



Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización



Guía de utilización agrícola de los materiales digeridos por biometanización



Editores:
M^a Pilar Bernal Calderón
J. Ant^o Alburquerque Méndez
M^a Ángeles Bustamante Muñoz
Rafael Clemente Carrillo





GUÍA DE UTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE LOS MATERIALES DIGERIDOS POR BIOMETANIZACIÓN

Editores:

**M^a Pilar Bernal Calderón, José Antonio Alburquerque Méndez,
M^a Ángeles Bustamante Muñoz, Rafael Clemente Carrillo**

*Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura,
Consejo Superior de Investigaciones Científicas*

Maquetación y diseño:

Raúl Moral Herrero. *Universidad Miguel Hernández de Elche*

*Este documento ha sido elaborado como resultado de los trabajos de investigación del subproyecto SP3 VALORIZACIÓN AGRONÓMICA DEL DIGESTADO, perteneciente al Proyecto Singular Estratégico **Desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España (PROBIOGAS)** y ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011 y cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)*



"Una manera de hacer Europa"

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema de recuperación o transmitida de ninguna forma ni por ningún medio, electrónico, mecánico, fotocopia o de otro modo, sin el permiso previo de los propietarios del copyright

© CSIC 2011

Editado por:

M^a Pilar Bernal Calderón, José Antonio Alburquerque Méndez, M^a Ángeles Bustamante Muñoz, Rafael Clemente Carrillo.

Diseño y composición: Raul Moral Herrero y Andrés Marín García

I.S.B.N: 978-84-694-1868-0

DL: MU-390-2011

Impreso en: Tipografía San Francisco, S.A. Murcia (Spain).

Autores:

Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC

M^a Pilar Bernal Calderón
José Antonio Alburquerque Méndez
M^a Ángeles Bustamante Muñoz
Rafael Clemente Carrillo
Carlos de la Fuente Sáez
Lucía Carrasco Blázquez
Juan Cegarra Rosique

Instituto Agroforestal Mediterráneo, Universidad Politécnica de Valencia

Manuel Abad Berjón
Alicia Ferrer-Costa

Universidad Miguel Hernández de Elche, EPSO-Orihuela

Raúl Moral Herrero
M^a Dolores Pérez Murcia
Concepción Paredes Gil
Aurelia Pérez Espinosa

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias

M^a Remedios Albiach Vila
Rodolfo Canet Castelló
Fernando Pomares García

Fundación Rural Caja Valencia

Inmaculada Nájera Juan
Carlos Baixauli Soria

Universidad de León

Luis Fernando Calvo Prieto
Antonio Morán Palao

Biogas Fuel Cell

Marcos Díaz Prado
Nadia Hag-Omer Kerr

ÍNDICE

1. Presentación	1
2. Glosario de términos.....	5
3. Introducción	9
3.1. Situación actual en España	9
3.2. Valorización de los materiales digeridos en la agricultura.....	11
3.3. Criterios exigibles de calidad	12
4. Caracterización y variabilidad de los digeridos	19
4.1. Características físico-químicas, contenido en materia orgánica y nutrientes...	19
4.2. Estabilidad biológica y grado de madurez	24
4.3. Nivel de higienización	27
4.4. Presencia de impurezas y elementos tóxicos	28
4.5. El digerido como sustitutivo de fertilizantes minerales: Evaluación económica.....	28
4.6. Calidad de los productos: Conclusiones y recomendaciones.....	39
5. Criterios para la gestión del digerido	43
5.1. Formas de utilización	43
5.2. Almacenamiento.....	54
5.3. Formas de aplicación: Balances de nutrientes.....	55
6. Recomendaciones para la correcta utilización del digerido.....	67
7. Registro de productos fertilizantes	71
8. Bibliografía	77
Anexo I. Casos prácticos.....	83
Anexo II. Legislación relevante.....	103



1. Presentación

El proceso de digestión anaerobia de residuos orgánicos, además de generar biogás como energía renovable, produce un material residual digerido que es necesario gestionar adecuadamente para asegurar la viabilidad del proceso, de forma compatible con el medio ambiente.

Así, el objeto de este documento es ofrecer una guía para la correcta utilización en agricultura de los materiales digeridos procedentes de la codigestión de materias primas de especial potencialidad y valor estratégico en España. Se pretende establecer los requerimientos de calidad básicos de estos materiales, fundamentalmente para la aplicación directa del digerido bruto o bien del compost obtenido a partir de su fracción sólida, favoreciendo el desarrollo y consolidación del sector de producción de biogás agroindustrial, e incrementando así la confianza de los agricultores en el uso de los materiales digeridos y/o productos resultantes.

El producto final residual de la digestión anaerobia es generalmente un material semilíquido con alto contenido de agua. Además, algunas instalaciones disponen de un sistema de separación sólido-líquido que permite separar el digerido bruto en dos fracciones, una sólida y otra líquida. En este documento, el digerido bruto hace referencia al material semilíquido obtenido tras la codigestión anaerobia de residuos orgánicos, el digerido sólido hace referencia a la fracción sólida y el digerido líquido a la fracción líquida de dicho digerido bruto, ambos obtenidos tras un proceso de separación sólido-líquido en la instalación de producción.

Por ello, existen diferentes estrategias para la gestión de los materiales; mientras que el digerido sólido es de fácil manejo y sus opciones de reciclado y características se pueden comparar con las de un estiércol sólido, la fracción líquida requiere ser almacenada para bien ser utilizada en agricultura o ser depurada para su reciclado o reutilización. Algunas instalaciones utilizan parte de dicha fracción líquida como fuente de humedad para el proceso anaerobio, reciclando la mayor parte en el mismo proceso de digestión. En caso de

depuración posterior de la fracción líquida para su utilización o vertido debe tenerse en cuenta la legislación existente en este aspecto (Real Decreto 1620/2007).

