben respetar las cantidades máximas

de aplicación permitidas, en particular en lo que respecta al contenido de metales pesados que se debe respetar. Lo ideal es utilizar abono con una proporción alta de C:N para las leguminosas, ya que no se espera ninguna liberación de nitrógeno; También es posible que la fijación de nitrógeno pueda mejorarse mediante una disminución del nitrógeno mineral, debido a la alta relación C:N.

La cantidad de potasio es relativamente alta y debe tenerse en cuenta, mientras que el contenido de fósforo es bajo pero fácilmente disponible.

En horticultura, el compost puede sustituir a la turba en los sustratos hasta en un 100%.

La distribución se realiza mediante esparcidores de fertilizantes disponibles comercialmente o equipos específicos diseñados para la aplicación de compost. El abono granulado se puede esparcir con un esparcidor estándar y se puede mezclar con otros fertilizantes.

Tabla 9. Recomendaciones para la aplicación de compost de residuos orgánicos (consultar con normativa regional)

Cultivo	Dosis de aplicación	Peridodo
Cereales	10 – 30 t/ha	Generalmente durante la labranza antes de plantar.



Figura 6. Distribución del compuesto (foto de CIC)

Maiz	20 – 40 t/ha	Generalmente durante la labranza antes de plantar.
Leguminosas	10 – 30 t/ha si la relación C:N es superior a 16:1	Todo el año
Verdura	10 – 40 t/ha	Durante la labranza antes de la siembra
Frutales y viñedos (plantacion)	10 – 40 t/ha	Todo el año
Frutales y viñedos	6-15 t/ha	Todo el año

3.3.2. Mejora de suelos

El compost es la fuente ideal para mejorar el suelo aumentando la materia orgánica, ya que contiene más del

30% de C. Cuanto mayor sea la relación C:N, más estable será el carbono. Con una relación media C:N de 16:1, una parte sustancial del carbono es relativamente estable y tiene un efecto positivo sobre el contenido de humus. Contribuye al secuestro de carbono en el suelo. El efecto es más evidente en suelos pobres en humus (<1% humus) y en suelos con humus medio (2-3% humus). También mejora la estructura del suelo, la estabilidad de los agregados, el volumen de poros, la infiltración de agua, la capacidad de retención de agua, la actividad biológica del suelo y la fertilidad del suelo. Los rendimientos a largo plazo se han estabilizado

3.2.1. Aspectos técnicos

3.3.3.1. Proceso de producción

El compostaje es un proceso de descomposición de la materia orgánica en condiciones aeróbicas (con aire), influenciada por la temperatura y el contenido de agua. Se puede compostar todo tipo de materiales orgánicos: residuos de cultivos, subproductos de la agroindustria, estiércol de ganado, hojas, podas, ramas y residuos alimentarios orgánicos domésticos. Un factor importante en la producción de compost es la proporción de carbono a nitrógeno (relación C:N). Para garantizar una descomposición eficaz, la relación C:N debe ser superior a 20:1 inicialmente. Materiales como los desechos orgánicos domésticos o algunos materiales de desecho verdes, como el césped, pueden necesitar la adición de materiales ricos en carbono, como astillas de madera. Si los materiales están demasiado secos, es necesario agregar agua. En la primera fase, denominada fase de compostaje activo, el material alcanza temperaturas entre 55°C y 70°C, o incluso hasta 80°C; Se necesitan altas temperaturas para matar las semillas de malezas y los patógenos. Estas altas temperaturas se alcanzan y mantienen gracias a la intensa degradación de la fracción orgánica lábil. Para que esto suceda, los microorganismos que realizan la degradación deben tener acceso al oxígeno. Hay dos tecnologías principales para lograr esto: una opción es usar pilotes estáticos con aire soplado desde abajo, y la otra es usar pilotes dinámicos, donde el pilote se gira y se mezcla continuamente. Tras la primera fase de rápido desarrollo de las bacterias, éstas son sustituidas por hongos cuando comienza la fase de enfriamiento.

Cuando está maduro, el abono es de color oscuro, se desmorona fácilmente y tiene un olor parecido al del suelo del bosque. La duración del compostaje es de unos meses, dependiendo del método, la intensidad del mezclado y el objetivo final del producto. Se puede realizar un proceso de digestión anaeróbica sobre los residuos orgánicos antes de convertir el digestato en abono con el mismo proceso que se utiliza para los residuos orgánicos frescos. De esta forma es posible producir biometano o energía renovable, gestionando residuos y produciendo un fertilizante. Existen algunos métodos especiales de compostaje, como la carbonización microbiana a temperaturas más bajas, el compostaje de lombrices y métodos de alta tasa, pero estos métodos no están cubiertos por estas pautas. El compostaje se realiza principalmente en plantas de compostaje industriales, pero también se puede realizar en la explotación agrícola.

Composted biowaste

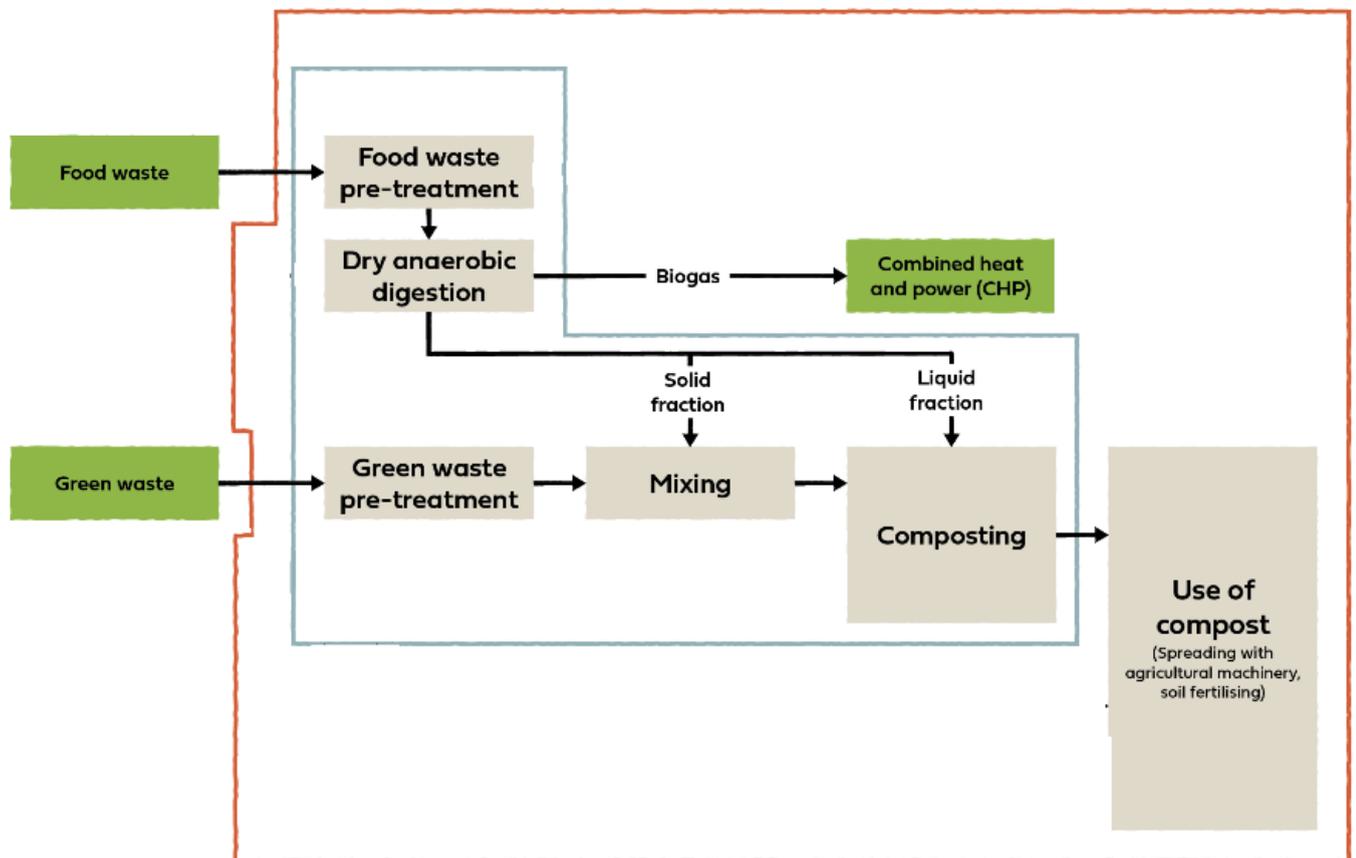


Figura 7. Diagrama de flujo de compostaje de residuos orgánicos



Figura 8. Volumen de negocios de la pila de abono y de la planta de compostaje de la ciudad de Viena (Hartl, 2014)