Dentro de las estrategias de gestión que planteamos en la presente guía y desarrolladas en el marco del Proyecto Singular Estratégico PROBIOGAS, se incluyen las siguientes:

- Utilización del digerido bruto en agricultura para el aprovechamiento de los nutrientes y posibilidad de preparación de productos fertilizantes líquidos con base de digerido;
- Desarrollo de productos fertilizantes de valor añadido mediante el compostaje del digerido sólido y el cumplimiento de la normativa vigente para su certificación como “Enmienda Orgánica Compost”.

Los contenidos de esta guía pretenden:

- Analizar la composición y características específicas de los materiales digeridos brutos resultantes de procesos de codigestión anaerobia;
- Estudiar y determinar el valor agronómico de dichos digeridos para su potencial aplicación en agricultura;
- Evaluar el desarrollo de nuevos productos fertilizantes mediante compostaje de las fracciones sólidas de digeridos, que permitan su transformación en productos de alto valor añadido;
- Definir requisitos de calidad exigibles a los digeridos para poder considerar su valor agronómico en base a los definidos en la bibliografía científica, normativa y guías de calidad editadas en otros países;
- Identificar las opciones de utilización agrícola del digerido, estableciendo formas de utilización y aprovechamiento de nutrientes por los cultivos;
- Evaluar el potencial fertilizante en términos económicos derivados del ahorro de fertilizantes.



La última parte de esta guía incluye casos prácticos de utilización agrícola de los digeridos, brutos y sólidos, en diversos cultivos de interés en España, llevados a cabo en el marco del Proyecto Singular Estratégico PROBIOGAS.



2. Glosario de términos

Según el Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes y el Real Decreto 949/2009 correspondiente al Plan de biodigestión de purines, se definen los siguientes términos de relevancia para la presente guía:

Producto fertilizante: Producto utilizado en agricultura o jardinería que, por su contenido en nutrientes, facilita el crecimiento de las plantas, aumenta su rendimiento y mejora la calidad de las cosechas o que, por su acción específica, modifica, según convenga, la fertilidad del suelo o sus características físicas, químicas o biológicas, y que debe especificarse como tal en el anexo I del Real Decreto 824/2005, modificado por la Orden APA/863/2008. Se incluyen en esta definición los abonos, los productos especiales y las enmiendas.

Abono o fertilizante: Producto cuya función principal es proporcionar nutrientes a las plantas.

Abono orgánico: Producto cuya función principal es aportar nutrientes para las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal, cuya relación se incluye en el grupo 2 del citado anexo I.

Materia prima: Cualquier ingrediente utilizado en la elaboración de un producto fertilizante.

Residuo orgánico biodegradable: Residuo o subproducto de origen vegetal o animal utilizado como materia prima, cuya descripción se incluye en el anexo IV del Real Decreto 824/2005, susceptible de transformarse por la acción de microorganismos aerobios o anaerobios y dar lugar a un tipo de enmienda orgánica.

Compostaje: Proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de materiales orgánicos biodegradables que da lugar a los tipos de enmiendas orgánicas, cuyas características se detallan el grupo 6 del anexo I.

Estiércoles: Todo excremento u orina de animales de granja, incluidas las aves, con o sin cama, el agua de lavado y restos de pienso, las aguas para la limpieza de las instalaciones de estabulación, de almacenaje de leche y de ordeño, en proceso de cambio biológico. En función del sistema de producción tendrán diferentes contenidos de agua, dando lugar a los estiércoles sólidos, semisólidos o líquidos.

Purín: Estiércol líquido con más de un 85% de humedad.

Biodigestión-Digestión anaerobia de estiércoles: Proceso de transformación biológica por el que diferentes grupos de bacterias relacionados entre ellos, en ausencia de oxígeno, degradan los compuestos orgánicos del estiércol convirtiéndolos en biogás, cuyo principal componente es el metano.

Codigestión de purines: Proceso de digestión anaerobia conjunta de purines y otros sustratos orgánicos de diferente origen, que permite aprovechar el efecto sinergia de la mezcla para maximizar el rendimiento productivo de biogás.

Zonas vulnerables: Las zonas así declaradas por las comunidades autónomas en aplicación del Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero.

Zonas de alta concentración ganadera: Aquellas donde se supera una carga de ganado intensivo, que produce purín, de 1,2 UGM por hectárea de superficie agraria de herbáceos (las equivalencias de cada categoría de porcino se estiman según el Real Decreto 324/2000).

Respecto a los distintos términos utilizados para definir el material residual resultante de la digestión anaerobia (licores, digestato, digestado o digerido), se consultó a la Real Academia Española sobre el término más correcto gramaticalmente. Su respuesta indicó:

*Digerir y digestión se emplean en sentido figurado para aludir a los procesos a los que se someten los residuos. El término que alude al resultado de dichos procesos, debe de ser, por tanto, el que corresponde morfológicamente en español, que sería el participio **digerido**, generalmente empleado como adjetivo que acompaña a*



términos como material, sólido o residuos. No sería morfológicamente correcto el calco digestado, puesto que digestar no existe en español.

La respuesta no hace referencia a “digestato”, una adaptación del término inglés “digestate”. Teniendo en cuenta el resultado de la consulta a la RAE, se utilizará el término **digerido** para nombrar dicho material residual, denominado como licores o digestato en la legislación española vigente (Real Decreto 824/2005 y Real Decreto 949/2009).



3. Introducción

3.1. Situación actual en España

Las normativas actuales sobre gestión de residuos biodegradables (Directiva 1999/31/CE, Directiva 2006/12/CE, Plan Nacional de Residuos Urbanos) establecen la necesidad de llevar a cabo tratamientos encaminados a su revalorización. Además, la necesidad actual de reducir la dependencia energética a las fuentes de origen fósil, recurso limitado y principal responsable de las emisiones de CO₂ y por tanto del calentamiento global, está favoreciendo la implantación de programas para el desarrollo de energías renovables. De este modo, en el contexto europeo países como España vienen promulgando normativas de apoyo a las instalaciones de producción de biogás en sectores con un alto potencial aún sin explotar, como por ejemplo el agroindustrial. La situación actual en España es que gran parte de la producción de biogás tiene su origen en los vertederos (72%) y considerando que la cantidad de materia orgánica depositada en ellos se va a reducir de acuerdo a la legislación vigente, deberá procederse al impulso de la digestión anaerobia de los residuos de origen agroindustrial para contribuir significativamente en la consecución de los objetivos sobre energías renovables. La producción total de subproductos agroindustriales susceptibles de ser utilizados en la producción de biogás de digestión alcanza la cifra de 79 millones de toneladas por año (94% estiércoles y purines, 0,2% harinas de residuos animales (subproductos animales no destinados a consumo humano-SANDACH) y el 5,8% a diferentes tipos de residuos vegetales y de la industria agroalimentaria), representando un potencial de generación de biogás de 1.930 millones de m³/año de acuerdo a un reciente informe de la Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos (MARM, 2010a).

En España, el interés por los procesos de digestión anaerobia como opción de tratamiento y valorización de residuos ganaderos se ha visto reflejado con la publicación del Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen

las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de Biodigestión de Purines.

Además de generar biogás, la fermentación anaerobia produce un residuo biodegradable (digerido). En general, los materiales digeridos son una mezcla que contiene agua, materia orgánica parcialmente degradada junto con la biomasa microbiana y materia inorgánica. De este modo y considerando que las tendencias legislativas en el ámbito de la gestión de los residuos se basan en la gestión integral de los mismos, se debe considerar como prioritario abordar la revalorización de los materiales digeridos producidos durante la generación del biogás, punto clave que va a determinar la viabilidad de los sistemas de producción de biogás.

Según el Catálogo Europeo de Residuos (CER) en la categoría 1906 se incluyen los residuos del tratamiento anaerobio de residuos (municipales, animales y vegetales) (Orden MAM/304/2002). La lista de residuos orgánicos biodegradables permitidos para elaborar productos fertilizantes de los grupos abonos orgánicos, abonos órgano-minerales y enmiendas orgánicas, del anexo IV del Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes incluye:

19. Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos.

1906. Residuos del tratamiento anaeróbico de residuos.

190605. Licores (“digestato”) del tratamiento anaeróbico de residuos animales y vegetales;

190606. Materiales de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos animales y vegetales.

Enmarcado dentro de la valorización de los materiales digeridos (Directiva 2006/12/CE), se considera el tratamiento de los suelos, produciendo un beneficio a la agricultura o una mejora ecológica de los mismos, y el reciclado o recuperación de sustancias orgánicas, incluidas las opciones de compostaje y otras transformaciones biológicas. El Plan de Biodigestión de Purines (Real



Decreto 949/2009) indica la necesidad de que el beneficiario se comprometa a la gestión del digerido cumpliendo con los códigos de buenas prácticas agrícolas (Real Decreto 261/1996), así como la conveniencia de disponer en las plantas de sistemas de tratamiento del digerido que mejoren la gestión del nitrógeno. Así, el destino fundamental del material digerido debe dirigirse a su uso agrícola, ya sea directamente o tras ser sometido a un proceso de separación sólido-líquido, lo que favorece el compostaje de la fracción sólida.

En comparación con otros países europeos, como Alemania, Reino Unido o Suiza, España carece de estándares que definan la calidad para el uso en agricultura de los materiales residuales procedentes de la digestión anaerobia. Este hecho constituye una gran barrera a la implantación de sistemas de producción de biogás agroindustrial.

3.2. Valorización de los materiales digeridos en la agricultura

La forma más sencilla e inmediata de valorizar cualquier residuo orgánico es su aplicación directa al suelo agrícola como fertilizante. Sin embargo, el uso inadecuado o aplicación a dosis excesivas puede suponer un riesgo de contaminación del ecosistema, incidiendo negativamente en el suelo, el agua y las plantas. De ahí que exista una legislación específica para evitar riesgos medioambientales, como la contaminación por nitratos (Directiva 91/676/CE), por metales pesados (Directiva 86/278/CE), o patógenos (Reglamento CE 1774/2002 modificado por Reglamento CE 1069/2009). Las condiciones edáficas y la hidrología de las zonas condicionan el nivel de riesgo de contaminación, lo que ha llevado a establecer los denominados “Códigos de Buenas Prácticas Agrícolas” por las diferentes Comunidades Autónomas, identificando zonas sensibles donde la aplicación de fertilizantes o materiales fertilizantes, como los residuos orgánicos, debe estar limitada y controlada.

El Dictamen del Comité Económico y Social de la UE (DCES, 2001) incide en la necesidad de un estricto control de la calidad de los productos utilizados en agricultura, con el fin de preservar la fuente de alimentación de las generaciones presentes y futuras. La aplicación directa en suelos de los

materiales digeridos procedentes de las plantas de biogás exige, por tanto, una evaluación de sus contenidos en nutrientes para el sistema suelo-planta y de la cantidad y tipo de materia orgánica que aportan como se detallará a continuación.

El valor fertilizante de estos materiales debe evaluarse no sólo respecto a su concentración total, sino también a su disponibilidad para las plantas, que incluye los procesos de transformación que se producen en el suelo, como mineralización y nitrificación del nitrógeno, o fijación de fósforo. Las características de la materia orgánica condicionan los procesos de su degradación biológica y de humificación en el suelo; así la presencia de altos contenidos de compuestos fácilmente degradables, como ácidos grasos volátiles, les confiere una escasa estabilidad microbiológica con la emisión de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera tras su adición al suelo. Además, ciertas sustancias o compuestos intermedios de la degradación, pueden resultar tóxicos para las plantas, lo que precisará de una estabilización previa a su adición al suelo o bien previa a la siembra de las especies vegetales.

3.3. Criterios exigibles de calidad

Desde el punto de vista de la valorización agrícola de los materiales digeridos, las características químicas y biológicas que presentan un mayor interés y que por tanto definen su calidad son:

- a. Contenido en materia orgánica y en nutrientes.
- b. Estabilidad (biodegradabilidad) y madurez (fitotoxicidad).
- c. Nivel de higienización.
- d. Presencia de compuestos tóxicos e impurezas.