3.3.3.2. Aspectos relativos al mercado

El compost es una fuente ideal para mejorar el suelo. Los precios del compost son bajos y muy competitivos. Incluso considerando únicamente los precios de los macronutrientes

sin carbono, el precio sigue siendo muy competitivo. La disponibilidad de nutrientes como el fósforo es relativamente buena. Dado que el compost no puede transportarse a largas distancias, el suministro regional varía de una región a otra. La producción de compost podría aumentar significativamente mejorando los sistemas de recogida selectiva de residuos alimentarios. Por lo tanto, el compost es una parte importante del suministro de fertilizantes circulares para la futura agricultura sostenible.

3.3.3.3. Análisis normativo

Según el Reglamento de Productos Fertilizantes de la UE "REGLAMENTO (UE) 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de junio de 2019", el compost se clasifica en la categoría de producto función 3A "Mejora orgánica del suelo". El compost se clasifica aquí en CMC 3 "compost". Además, si contiene estiércol como ingrediente, debe cumplir con la Directiva de Nitratos y no debe aplicar más de 340 kg/ha de nitrógeno o 170 kg/ha de nitrógeno en zonas vulnerables (UE 2018/448).

La norma mencionada anteriormente establece algunos requisitos que deben ser tomados en consideración.

Respecto a los patógenos contenidos en una enmienda orgánica del suelo, no deben exceder los límites enumerados en la siguiente tabla. Estos valores no deberían ser relevantes para el compost, ya que, si el proceso ha pasado por un tiempo de compostaje activo, los patógenos deberían estar ausentes.

Tabla 10. Umbrales para patógenos en el compost de residuos orgánicos

Patogeno	Soglia
Salmonella spp	No hay hallazgos en 25 g o 25 ml
Escherichia coli o Enterococcaceae	1000 en 1 gr, o 1 ml

Respecto a los metales pesados contenidos en una enmienda orgánica del suelo, los límites a respetar se incluyen en la siguiente tabla.

Tabla 11. Umbrales para contaminantes en compost de residuos orgánicos

Contaminante	Soglia
Cadmio (Cd)	2 mg/kg de materia seca
Cromo VI (Cr VI)	2 mg/kg de materia seca
Mercurio (Hg)	1 mg/kg de materia seca
Niquel (Ni)	50 mg/kg de materia seca
Plomo (Pb)	120 mg/kg de materia seca
Arsenico inorganico (As)	40 mg/kg de materia seca
cobre (Cu)	300 mg/kg de materia seca
Zinc (Zn)	300 mg/kg de materia seca

Existen requisitos sobre un grado mínimo de descomposición (Rottegrad) III, un máximo de 6 mg/kg de materia seca de HAP16, un máximo de 3 g/kg de materia seca de impurezas macroscópicas mayores a 2 mm en forma de vidrio, metal o plástico y no más de 5 g/kg de materia seca de la suma de las impurezas. Las regulaciones nacionales también pueden aplicarse y pueden variar.

En agricultura ecológica se permite el compost procedente de residuos orgánicos, en caso de que el producto contenga estiércol como materia prima, no debe proceder de agricultura intensiva. Existen umbrales adicionales para metales pesados en el compost de residuos orgánicos en las regulaciones orgánicas de la UE.

Además de la legislación de la UE y la Política Agrícola Común (PAC), también deben observarse las normas nacionales y regionales, por ejemplo, las normas sobre residuos orgánicos, las normas sobre fertilizantes, las normas sobre transferencia de estiércol agrícola y las normas en zonas protegidas del agua o en zonas con otros estados de protección. Estas regulaciones también pueden incluir restricciones temporales a la distribución de fertilizantes, por ejemplo en invierno. Es posible que sea necesario informar la aplicación del sustrato a la autoridad pertinente según estas regulaciones.

3.3.4. Referencias

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organic commercial fertilisers in organic farming, p.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

REGLAMENTO 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

REGLAMENTO 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Ordenanza de fertilizantes: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html,
sesion 3 parrafo 5 en conjuncion con el anexo 3

https://www.oekolandbau.de/fileadmin/redaktion/dokumente/Forschung/Praxismerkblaetter/180_E009_Pflanzenernaehrung_ProBio_Qualitaet.pdf

GUÍA DE COMPOSICIÓN DE ALTA CALIDAD EN LA EMPRESA, en:
https://academy.naturland.org/pluginfile.php/1184/mod_resource/content/7/Compost%20Guide_EN_V3.pdf

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2018): Organische Düngung – Kompost für die Landwirtschaft, in: [Organische duengung Juli 2018 .pdf \(kompost.de\)](#)

Compost: Advantages and Disadvantages, Best4Soil Factsheet (2020),
in: <https://eufarmbook.eu/en/contributions/6694f31f1f007009947658a4>

Compost - Practical Information, Best4Soil Factsheet (2022),
in: <https://eufarmbook.eu/en/contributions/6694effcdbe474b40ec1bd7>

3.4. Lodo estabilizado

3.4.1. Recomendaciones de uso

El lodo estabilizado promueve la salud del suelo al aumentar la materia orgánica, mejorar la actividad microbiana, mejorar el contenido de nutrientes y promover la retención de humedad (Kamizela, 2022). Pueden proporcionar macronutrientes esenciales (N, P, K) que sólo son parcialmente eficaces y oligoelementos a las plantas. La relación C:N suele ser inferior a 20:1. (Novosel, 2022). La combinación con otros materiales como el compost puede optimizar la relación C:N y el equilibrio de nutrientes.

En la Tabla 12 se muestra el contenido promedio de nutrientes en materia seca. Los rangos son grandes. Por este motivo, es necesario conocer el contenido exacto del sustrato de alimentación, también para cumplir con los requisitos legales.

Tabla 12. Contenido promedio de nutrientes de lodos estabilizados en materia seca

Nutriente	Rango
Materia organica	40 - 80 %
N	3,6 - 5 %
P	0,8 – 2,5 %
K	0,1 – 0,3 %
Ca	4 - 6 %
Mg	0,6 – 2 %

Los lodos estabilizados se pueden utilizar en todos los cultivos, incluidos los huertos. Se puede aplicar antes de la plantación en primavera u otoño, durante el cultivo o después de la cosecha en verano, debiendo incorporarse al suelo. La tasa de aplicación habitual depende de las restricciones reglamentarias.

El lodo estabilizado debe tener menos del 50 % de humedad para poder aplicarse con un esparcidor de estiércol estándar. El lodo granulado se puede esparcir con una esparcidora de fertilizante estándar y se puede mezclar con otros fertilizantes.

Los lodos de depuradora pueden contener contaminantes como metales pesados, contaminantes orgánicos, residuos farmacéuticos o microplásticos. No se puede aplicar en terrenos donde se cultiven frutas y hortalizas (excepto árboles frutales) ni en prados o terrenos forrajeros que vayan a ser pastados por animales o cosechados en las tres semanas siguientes.