Para ello se ha recopilado información de las siguientes fuentes: 2º borrador de la CE sobre tratamiento biológico de biorresiduos (Comisión Europea, 2001), Reglamento CE 1774/2002 del Parlamento Europeo, por el que se establecen las normas sanitarias aplicadas a los subproductos animales no destinados al



consumo humano, Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes y guías para certificar la calidad para el uso agrícola de los digeridos producidos mediante el tratamiento anaerobio de residuos orgánicos, aplicadas en Alemania (Siebert y col., 2008) y Reino Unido (BSI, 2010).

a) Contenido en materia orgánica y en nutrientes

Atendiendo al sistema de digestión anaerobia empleado, los digeridos son líquidos pero también se produce un material sólido en algunas instalaciones que disponen de sistemas de separación sólido-líquido. En las Tablas 1 y 2 se muestran las características de digeridos brutos y sólidos obtenidos de diversas fuentes. El valor fertilizante más evidente que presentan los digeridos se debe a la presencia de N-NH_4 , junto a este nutriente también son destacables los contenidos de fósforo y potasio. Este hecho constituye una fuente importante de nutrientes para la agricultura, pero se debe evitar que un uso excesivo cause problemas de contaminación (por ejemplo, de las aguas subterráneas). A tal fin, se deben definir programas de fertilización acordes con las necesidades del cultivo, teniendo en cuenta el aporte de nutrientes que realiza el digerido. Junto al contenido en elementos minerales, también cabe destacar el contenido en materia orgánica que presentan los digeridos, lo que favorece su valorización como enmiendas de suelo.

Desde el punto de vista de criterios de calidad de los materiales digeridos (Siebert y col., 2008; BSI, 2010), no se establecen límites en su contenido de nutrientes pero sí que se deben declarar parámetros tales como: densidad, materia seca (MS), materia orgánica (MO), pH, contenido en sales, N, P_2O_5 , K_2O , CaO, MgO, S, N-NH_4 , N-NO_3 , micronutrientes, Cl, Na, etc. La actual legislación en España, establece contenidos mínimos en el ámbito del registro y comercialización de fertilizantes órgano-minerales líquidos para N, P, K y carbono orgánico total.

Tabla 1. Características de los digeridos encontrados en la bibliografía.

Parámetro	Diversos sustratos orgánicos ^a	FORM ^b	Purines ^c			FORM ^d
			PC	PV	PC+PV	
MS (%)	4,8	14,2	3,0	7,4	4,9	3,9
pH	8,1	8,2	8,0	8,0	7,8	-
Sales (g/l MF)	19,8	-		-		-
MO (%)	60,7	44,8		-		64,4
C/N	3,7	10,2		-		-
N (g/kg MF)	6,1	3,0	4,0	3,9	4,2	5,4
N-NH ₄ (g/kg MF)	-	1,6	3,0	1,5	2,2	3,8
P ₂ O ₅ (g/kg MF)	1,7	1,8	2,0	1,4	1,9	1,1
K ₂ O (g/kg MF)	2,1	4,5	-	5,1	3,3	1,7
CaO (g/kg MF)	-	7,3		-		-
MgO (g/kg MF)	0,2	2,3		-		-

n=número de muestras. FORM: fracción orgánica de residuos municipales, MS: materia seca, MO: materia orgánica, N: nitrógeno total y MF: materia fresca.

^aSiebert y col. (2008): muestras de digeridos (n=167) producidos en plantas alemanas; ^bEdelmann y col. (2004): n=13; ^cChadwick (2007) y Smith y col. (2007): cerdo (PC, n=1), vacuno (PV, n=28) y mezcla (n=6), y ^dPalm (2008): n=7.

Tabla 2. Características de los digeridos sólidos (fracción sólida separada) encontrados en la bibliografía.

Parámetro	Diversos sustratos orgánicos ^a	Diversos sustratos orgánicos ^b	Estiércol vacuno ^c	Gallinaza ^d
MS (%)	32,6	53,1	-	-
pH	8,0	8,5 (1:2)	7,5 (1:25)	8,5 (1:25)
Sales (g/l MF)	4,1	9,7	CE: 2,0 dS/m (1:25)	CE: 1,7 dS/m (1:25)
MO (%)	57,1	50,3	72,2	39,1
C/N	12,3	-	-	-
N (% MS)	2,9	1,5	2,4	1,5
P ₂ O ₅ (% MS)	1,3	0,8	3,4	5,3
K ₂ O (% MS)	0,9	2,9	4,4	2,7
CaO (% MS)	-	6,5	3,7	6,1
MgO (% MS)	0,9	1,1	1,3	1,0

n=número de muestras. MS: materia seca, MF: materia fresca, CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica y N: nitrógeno total.

^aSiebert y col. (2008): muestras de digeridos (n=43) producidos en Alemania; ^bFuchs y col. (2008): muestras de digeridos producidos en Suiza y ^{c y d}Sánchez y col. (2008).



b) Estabilidad y madurez

La estabilidad microbiana está asociada a la presencia de compuestos fácilmente degradables que provocan una rápida activación de las poblaciones microbianas, mientras que la madurez se refleja por la ausencia de efectos fitotóxicos. Los diversos parámetros utilizados para su caracterización son: físicos (por ejemplo el olor), la identificación de constituyentes fácilmente biodegradables (presencia de ácidos orgánicos, azúcares sencillos, etc.), estudios respirométricos (O_2 consumido o CO_2 desprendido, directamente o mediante incubaciones en el suelo), químicos (pH, relación C/N, demanda química de oxígeno, carácter húmico de su materia orgánica, etc.) y biológicos (estudios de fitotoxicidad o ensayos de crecimiento).

Durante la digestión anaerobia, la fracción lábil de la materia orgánica (fácilmente disponible para los microorganismos) es degradada, lo que conlleva un incremento de la estabilidad del material digerido respecto al residuo original. Así, se han referenciado reducciones en el contenido de materia orgánica de entre el 50 y el 70% tras procesos de digestión anaerobia aplicados a diversos sustratos orgánicos (Chadwick, 2007; Gómez y col., 2007; Schievano y col., 2008), lo que conlleva directamente importantes reducciones en parámetros tales como la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), indicando una mayor estabilidad del digerido.

Sin embargo, si el proceso anaerobio no agota en su totalidad dicha materia orgánica lábil del sustrato (por ejemplo ácidos orgánicos volátiles) se obtienen materiales finales inestables que pueden provocar efectos negativos sobre el sistema suelo-planta. La adición de materiales digeridos altamente inestables al suelo provoca una rápida activación microbiana que produce un alto desprendimiento de CO_2 (con el consiguiente consumo de oxígeno) y en el peor de los casos inmovilización microbiana de nitrógeno, desnitrificación y producción de compuestos fitotóxicos, lo que limitaría su uso en agricultura. Además, el almacenamiento de estos materiales es problemático (malos olores, producción de compuestos tóxicos y crecimiento de patógenos). Por tanto, con el objetivo de garantizar un uso óptimo y seguro de los materiales procedentes de procesos de digestión anaerobia, un mínimo grado de estabilidad (baja

biodegradabilidad) y la ausencia de propiedades fitotóxicas son requisitos que deben de verificar.

Sin embargo, la medida del grado de estabilidad (biodegradabilidad) es el parámetro menos consensuado en la bibliografía. Así, el borrador de la directiva de la CE relativa al tratamiento biológico de biorresiduos (Comisión Europea, 2001), propone como parámetros de estabilidad el índice respirométrico dinámico ($< 1000 \text{ mg O}_2/\text{kg MO/h}$) o el consumo acumulado de oxígeno en 4 días ($< 10 \text{ mg O}_2/\text{g MS}$). Mientras que los procedimientos de certificación de la calidad del digerido, en Alemania establecen que el contenido total de ácidos orgánicos no debe superar los 4.000 mg/l (o kg) de materia fresca (Siebert y col., 2008), mientras que en el Reino Unido establecen un valor límite para el contenido de ácidos grasos volátiles de $0,43 \text{ g DQO/g MO}$ y una producción de biogás residual inferior a $0,25 \text{ l/g}$ de materia orgánica (BSI, 2010).

c) Nivel de higienización

Desde el punto de vista higiénico-sanitario, los requerimientos que un material digerido debe cumplir son muy estrictos de acuerdo a la legislación Europea (Reglamento CE 1774/2002 que será sustituido por el Reglamento CE 1069/2009 a partir del 4 de marzo de 2011; Reglamento CE 208/2006) por el que se establecen las normas sanitarias aplicadas a los subproductos animales no destinados al consumo humano como son estiércoles, subproductos animales, etc. El borrador de directiva de la CE relativa al tratamiento biológico de biorresiduos (Comisión Europea, 2001) también propone que se cumplan unas condiciones de higienización durante el proceso (tiempo y temperatura), que sólo pueden alcanzarse mediante una digestión anaerobia termófila ($55 \text{ }^\circ\text{C}$), un compostaje adicional o un tratamiento térmico del biorresiduo ($70 \text{ }^\circ\text{C}$) durante 1 hora. De forma similar, se establecen condiciones para la higienización de los digeridos como parte de las normas para la certificación de estos productos (BSI, 2010; Siebert y col., 2008), actuando principalmente a tres niveles: manejo del proceso de digestión anaerobia (temperaturas termófilas,



tiempo de retención, etc.), pre- o post-tratamientos (pasteurización, etc.) y la calidad del producto final.

En España, el Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes especifica: 1) “la materia prima transformada, lista para ser usada como ingrediente de abonos orgánicos de origen animal, debe ser sometida a un proceso de higienización que garantice que su carga microbiana no supera los valores máximos establecidos en el Reglamento CE 1774/2002”, y 2) “en los productos fertilizantes de origen orgánico, se acreditará que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos: *Salmonella* (ausente en 25 g de producto elaborado) y *Escherichia coli* (< 1000 número más probable por gramo de producto elaborado)”. En el caso concreto de los materiales digeridos, dependiendo del origen de las materias primas y de su carga contaminante, un adecuado control del proceso anaerobio de acuerdo a la normativa permite obtener productos perfectamente higienizados. En caso contrario, es necesaria la aplicación de tratamientos adicionales (pasteurización, compostaje, etc.) para la inactivación de patógenos y de semillas de malas hierbas hasta alcanzar los niveles de seguridad establecidos en la legislación.

d) Presencia de productos tóxicos e impurezas

Existen criterios de concentración de metales pesados en productos destinados a un uso agrícola que determinan su clase (Tabla 3) y las limitaciones para su aplicación en el suelo. Sin embargo la información recogida en distintas fuentes bibliográficas sobre analíticas de digeridos indican que estos cumplen con los límites establecidos, tanto por la legislación sobre productos fertilizantes como por los estándares de calidad.

Aunque no se va a tratar en esta guía, los materiales digeridos pueden contener productos tóxicos de naturaleza orgánica tales como residuos de plaguicidas, bifenilos policlorados-PCBs, hidrocarburos aromáticos policíclicos-PAHs, etc. dependiendo del origen de la materia prima empleada en los procesos de digestión anaerobia (industrial, municipal, agrícola, etc.). Este aspecto ha sido

estudiado en menor profundidad que el relacionado con los metales pesados, pero en la actualidad se pueden encontrar estudios que evalúan la incidencia de este tipo de contaminantes en digeridos y otros materiales como por ejemplo compost (Kupper y col., 2008).

Tabla 3. Concentraciones máximas de metales pesados en productos destinados a la agricultura (mg/kg MS).

Clase	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg	Referencia
1	100	0,7	100	100	50	200	0,5	Comisión Europea (2001)
2	150	1,5	150	150	75	400	1,0	
A	45	0,7	70	70	85	200	0,4	Real Decreto 824/2005
B	150	2,0	250	300	90	500	1,5	Sólidos (mg/kg MS)
C	200	3,0	300	400	100	1000	2,5	Líquidos (mg/kg MF)
-	150	1,5	100	100*	50	400*	1,0	Siebert y col. (2008)
-	200	1,5	100	200	50	400	1,0	BSI (2010)

*permitidos concentraciones más altas, si proceden de estiércoles. MS: materia seca y MF: materia fresca.