Tabla 13. Recomendaciones para la aplicación de lodos estabilizados (consultar normativa regional)

Coltura	Quantità	Tempo di applicazione
Cereali	1 - 3 t/ha	Tutto l'anno
Legumi	1 – 3 t/ha se il rapporto C è superiore a 16:1	Tutto l'anno
Ortaggi	1 – 3 t/ha	Tutto l'anno

La distribuzione se realiza mediante esparcidores de estiércol disponibles comercialmente.



Figura 9. Esparcidor de lodo estabilizado

3.4.2. Mejora de suelos

El lodo estabilizado es una buena fuente de materia orgánica y nutrientes. Aumenta la materia orgánica, especialmente en una proporción C:N de 16:1 o superior, y puede contribuir al almacenamiento de carbono en el suelo (Glodnik, 2022). También mejora la estructura del suelo, la estabilidad de los agregados, el volumen de poros, la infiltración de agua, la capacidad de retención de agua, la actividad biológica del suelo y la fertilidad (Novosel, 2022). A largo plazo, los rendimientos se estabilizan.

3.4.3. Aspectos técnicos

3.4.3.1. Proceso de producción

Los lodos de depuradora son un subproducto del tratamiento de aguas residuales urbanas, originados en el tanque de sedimentación primario, el tanque de sedimentación secundario y otros procesos relacionados. Contiene materia orgánica y nutrientes, que lo hacen atractivo como fertilizante.

Para garantizar que se pueda aplicar de forma segura con fines agrícolas, primero se debe estabilizar el lodo y reducir su contenido de agua. Existen diferentes tecnologías para la estabilización. Los más habituales en Europa son la digestión anaeróbica, la digestión aeróbica, el compostaje, el tratamiento químico y el secado térmico.

- La digestión anaeróbica tiene como objetivo reducir, estabilizar y desinfectar parcialmente los lodos. Consiste en confinar el barro en un recipiente a una temperatura aproximada de 35°C durante un tiempo determinado. Durante este

proceso se genera como subproducto biogás (mezcla de metano y dióxido de carbono), utilizado habitualmente para mantener la temperatura del contenedor (Comisión Europea, 2001).

- El compostaje es un proceso aeróbico que implica airear lodos mezclados con un coproducto, como aserrín o estiércol animal. El compostaje produce un exceso de calor, que puede utilizarse para aumentar la temperatura de la masa de compostaje. La mezcla evoluciona durante varias semanas. Los lodos compostados consiguen un buen nivel de desinfección y se estabilizan, reduciendo así la aparición de olores. El contenido final de materia seca en el lodo compostado puede superar el 60%, lo que facilita su manipulación (Comisión Europea, 2001).
- El tratamiento químico se refiere principalmente al tratamiento con cal, que consiste en añadir cal al lodo para elevar su pH a 12, destruyendo o inhibiendo la biomasa responsable de la degradación de los compuestos orgánicos. El tratamiento también ayuda a desinfectar los lodos, aumentando el contenido de materia seca y facilitando su gestión (Comisión Europea, 2001).
- El secado térmico implica suministrar energía al sistema para evaporar el agua, dando como resultado la densificación del lodo. Es necesario un contenido de materia seca de al menos el 45% para inhibir el nuevo crecimiento de bacterias (Comisión Europea, 2001).
- La digestión aeróbica estabiliza los lodos degradando la materia orgánica utilizando microorganismos en condiciones aeróbicas (es decir, en presencia de oxígeno). Aunque es un proceso más sencillo que la digestión anaeróbica, requiere una cantidad importante de energía (5 a 10 veces más que la digestión anaeróbica) (Comisión Europea, 2001).

Ya existen procesos de estabilización en la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, como lo recomienda la legislación de la UE (Directiva 91/271/CEE) antes de cualquier forma de eliminación. Dependiendo de las características de la planta de tratamiento, como tamaño, características del flujo de entrada y región geográfica, se elige una de las cinco tecnologías discutidas anteriormente.



Figura 10. Lodo estabilizado después del prensado (Bundesarchiv)

Stabilised sludge from UWW

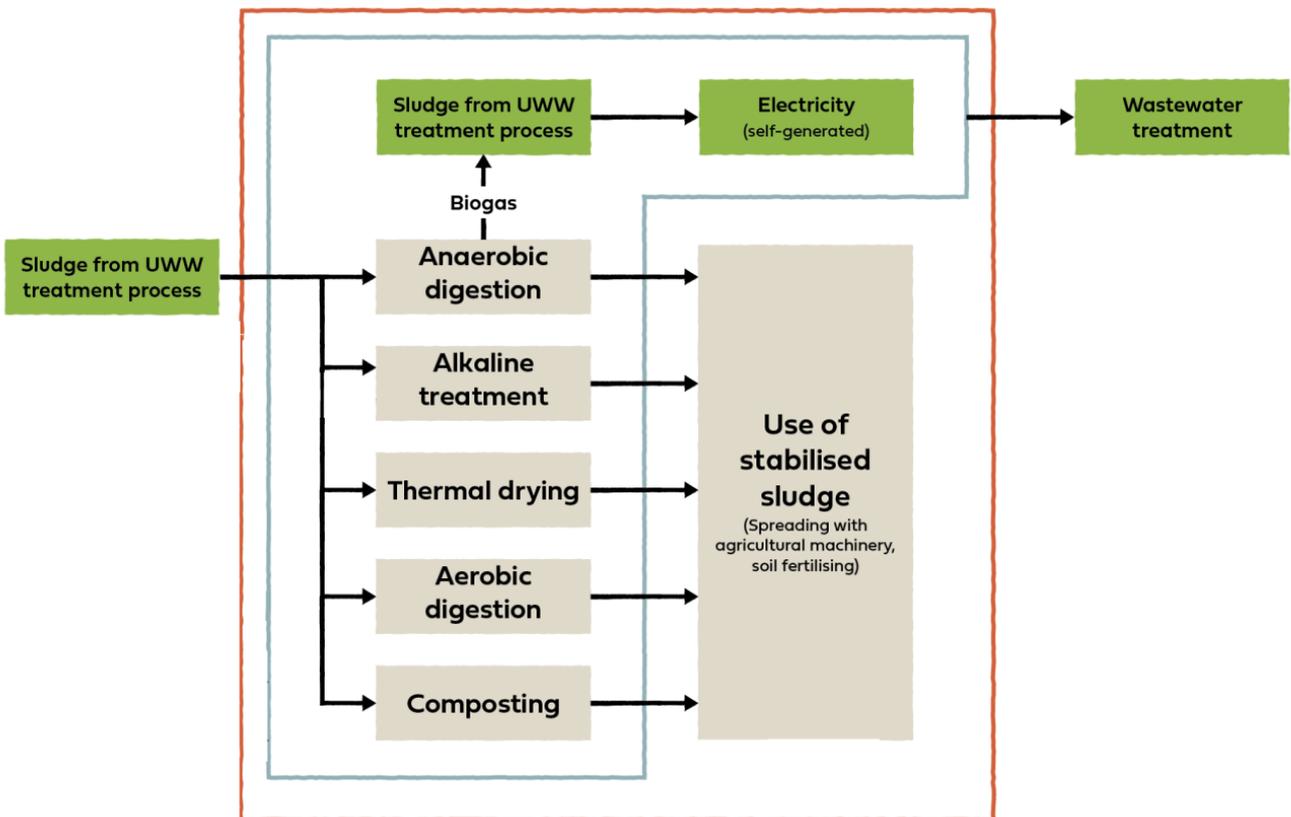


Figura 11. Diagrama de flujo de lodos de aguas residuales urbanas estabilizadas

3.4.3.2 aspectos relativos al mercado

Los lodos estabilizados de aguas residuales municipales son una buena fuente de nutrientes a un precio muy competitivo. Para que sea aceptado por agricultores y consumidores, los valores de metales pesados, patógenos y otros contaminantes deben ser lo más bajos posible. La disponibilidad puede variar de una región a otra, ya que las cualidades del lodo estabilizado pueden fluctuar. Los lodos estabilizados deberían estar disponibles en todas las plantas de tratamiento de aguas residuales, pero también pueden transportarse a cierta distancia..

3.4.3.3. Analisis normativo

Según la Directiva 86/278 de la UE, existen valores límite para la concentración de metales pesados en los suelos, en los lodos destinados a uso agrícola y para las cantidades de metales pesados que pueden añadirse anualmente a las tierras agrícolas, calculados sobre una media de 10 años. Los Estados miembros podrán permitir que se superen estos valores.

Tabla 14. Umbrales de contaminantes (mg/kg de materia seca) para lodos estabilizados

Parametro	Metales pesados presentes en el suelo.	Metales pesados presentes en el barro.	Adición anual
Cadmio (Cd)	1 – 3	20 – 40	0,15
Cobre (Cu)	50 – 400	1000 – 1750	12
Niquel (Ni)	30 – 75	300 – 400	3
Plomo (Pb)	50 – 300	750 – 1200	15
Zinc (Zn)	150 – 300	2500 – 4000	30
Mercurio (Hg)	1 – 1,5	16 - 25	0,1

Generalmente, los lodos de aguas residuales deben tratarse antes de utilizarse en la agricultura, aunque puede haber exenciones en algunos países de la UE. Se deben respetar las normativas nacionales y regionales, como el Reglamento sobre residuos biodegradables y el Reglamento sobre fertilizantes. En el Reglamento sobre productos fertilizantes, los lodos de depuradora no están permitidos en CMC 5 "Digestato distinto del digestato de cosechas frescas" ni en CMC 3 "Compost". Los lodos de depuradora no están permitidos en la agricultura ecológica.

3.4.4. Referencias

Directiva UE 2001/C 14/26): <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2001:014:0141:0150:EN:PDF>

Directiva UE 91/291 (1991): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271>

Directiva UE 86/278 (1986): <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31986L0278>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kl%C3%A4rschlamm>

Głodniok, Marcin, Małgorzata Deska, and Paweł Kaszycki. "Impact of the Stabilised Sewage Sludge-Based Granulated Fertiliser on *Sinapis alba* Growth and Biomass Chemical Characteristics." *Biology and Life Sciences Forum*. Vol. 3. No. 1. MDPI, 2021.

Novosel, Barbara, Vesna Mislej, and Viktor Grilc. "Basic Morphological, Thermal and Physicochemical Properties of Sewage Sludge for Its Sustainable Energy and Material Use in the Circular Economy." *Recent Perspectives in Pyrolysis Research* (2022).

Kamizela, T., Lyng, K. A., Saxegård, S., Švédová, B., & Grobelak, A. (2021). Bionor sewage sludge technology—Biomass to fertiliser and a soil addition. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128655.

3.5. Fracción sólida del digestato

3.5.1. Recomendaciones de uso

El digestato es una excelente fuente de nutrientes para los cultivos, pero su aplicación debe gestionarse con cuidado para maximizar sus beneficios y minimizar los riesgos ambientales. La fracción sólida del digestato es particularmente importante como fertilizante debido a su alto contenido en nutrientes y materia orgánica. Proporciona nitrógeno que es carbono fácilmente disponible y estable. Puede contener hasta un 87% del nitrógeno total y un 71% del fósforo presente en el digestato original. A continuación se presentan algunas recomendaciones para el uso eficaz de la fracción sólida estabilizada del digestato:

- *Incorporación al suelo:* Esta técnica consiste en esparcir el digestato sobre la superficie del suelo y luego incorporarlo al suelo con equipos de labranza. Este método también ayuda a reducir las emisiones y los olores de amoníaco, aunque puede que no sea tan eficaz como la inyección.
- *Técnicas de agricultura de precisión (seguimiento GPS):* El uso de la tecnología GPS asegura que el digestato se aplique uniformemente en el campo, evitando sobreaplicaciones en algunas áreas y subaplicaciones en otras. Las técnicas de agricultura de precisión ayudan a los agricultores a suministrar exactamente la cantidad correcta de nutrientes a los cultivos, mejorando la eficiencia del uso de los nutrientes y

reduciendo el impacto ambiental.

- *Tiempo de aplicación:*

Aplicaciones previas a la semilla: La aplicación del digestato antes de plantar cultivos garantiza que los nutrientes estén disponibles durante las etapas iniciales de crecimiento. Este momento también puede ayudar a reducir el riesgo de pérdidas de nutrientes por lixiviación o volatilización.

Aplicaciones de cultivos de cobertura: El digestato se puede aplicar a cultivos de cobertura, los cuales pueden absorber nutrientes y prevenir la pérdida de nutrientes durante los períodos en que los cultivos principales no están creciendo. Los cultivos de cobertura también pueden mejorar la estructura del suelo y el contenido de materia orgánica.

- *Condiciones óptimas de aplicación:* Evite aplicar digestato durante fuertes lluvias o cuando el suelo esté saturado, ya que esto puede causar escurrimiento de nutrientes y contaminación del agua. Asimismo, la aplicación en condiciones de viento puede aumentar el riesgo de volatilización del amoníaco.
- *Condiciones del suelo:* Aplique digestato cuando el suelo no esté congelado o anegado para garantizar que los nutrientes puedan ser absorbidos por el suelo y asimilables por las plantas.
- *Uso de inhibidores de la nitrificación:* Los inhibidores pueden retardar la conversión de amonio en nitrato, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitrato y mejorando la eficiencia del uso del nitrógeno. Esto puede resultar especialmente útil en zonas sujetas a fuertes lluvias o riego.
- *Cumplimiento normativo:* asegúrese de que su aplicación de digestato cumpla con las regulaciones locales y europeas, incluida la Directiva de nitratos de la UE. Cumplir con estas regulaciones ayuda a prevenir la contaminación por nitratos y promueve prácticas agrícolas sostenibles.

Siguiendo estas recomendaciones, los agricultores pueden optimizar el uso del digestato, mejorando la productividad de los cultivos y protegiendo el medio ambiente. El uso de digestato no solo contribuye a la gestión sostenible de nutrientes, sino que también apoya la economía circular al reciclar residuos orgánicos en valiosos insumos agrícolas.

En la Tabla 15 se muestra el contenido promedio de nutrientes en materia seca. Las fluctuaciones son grandes. Por este motivo, es importante conocer el contenido exacto del sustrato que aporta la planta, también para cumplir con los requisitos legales.

Tabla 15. Contenidos de nutrientes en la fracción sólida del digestato en materia seca (Bundesgütegemeinschaft, 2018)

Nutriente	V Valor medio en la fracción sólida de digestato de material vegetal de NaWaRo* (rango)	Valor medio en la fracción sólida de digestato procedente de residuos orgánicos (rango)
Materia seca	27,5 % (21 – 30 %)	35,6 % (25 – 48 %)
Valor del pH	8,6 (8,1 – 8,9)	8,1 (7,5 – 8,7)
Materia organica	48 % (34 – 51 %)	55 % (37 – 72 %)
C	28 % (20 – 30 %)	31 % (21 – 40 %)
N	2,4 % (1,5 – 3,7 %)	2,6 % (1,3 – 6,0 %)
Relacion C:N	21,7 (13,1 – 29,2)	15,4 (5,0 – 23,4)
P	1,1 % (0,4 – 3,3 %)	0,8 % (0,4 – 1,4 %)
K	2,3 % (1,1 – 2,4 %)	1,0 % (0,6 – 1,5 %)
Ca	1,8 % (0,4 – 4,6 %)	4,6 % (1,1 – 9,9 %)
Mg	0,7 % (0,4 – 1,8 %)	0,7 % (0,3 – 1,2 %)

*Ingredientes vegetales puros sin estiércol animal.