La presencia en el digerido de otros contaminantes en forma de impurezas de tipo físico (plástico, vidrio, metales, etc.) también está regulada, estableciéndose como criterio de calidad y limitando su contenido máximo (Comisión Europea, 2001; Real Decreto 824/2005; Siebert, 2008; BSI, 2010). Una correcta separación en origen de la materia prima empleada evita la presencia de este tipo de impurezas en los materiales digeridos.



4. Caracterización y variabilidad de los digeridos

En el marco del Proyecto Singular Estratégico PROBIOGAS “*Desarrollo de sistemas sostenibles de producción y uso de biogás agroindustrial en España*”, concretamente en los subproyectos 3 y 8 (ref.: PSS-120000-2008-58 y -65), se caracterizaron un total de 24 muestras de materiales digeridos brutos. Los digeridos procedieron de procesos de codigestión anaerobia, tanto procesos industriales, como de ensayos en discontinuo y en continuo realizados para optimizar la producción de biogás (subproyecto 2 del citado PSE PROBIOGAS). El sustrato base mayoritario en los digeridos fue purín de cerdo o de vacuno y los cosustratos empleados: residuos de cultivos energéticos, residuos cárnicos, glicerina y residuos agroindustriales. Así se han agrupado en 4 tipos en función de su origen:

- Grupo 1: Purín de cerdo con residuos de cultivos energéticos (colza, girasol y maíz);
- Grupo 2: Purín de cerdo con subproductos animales (residuos de matadero pasteurizados y lodo de depuración de aguas residuales de matadero);
- Grupo 3: Purín vacuno con glicerina;
- Grupo 4: Purín vacuno con residuos agroindustriales (cáscara de naranja y ensilado de maíz).

4.1. Características físico-químicas, contenido en materia orgánica y nutrientes

Las características físico-químicas de los digeridos están muy condicionadas por los materiales de origen empleados en la digestión anaerobia (sustrato base y cosustratos), mostrando una gran variabilidad en la mayoría de parámetros analizados (Tabla 4). Todos los digeridos analizados muestran contenidos de materia seca inferiores al 13%, siendo clasificados como productos líquidos. La mayoría de las muestras se caracterizan por valores de pH ligeramente alcalinos (> 7,5), mientras que las procedentes de mezclas purín vacuno+glicerina son ligeramente ácidas. Valores ácidos de pH pueden ser indicativos de una alta

inestabilidad del digerido asociado a la presencia de ácidos orgánicos volátiles. La tendencia normal en la evolución del pH durante la digestión anaerobia es un aumento debido a la degradación de los ácidos orgánicos y a la producción de amoníaco. Sin embargo, esta evolución puede estar condicionada por la adición de bases o carbonatos para mantener los valores de pH en intervalos óptimos para el proceso de digestión anaerobia.

Tabla 4. Caracterización de los materiales digeridos a partir de purines de porcino y vacuno en codigestión con diferentes residuos (datos expresados sobre peso fresco de digerido). Resultados del proyecto PROBIOGAS, subproyecto 3 Valorización agronómica del digerido.

Parámetro	Media	Mediana	Intervalo		CV (%)
			min	max	
DBO ₅ (g O ₂ /l)	19,8	6,4	1,2	62,5	110,8
Humedad (%)	95,2	96,2	87,3	98,5	3,2
pH	7,3	7,8	5,6	8,2	10,7
Conductividad eléctrica (dS/m)	16,1	14,0	5,2	30,8	45,0
Materia orgánica total (g/kg)	35,4	24,7	8,5	97,3	69,9
Carbono orgánico total (g/kg)	22,3	13,5	5,8	70,5	80,1
Carbono orgánico disuelto (g/kg)	8,8	4,0	0,9	27,6	99,0
Nitrógeno total (g/kg)	2,6	2,5	0,6	4,9	38,6
Relación C/N	9,1	7,5	1,5	23,3	70,3
N-NH ₄ (g/kg)	1,5	1,1	0,4	3,5	59,1
Fósforo total (mg/kg)	511	437	75	1242	60,9
Potasio total (mg/kg)	1948	1762	848	3133	37,4
Azufre total (mg/kg)	271	243	48	680	51,7
Calcio total (mg/kg)	1632	1457	192	4176	59,4
Magnesio total (mg/kg)	378	344	67	721	44,5
Sodio total (mg/kg)	888	712	66	1842	62,3
Cloruros (mg/kg)	947	746	366	2120	57,1
Hierro (mg/kg)	129	115	22	323	67,2
Manganeso (mg/kg)	15	15	3	31	51,3
Cobre (mg/kg)	9	10	1	17	55,3
Cinc (mg/kg)	32	28	8	140	91,8
Boro (mg/kg)	4	3	1	11	63,1
Cadmio (mg/kg)			<0,01	0,02	
Cromo (mg/kg)			<0,1	4,0	
Níquel (mg/kg)			<0,05	2,6	
Plomo (mg/kg)			<0,1	1,3	

CV: coeficiente de variación.



Los valores de conductividad eléctrica son relativamente altos, especialmente en las muestras procedentes de purín de cerdo (Tabla 4). Un alto contenido en sales solubles en los digeridos puede incidir negativamente sobre el desarrollo de los cultivos, siendo conveniente controlar la concentración de cloruros y de sodio aportadas, principalmente cuando el digerido proviene de purín porcino. La carga orgánica de los digeridos varía de forma importante entre las muestras analizadas. Las muestras procedentes de mezclas purín vacuno+glicerina poseen el mayor contenido de materia seca, materia orgánica y carbono orgánico total y disuelto. Como resultado, la relación entre el carbono orgánico total y el nitrógeno total es claramente superior en estas muestras (> 9).