Tabla 16. Recomendaciones para la aplicación de la fracción sólida del digestato (consultar con normativa regional)

Cultivo	dosis	Momento de aplicacion
Cereales	30 – 80 kg/N ha dependiendo del cultivo y análisis del suelo	Feb – May
Leguminosas	-	-
Verduras	Demanda de N dependiendo del cultivo y análisis del suelo.	Feb – Sept
Frutales y viñedos	Demanda de N dependiendo del cultivo y análisis del suelo.	Ene – May

3.5.2 Mejora de suelos

La fracción sólida del digestato es la fuente ideal para mejorar el suelo aumentando la materia orgánica, ya que contiene más del 25% de C. El carbono es bastante estable ya que resiste la digestión y tiene un efecto positivo sobre el contenido de humus. Contribuye al secuestro de carbono en el suelo. El efecto es más evidente en suelos bajos en humus (<1% humus) y en aquellos con contenido medio de humus (2-3% humus). Además, mejora la estructura del suelo, la estabilidad de los agregados, el volumen de poros, la infiltración de agua, la capacidad de retención de agua, la actividad biológica del suelo y la fertilidad del suelo. A largo plazo, los rendimientos se estabilizan.

La fracción sólida del digestato es una mezcla única que ofrece nutrientes altamente disponibles y relativamente rápidos, así como carbono estable. Al convertir materiales de desecho orgánicos en un valioso fertilizante, este proceso no solo genera energía renovable, sino que también mejora la disponibilidad de nutrientes, la salud del suelo y la sostenibilidad ambiental. El digestato desinfectado y rico en nutrientes producido a través de este proceso representa un avance significativo en la gestión de residuos orgánicos y la productividad agrícola, alineándose con los objetivos de la economía circular y el desarrollo sostenible.

Su uso puede reducir significativamente la dependencia de fertilizantes sintéticos, disminuir el riesgo de contaminación por nitratos y mejorar la salud del suelo. Al adoptar este enfoque, los agricultores pueden contribuir a un sistema agrícola más circular y respetuoso con el medio ambiente. Tanto la fracción líquida como la sólida del digestato contienen niveles relevantes de nutrientes, lo que presenta una oportunidad cuando ambas se utilizan como fertilizantes.

3.5.3 Aspectos técnicos

3.5.3.1. Proceso de producción

La digestión anaeróbica (DA) es un proceso biológico mediante el cual los microorganismos

degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo una mezcla de gases: 50-75% de metano (CH_4), 25-50% de dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua y trazas de oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) (European Biogas Association, 2013). La importancia del biogás es que puede quemarse para producir energía (electricidad y calor) o convertirse en biometano, que puede usarse como combustible para vehículos o inyectarse en la red de gas para usarse como sustituto del gas natural.

El principal producto de la DA es el biogás; el resto (digestato) fue considerado residuo durante varios años. Ahora, se utiliza como fertilizante circular para recuperar los nutrientes que contiene. El digestato es una mezcla heterogénea compuesta de una fase líquida y una sólida (es decir, fracción líquida y fracción sólida del digestato). Ambos son ricos en nutrientes y se utilizan con fines de fertilización.

Hay varios flujos de residuos que pueden someterse a DA para obtener biogás: estiércol, residuos de alimentos y lodos de depuradora. Para los fines de esta evaluación, se consideraron los tres. Hay dos tipos de DA: húmeda y seca. El sistema de desperdicio de alimentos se modeló considerando la DA seca, por ser la más utilizada en Europa; para lodos de depuradora la única opción posible es la DA húmeda, y para estiércol también se modeló la DA húmeda, ya que es para la que hay mayor disponibilidad de datos.

El sistema de residuos alimentarios incluye una etapa de pretratamiento donde se recuperan los metales ferrosos y se envían a gestión de residuos, y se separan las fracciones sólidas y líquidas mediante una prensa de tornillo; la fracción líquida se aplica al suelo, sustituyendo así el uso de fertilizantes. El sistema de lodos de depuradora, por su parte, toma lodos primarios y secundarios de la estación de tratamiento de aguas residuales (PTAR), los mezcla y espesa antes de la DA, y luego, mediante un proceso de deshidratación, se separan las fracciones líquida y sólida; la fracción líquida se devuelve a la EDAR. El sistema de estiércol inicia directamente con el AD, su digestato pasa por la separación líquido-sólido y la fracción líquida se utiliza en sustitución del uso de fertilizantes.

En conclusión, la producción de digestato estabilizado mediante digestión anaeróbica ofrece una solución multifuncional para la agricultura sostenible. Al convertir materiales de desecho orgánicos en un valioso fertilizante, este proceso no solo genera energía renovable, sino que también mejora la disponibilidad de nutrientes, la salud del suelo y la sostenibilidad ambiental. El digestato desinfectado y rico en nutrientes producido a través de este proceso representa un avance significativo en la gestión de residuos orgánicos y la productividad agrícola, alineándose con los objetivos de la economía circular y el desarrollo sostenible.

Solid fraction of digestate from food waste

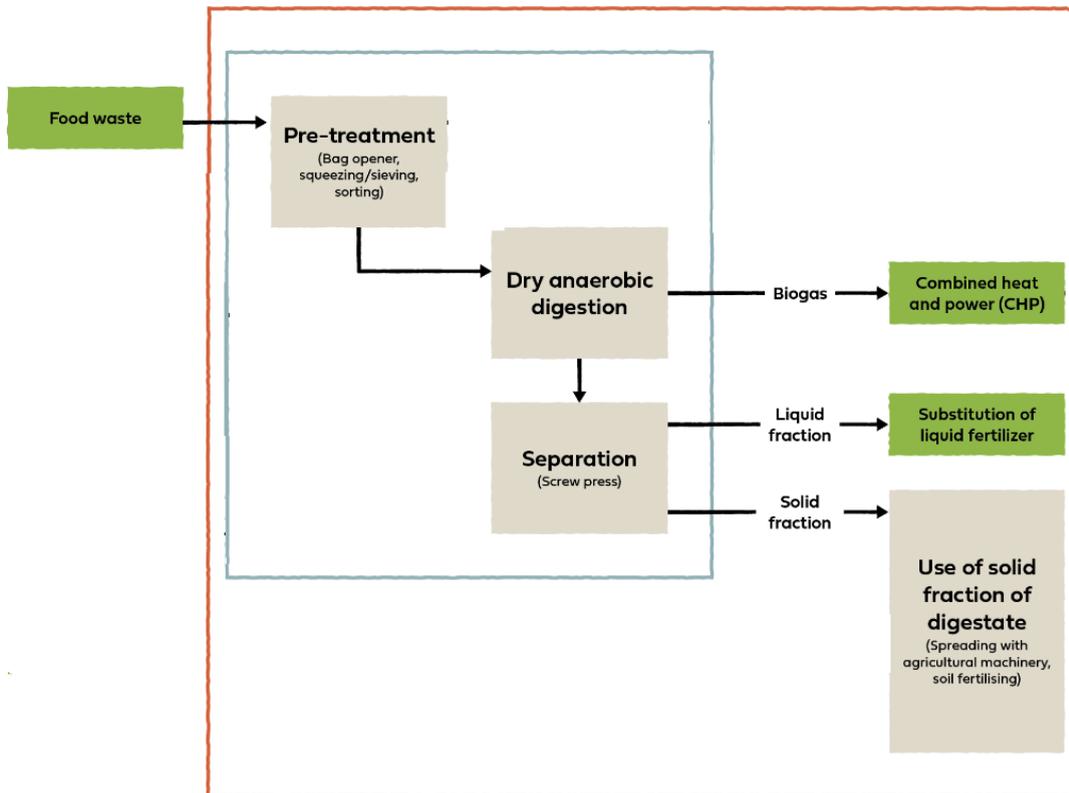


Figura 12. Diagrama de flujo de la fracción sólida del digestato procedente de residuos alimentarios



Figura 13. Planta de biogás con sala técnica, silos, tanque de fermentación, depósito y depósito de gas (izquierda) y separador de fracciones sólidas (derecha; E. Räder)

3.5.3.2. Aspectos relativos al mercado

En Europa el digestato se produce de forma diferente en función de las capacidades instaladas en cada país. Por lo tanto, no está disponible en todas las regiones. Existe una gran variación en nutrientes y precios, pero los precios suelen ser muy competitivos. La fracción sólida se considera económica de transportar en comparación con la fracción líquida. La producción puede aumentar significativamente, pero depende de las estrategias eléctricas nacionales.

3.5.3.3. Analisis normativo

Según la Directiva de Nitratos de la UE (91/676/CEE), el digestato utilizado como fertilizante debe cumplir criterios específicos para prevenir la contaminación por nitratos. Esta directiva, que apunta a las prácticas agrícolas como principales fuentes de contaminación por nitratos, establece límites anuales para la aplicación de nitrógeno en áreas vulnerables para salvaguardar la calidad del agua en toda Europa. El digestato estabilizado puede ayudar a satisfacer estos requisitos proporcionando una liberación controlada de nitrógeno y otros nutrientes esenciales, mejorando la eficiencia de los nutrientes y reduciendo el impacto ambiental.

La Directiva de Nitratos de la UE requiere que los Estados miembros identifiquen las Zonas Vulnerables a los Nitratos (NVZ) donde la contaminación por nitratos es una preocupación y que implementen programas de acción para controlar y reducir la lixiviación de nitratos. Esto implica establecer límites anuales para la aplicación de nitrógeno para garantizar que la cantidad de nitrógeno aplicado no exceda los requisitos del cultivo y la capacidad de absorción del suelo. El exceso de nitrógeno de los fertilizantes puede filtrarse a los cuerpos de agua, provocando eutrofización y afectando negativamente a los ecosistemas acuáticos.

La fracción sólida del digestato, producida mediante la digestión anaeróbica de materiales orgánicos, ofrece una solución viable para cumplir con los requisitos de la Directiva de Nitratos de la UE. La liberación controlada de nitrógeno del digestato estabilizado asegura una asimilación eficiente de los nutrientes por parte de los cultivos, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos. Además, el digestato estabilizado contiene otros nutrientes esenciales como fósforo y potasio en proporciones equilibradas, lo que contribuye a la fertilidad general del suelo y la salud de los cultivos.

Según REGLAMENTO (UE) 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DE CONSEJO de 5 de junio de 2019, la fracción sólida del digestato cumple con CMSC 5 "digestato distinto del de cosecha fresca" y PFC 1(A)(I) "fertilizante orgánico sólido" o PFC 3(AQ) "mejorador sólido del suelo". Pero los lodos de depuradora no están permitidos en CMC 5.

En la agricultura ecológica se permite el digestato de estiércol, residuos verdes y residuos orgánicos, pero las granjas ecológicas deben proporcionar pruebas de que los ingredientes del sustrato no proceden de una agricultura intensiva y no pueden aplicar más de 170 kg de nitrógeno (UE 2018/448).

3.5.4. References

REGLAMENTO UE 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

REGLAMENTO UE 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (2018): Organische Düngung – Kompost für die Landwirtschaft, in: [Organische duengung Juli 2018 .pdf \(kompost.de\)](#)

European Biogas Association. (2013). *EBA's Biomethane factsheet*. Retrieved from https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/files/2013/10/eba_biomethane_factsheet.pdf

Anaerobic digestates as a nutrient source for organic farming, RELACS practice abstract (2021) in: www.organic-farmknowledge.org/tool/40054

Organic fertilisation of young apple orchards, DOMINO Practice Abstract (2021), in: www.organic-farmknowledge.org/tool/42596

SOS Aquae: More efficient carbon and nitrogen agrosystems with biogas, NUTRI-KNOW presentation (2023), in <https://eufarmbook.eu/en/contributions/662113c30beeac6e7e385efb>

3.6. Sustrato de hongos gastado

3.6.1. Recomendaciones de uso

El sustrato fúngico tiene un efecto corrector en suelos con un valor de pH demasiado bajo (Lakaria, 2019). Se debe prestar atención al contenido de sal de los cultivos sensibles a la sal. Con su alto contenido de azufre, el subproducto de hongos gastado es una buena opción para cultivos con altos requerimientos de azufre, como la colza y las legumbres (Möller et al, 2014).

El sustrato de hongos gastado puede proporcionar nutrientes esenciales a las plantas. Los nutrientes utilizados, como el nitrógeno, sólo son parcialmente eficaces. En el Reglamento alemán sobre fertilizantes se acredita el 10% del contenido total de nitrógeno del sustrato usado para hongos en el año de aplicación. En el primer año siguiente se considera el 4% del nitrógeno total aplicado en el cálculo de los requerimientos de fertilizantes y en el segundo y tercer año siguientes se debe tener en cuenta el 3% del nitrógeno total aplicado originalmente. Fosfato, potasio y azufre están 100% acreditados. En otras regiones son posibles regulaciones diferentes.

En la Tabla 17 se muestra el contenido promedio de nutrientes en materia seca. Las

fluctuaciones son grandes. Por este motivo, es importante conocer exactamente el contenido del sustrato suministrado, también para cumplir con los requisitos legales.

Tabla 17. Contenido de nutrientes de sustratos usados de hongos en materia seca (Möller et al, 2014)

Nutriente	Valor medio	Intervalo
Materia seca	38,0 %	23,2 – 79,1 %
Valor del pH	6,5	5,3 – 8,1
Contenido de sales KCl	2,1 %	1,1 – 2,4%
Materia organica	64,6 %	36,7 – 86,0 %
C	33,6 %	23,8 – 43,9 %
N	2,12 %	0,34 – 6,2 %
P	0,89 %	0,28 – 1,8 %
K	2,02 %	0,85 – 3,2 %
Ca	4,24 %	0,29 – 12,6 %
Mg	0,85 %	0,21 – 1,84 %
S	2,35 %	0,86 – 4,03 %

El sustrato de hongos gastado se puede utilizar en todos los cultivos, incluidos los de huerta y para la producción de otras especies de hongos. Se puede aplicar antes de la plantación en primavera u otoño, durante el cultivo o después de la cosecha en verano, pudiendo incorporarse al suelo. La tasa de aplicación habitual es de 10 a 20 toneladas por hectárea, siempre que no existan otras restricciones en la región. En caso de aplicación regular, se deben respetar las cantidades máximas permitidas, por ejemplo 30 toneladas de materia seca en 3 años, prestando especial atención a los niveles de metales pesados previstos por la normativa.

Tabla 18. Recomendaciones para sustratos de lodos gastados (consultar normativa regional)

Cultivo	Quantità	Momento di applicazione
Cereales	10 – 30 t/ha	Todo el año
Leguminosas	10 – 30 t/ha si la relación C es superior a 16:1	Todo el año

Verdura	10 – 30 t/ha	Todo el año
Frutales y viñedos	10 – 30 t/ha	Todo el año

3.6.2. Mejora de suelos

El subproducto de las setas gastadas suele contener más del 30% de C. Con una proporción media de C:N de 16:1, una parte importante del carbono es relativamente estable y tiene un efecto positivo sobre el contenido de humus. Contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo. El efecto es más visible en suelos con bajo contenido de humus (<1% de humus) y suelos con humus medio (2-3% de humus). También mejora la estructura del suelo, la estabilidad de los agregados, el volumen de poros, la infiltración de agua, la capacidad de retención de agua, la actividad biológica del suelo y la fertilidad del suelo. A largo plazo, los rendimientos se estabilizan..