Respecto al contenido de nutrientes, un importante valor fertilizante se asocia a la presencia de nitrógeno en forma amónica en alta concentración, especialmente en aquellos digeridos procedentes de purín de cerdo. Esta forma de nitrógeno puede perderse fácilmente por volatilización como amoniaco durante el almacenamiento y la aplicación agrícola, debido al pH alcalino de los digeridos. Para evitar la pérdida de valor fertilizante y un impacto negativo sobre el medio ambiente, es necesario adoptar buenas prácticas de manejo y uso del digerido, principalmente durante dichas operaciones de almacenamiento y aplicación. Por otra parte, esta forma de nitrógeno es rápidamente nitrificada en el suelo bajo condiciones favorables, siendo la forma nítrica rápidamente asimilable para los cultivos. Sin embargo, también es muy soluble, por lo que aplicaciones excesivas de digerido pueden suponer un riesgo de lixiviación y contaminación de acuíferos. Por tanto, debe evitarse aplicaciones excesivas, principalmente en zonas vulnerables, y será de aplicación la legislación correspondiente a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos de origen agrícola (Real Decreto 261/1996).

Los materiales digeridos también poseen contenidos apreciables de fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes, lo que constituye una fuente importante de nutrientes para los sistemas de producción agrícola. Esto debe tenerse en cuenta en los programas de fertilización, ajustando la aplicación a las necesidades del cultivo con el objetivo de evitar sobre-fertilización y por tanto problemas de contaminación mencionados anteriormente.

La variabilidad mostrada por los parámetros analizados (elevados coeficientes de variación), resulta consecuente con la gran cantidad de factores que influyen y determinan la composición del digerido (materias primas empleadas, manejo del proceso, pre- y post-tratamientos, etc.). Este hecho hace recomendable un estudio de la composición particular de cada muestra como información previa a su utilización agrícola.

Se ha demostrado un alto grado de asociación entre ciertas variables, tales como la materia seca (MS) y el contenido de carbono orgánico total, calcio y hierro por una parte, y por otra entre la conductividad eléctrica (CE) y N total, N-NH₄, K, Zn y Cl. Este hecho permite obtener ecuaciones (Tabla 5) para estimar rápidamente, a partir de parámetros de fácil análisis (MS y CE), varios parámetros cuya determinación es tediosa y requieren de instrumental analítico más complejo. Estos parámetros básicos (MS y CE), junto con la biodegradabilidad (carbono orgánico disuelto y demanda bioquímica de oxígeno, ver apartado estabilidad biológica y grado de madurez) ofrecen una clara imagen de la calidad del material digerido.

Tabla 5. Ecuaciones lineales obtenidas entre la materia seca y la conductividad eléctrica de los materiales digeridos con su composición en nutrientes ($y=Ax+B$, $n=12$).

y	x	A	B	r
Log COT		1,176***	-0,708**	0,946***
Ca	Log MS	3,807***	-4,286**	0,856***
Fe		289,6**	-318,4*	0,789**
N		0,141***	0,117 ^{NS}	0,973***
N-NH ₄		0,124***	-0,431*	0,984***
K	CE	0,084***	0,543 ^{NS}	0,875***
Log Zn		0,037*	0,764*	0,814**
Cl		0,070***	-0,144 ^{NS}	0,968***

n=número de muestras. COT: carbono orgánico total, N: nitrógeno total, MS: materia seca, N-NH₄, K, Ca y Cl en g/l; Fe y Zn en mg/L de digerido y CE: conductividad eléctrica en dS/m.

NS: no significativo; *, ** y ***: Significativo a $P<0,05$, $0,01$ y $0,001$, respectivamente.

Comparando la composición de los digeridos con los requerimientos exigidos para fertilizantes órgano-minerales líquidos nitrogenados (N), binarios (NP, NK,



PK) y ternarios (NPK) por la normativa estatal vigente (Real Decreto 824/2005 y Orden APA/863/2008), se obtienen unos valores de N total: 0,06-0,49%; P_2O_5 : 0,02-0,28%; K_2O : 0,10-0,38%. Por todo ello se puede decir que:

- Los materiales digeridos estudiados poseen un contenido en nutrientes (N, P_2O_5 , K_2O) inferior a los exigidos por la normativa estatal vigente. Por tanto, aunque estos materiales están incluidos en el anexo IV de residuos orgánicos biodegradables para la preparación de productos fertilizantes, se deben “mezclar/combinar” con abonos minerales hasta llegar a alcanzar los niveles mínimos de nutrientes exigidos que deberán garantizarse, como indica la legislación aplicable.
- El principal inconveniente radica en que solamente algunos de los digeridos estudiados (el 22%) tuvieron un contenido en carbono orgánico total (COT) igual o superior al 4%, nivel mínimo exigido por la normativa estatal aplicable. La búsqueda de otros productos orgánicos líquidos con los que mezclar los digeridos y elevar así su valor fertilizante orgánico no se justifica técnica ni económicamente.
- Además, los digeridos con $COT > 4\%$ coinciden con los materiales con mayor inestabilidad biológica, lo que lleva a una elevada producción de CO_2 en el suelo tras su aplicación y a fenómenos de inmovilización de nitrógeno, lo que requiere un periodo de estabilización antes de su aplicación agrícola.
- Los digeridos que se destinen a la preparación de productos fertilizantes deben cumplir los requisitos de calidad incluidos en el anexo V del citado Real Decreto 824/2005 (porcentaje de N orgánico, humedad, granulometría, límite máximo de microorganismos y límite máximo de metales pesados), teniendo en cuenta las limitaciones de uso especificadas.
- La inclusión de una nueva tipología de material fertilizante a base de digerido ha de considerarse como una opción de futuro, con requerimientos de COT y nutrientes que se adapten mejor a la composición de los materiales digeridos. En la situación actual, la

aplicación agrícola del digerido debe considerarse como una opción de valorización de dichos materiales residuales.

4.2. Estabilidad biológica y grado de madurez

La estabilidad de los digeridos se evaluó mediante la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno referenciada a 5 días (DBO_5). Este parámetro se usa como medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en muestra líquida y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia; y por tanto, representa una medida de la carga orgánica y de la estabilidad de ésta (biodegradabilidad). Este parámetro es ampliamente utilizado en el campo de las aguas residuales pero también existen referencias de su empleo en purines (APHA, 2005; Brookman, 1997).