3.6.3. Aspectos técnicos

3.6.3.1. Proceso de producción

Una vez que los hongos han crecido y se han sometido a un tratamiento a alta temperatura, el sustrato del hongo se devuelve a la agricultura como abono terminado para su uso como fertilizante. Los sustratos para hongos son mezclas de diferentes componentes según el tipo de hongo: estiércol, paja, tiza, agua, pero también arcilla, arena, marga, turba y estiércol de remolacha azucarera.

La Figura 14 muestra un diagrama de producción de hongos y hongos gastados. El fabricante del sustrato composta el estiércol con cal, tiza y paja de trigo. Este “compost fresco” (Fase 1) luego se pasteuriza (Fase 2) y se inocula (Fase 3).

Algunos productores de hongos reciben el sustrato inoculado (Paso 3), otros prefieren recibir el sustrato pasteurizado (Paso 2) y realizar la inoculación ellos mismos. El sustrato inoculado se cubre con tierra de cobertura (normalmente turba) y se cultivan las setas.

Después de la cosecha de hongos, el productor de hongos elimina el sustrato gastado realizando un segundo paso de compostaje y luego distribuyendo el fertilizante o devolviéndolo al productor de sustrato quien lo utilizará como materia prima.

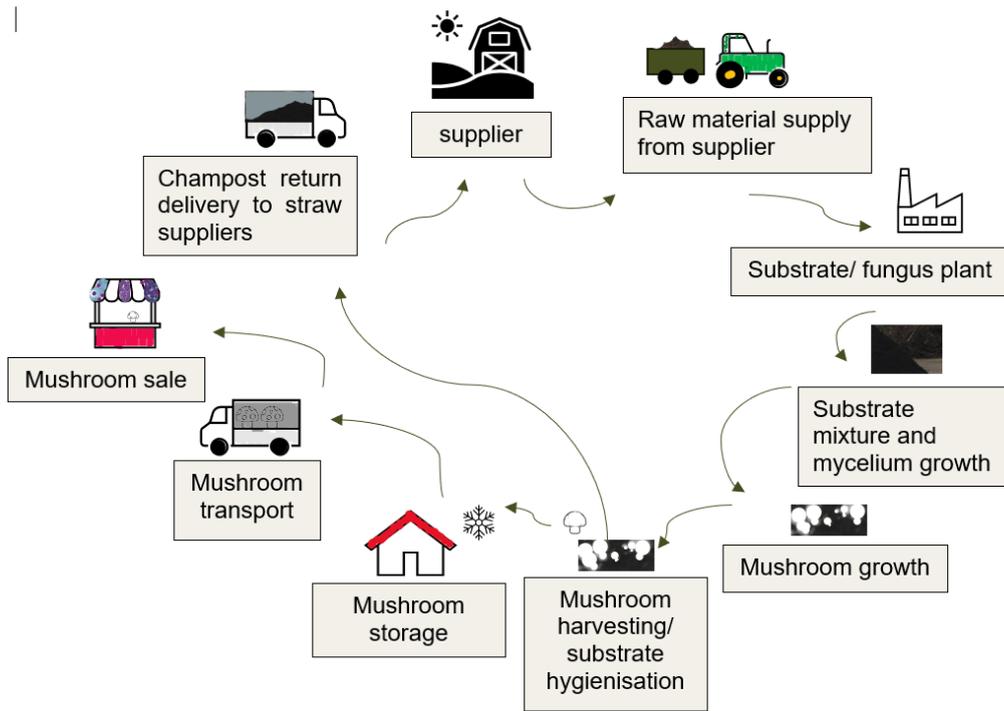


Figura 14. Esquema de producción de sustrato gastado para hongos.

La Figura 15 muestra un ejemplo de un cronograma para la producción de hongos. Tenga en cuenta que la producción y los tiempos de producción pueden variar según el subproducto del hongo y las instalaciones de producción..

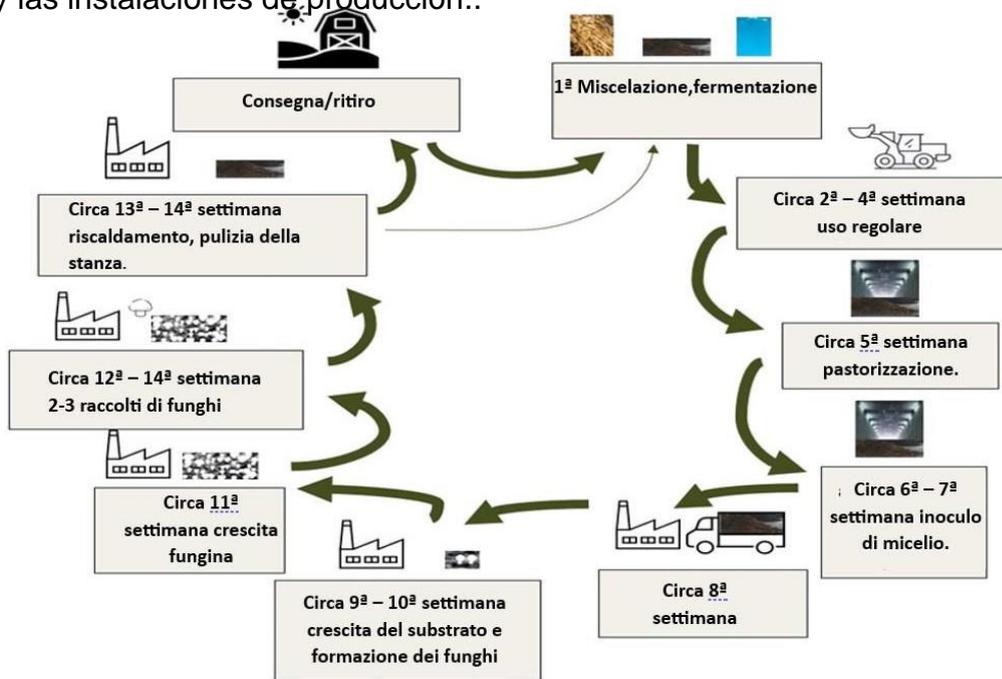


Figura 15. Cronograma desde la entrega de materias primas hasta la devolución del subproducto de hongo gastado.

Spent mushroom substrate

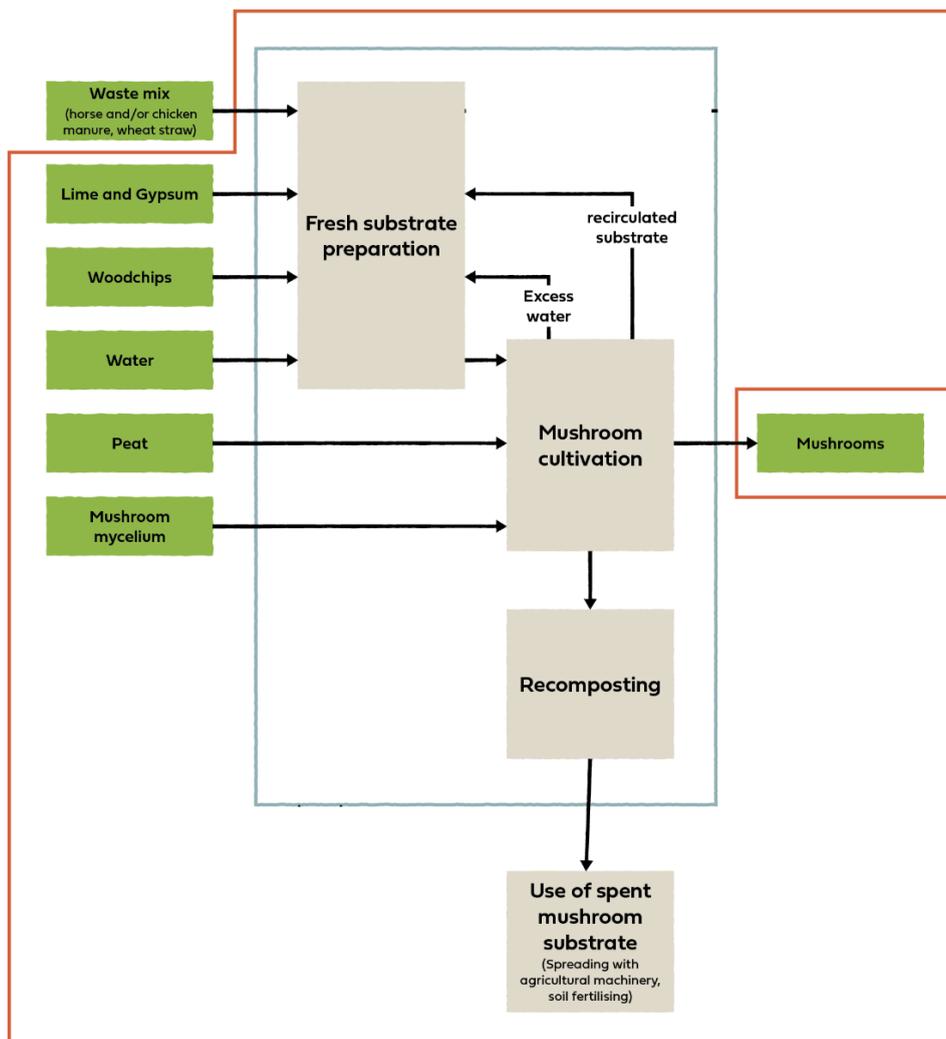


Figura 16. Diagrama de flujo de subproductos de hongos gastados

3.6.3.2. Aspectos legales del mercado

El subproducto de los hongos gastados es una fuente ideal para mejorar el suelo, similar al

abono. Los precios del compost son bajos y muy competitivos. Incluso si sólo se calculan los precios de los macronutrientes sin considerar el carbono, el precio sigue siendo muy competitivo. La oferta se limita a la producción de setas. Dado que los subproductos de los hongos gastados no pueden transportarse a largas distancias, el suministro regional varía de una región a otra.

3.6.3.3. Análisi normativo

Según el Reglamento UE sobre productos fertilizantes "REGLAMENTO (UE) 2019/1009 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 5 de junio de 2019", el subproducto de las setas gastadas se clasifica en la categoría de producto función 3A "Mejora orgánica del suelo".

Según el Reglamento, un producto fertilizante de la UE, que lleva la marca CE cuando está disponible en el mercado, solo puede estar compuesto por materiales que cumplan los requisitos para una o más de las categorías de materiales componentes (CMC) enumeradas en este anexo. El subproducto gastado de hongos está autorizado en la UE y se clasifica en CMC 10 "productos derivados según el Reglamento (CE) nº 1069/2009" (ciertos productos derivados de subproductos animales) o CMC 3 "compost" si se ha alcanzado el punto final para estiércol.

Existen especificaciones para niveles máximos de metales pesados y patógenos.

Los patógenos contenidos en un mejorador orgánico del suelo no deben exceder los límites enumerados en la siguiente tabla:

Tabla 19. Umbrales de patógenos para subproductos gastados de hongos

Patogeno	Soglia
Salmonella spp	Nessuna presenza in 25 g o 25 ml
Escherichia coli o Enterococcaceae	1000 in 1 g o 1 ml

Los contaminantes contenidos en un mejorador orgánico del suelo no deben exceder los siguientes límites:

Tabla 20. Umbral de contaminantes para subproductos de hongos gastados

Contaminante	Soglia
--------------	--------

Cadmio (Cd)	2 mg/kg materia seca
Cromo VI (Cr VI)	2 mg/kg materia seca
Mercurio (Hg)	1 mg/kg materia seca
Niquel (Ni)	50 mg/kg materia seca
Plombo (Pb)	120 mg/kg materia seca
Arsenico inorganico (As)	40 mg/kg materia seca
cobre (Cu)	300 mg/kg materia seca
Zinc (Zn)	300 mg/kg materia seca

**También pueden aplicarse regulaciones nacionales.

El subproducto de las setas gastadas está permitido en la agricultura ecológica, pero las granjas ecológicas deben demostrar que los ingredientes del sustrato no proceden de una agricultura intensiva y no pueden aplicar más de 170 kg de nitrógeno (UE 2018/448).

Además de la legislación de la UE y la Política Agrícola Común (PAC), también puede ser necesario el cumplimiento de regulaciones nacionales y regionales, por ejemplo, regulaciones sobre residuos biológicos, regulaciones sobre fertilizantes, regulaciones sobre transferencia de estiércol agrícola y regulaciones en áreas de protección del agua o áreas con otro estado de protección. Estas regulaciones también pueden incluir restricciones temporales a la aplicación de fertilizantes, por ejemplo en invierno. Es posible que sea necesario informar la aplicación del sustrato a la autoridad pertinente según estas regulaciones.

3.6.4. Referencias

Möller, K., Schultheiß U. (2014), Organic commercial fertilisers in organic farming, p.267, ISBN 978-3-941583-89-4.

REGLAMENTO UE 2019/1009: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>

REGLAMENTO UE 2018/448: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018DC0448>

Fertiliser Ordinance: https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/index.html, Section 3 para. 5 in conjunction with Annex 3

[Champost – RPZ Rheinische Pilz-Zentrale \(rhpz.de\)](http://rhpz.de)

Lakaria, B. L., et al. "Soil health: Concept, components, management and opportunities." *Advances in compost production technology* (2019): 95-103.

4. Conclusiones

Los fertilizantes circulares son una opción sostenible en comparación con los fertilizantes sintéticos que consumen mucha energía y ofrecen muchas opciones diferentes, tanto para los agricultores convencionales como para los orgánicos. Son adecuados para todos los cultivos, desde hortalizas y frutas hasta cultivos herbáceos, incluidas las legumbres.

La estruvita da la opción de recuperar fósforo, el nutriente más limitante en la agricultura porque las fuentes de fosfato de roca no son indefinidas y a menudo están contaminadas. La harina de plumas ofrece nitrógeno orgánico sin demasiado fósforo, lo que puede ser un aspecto importante para los productores de frutas y hortalizas. Los lodos estabilizados proporcionan macro y micronutrientes, normalmente con una liberación relativamente rápida.

Con un contenido de carbono alto y estable, los biorresiduos compostados y el sustrato de hongos gastado son los típicos "mejoradores del suelo". Pero los demás nutrientes no deben subestimarse, ya que no son caros y la disponibilidad de nutrientes es bastante buena.

La fracción sólida es bastante única en comparación, ya que proporciona nitrógeno con una rápida disponibilidad y algo de carbono estable.

Muchos de los fertilizantes circulares tienen grandes fluctuaciones. Por este motivo, se debe conocer el contenido exacto de la planta de sustrato de suministro.

Un aspecto crítico es que las cuestiones regulatorias pueden restringir el uso de todos estos fertilizantes. Sin embargo, aunque los precios de la mayoría de los fertilizantes circulares son competitivos, se debe mejorar la aceptación de los fertilizantes circulares por parte de los agricultores. La disponibilidad de fertilizantes circulares también debería mejorarse aumentando la producción.

Para conocer más de 60 cadenas de valor de fertilizantes circulares, visite la [base de datos FER-PLAY](#) y si desea profundizar en la evaluación ambiental, social, económica, regulatoria y de ampliación de los siete fertilizantes presentados, consulte [consulte D2.2 "Evaluación múltiple de impactos, compensaciones y condiciones marco"](#).



fer ▶ play

Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizon
Europa de la Unión Europea con el número de concesión N° 101060426



Financiado por la Unión Europea. No obstante, las opiniones expresadas no reflejan necesariamente las de la Unión Europea o la Agencia Ejecutiva Europea de Investigación. La Unión Europea o de la Agencia Ejecutiva Europea de Investigación, ni la Unión Europea ni la autoridad que concede la subvención pueden ser consideradas responsables de las mismas.