Los materiales digeridos caracterizados muestran una gran variabilidad en el grado de estabilidad de su carga orgánica como puede observarse en los valores de DBO_5 (Tabla 4). Excepto en el caso de las mezclas purín vacuno+glicerina, el resto de materiales estudiados están en el orden de los valores encontrados en materiales digeridos procedentes de mezclas con purín, considerando que estos presentan valores que oscilan entre 10-80 g O_2/l (Brookman, 1997) y que la digestión anaerobia puede reducirlos en torno a un 70% (Smith y col., 2007). Así se observan dos comportamientos claramente diferenciados, las muestras procedentes de mezclas purín vacuno+glicerina presentan valores de DBO_5 muy superiores (11-63 g O_2/l) en comparación con el intervalo de valores mostrado por el resto de muestras (1-7 g O_2/l). Esta clara diferencia se relaciona directamente con la alta concentración de carbono orgánico disuelto, por lo que la cantidad de materia orgánica e inestabilidad de los digeridos procedentes de la codigestión con glicerina es muy superior a los valores encontrados en el resto de digeridos.

Aunque no se han fijado valores de referencia que definan la calidad de los materiales orgánicos empleados con fines agrícolas en términos de DBO , en



este estudio se establece una comparación con los definidos en el ámbito de los residuos orgánicos sólidos basados en técnicas respirométricas. Éstas se basan en el hecho de que en un material no estabilizado, la presencia de materia orgánica lábil va a ser degradada por los microorganismos, viéndose esta actividad reflejada en un mayor consumo de O_2 . De este modo se establecen límites en función de la velocidad de consumo de oxígeno durante el periodo de máxima actividad ($mg\ O_2/g\ DM/h$), o como consumo acumulado en un tiempo determinado ($mg\ O_2/g\ DM$). Considerando la clasificación basada en datos de consumo de oxígeno durante el periodo de 24 horas de máxima actividad (Ponsá y col., 2010): los materiales digeridos grupo 4 muestran una baja biodegradabilidad ($< 2\ mg\ O_2/g\ DM/h$), aquellos procedentes de 1 y 2 entre baja y moderadamente biodegradables ($2-5\ mg\ O_2/g\ DM/h$) y finalmente 3 presentan una elevada biodegradabilidad ($> 5\ mg\ O_2/g\ DM/h$). Estos últimos muestran valores claramente influenciados por el manejo del proceso de codigestión (% de glicerina añadido, tiempo de retención y temperatura). Recientes estudios han comparado la estabilidad de materiales orgánicos antes y después de su digestión anaerobia, así los valores encontrados en digeridos brutos procedentes de mezclas purín vacuno-glicerina (grupo 3) son comparables a materiales frescos no digeridos y por tanto altamente biodegradables.

La consecuencia más inmediata de una baja estabilidad del digerido es que su materia orgánica se degrada rápidamente en el suelo tras su aplicación agrícola. Su adición al suelo provoca una rápida activación de la actividad microbiana, presentando elevadas tasas de respiración (producción de CO_2) que pueden conducir a condiciones de hipoxia/anoxia a nivel radicular y producción de sustancias fitotóxicas. Además, la intensa actividad microbiana demanda un alto consumo de nitrógeno lo que puede llevar a la inmovilización del nitrógeno inorgánico en el suelo, que puede causar una deficiencia nutricional para las plantas. Por tanto, la digestión anaerobia no asegura la estabilidad del digerido obtenido, siendo necesario en los casos más desfavorables (mayor biodegradabilidad) un tratamiento posterior para su estabilización y así obtener el máximo beneficio agrícola y medioambiental.

Los ensayos de tipo biológico permiten evaluar la actividad, presencia y calidad biótica del digerido, lo que se realiza mediante ensayos de fitotoxicidad de corto y largo alcance (test de germinación y de crecimiento). En general, el índice de germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas está influido por la presencia en los digeridos de compuestos inorgánicos y orgánicos de carácter fitotóxico. Se ha observado que la fitotoxicidad de los digeridos se debe, principalmente, a su elevada salinidad y a su alto contenido de N en forma amónica, causando la inhibición de la germinación cuando se aplican directamente sobre las semillas. Las condiciones para la germinación y crecimiento mejoran a partir de una dilución del 20% en algunos casos, mientras que una dilución del 10% es necesaria para el uso de la mayor parte de los digeridos. Sin embargo cuando los digeridos se aplican diluidos con agua de riego en proporción $< 20\%$ se produce el máximo crecimiento de las plantas con un beneficio nutricional evidente.

Todo ello implica unos ciertos requerimientos en la aplicación de los materiales digeridos, evitando su aplicación directa sobre semillas o plántulas jóvenes, pero que permite su uso diluido con agua de riego para el aprovechamiento de sus nutrientes. La aplicación sin diluir requiere que se realice sobre suelo sin planta, con cierta anticipación a la siembra, de forma que se produzca la estabilización del material en el suelo.

A modo de conclusión, la composición y grado de estabilidad de los materiales digeridos evaluados presentan una alta variabilidad. Desde el punto de vista agrícola, la aplicación de estos materiales provoca grandes diferencias en su potencial fertilizante, condicionado por la cantidad de nitrógeno aportada en formas disponibles así como por la estabilidad de su materia orgánica. En base a los resultados obtenidos en el proyecto PROBIOGAS, propiedades tales como el carbono orgánico disuelto (COD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) caracterizan adecuadamente su biodegradabilidad, y junto a la relación con respecto al contenido total de nitrógeno (N) definen el potencial fertilizante de los mismos. De este modo, materiales altamente biodegradables no resultan adecuados para su uso agrícola de forma directa, ya que provocan una elevada producción de CO_2 , inmovilización de nitrógeno y desnitrificación en el suelo,



reduciendo considerablemente su potencial fertilizante de nitrógeno, siendo necesario un proceso de estabilización previo a su uso.

4.3. Nivel de higienización

El proceso de digestión anaerobia supone una disminución muy importante en la carga de microorganismos coliformes, con un contenido de *E. coli* inferior a 1000 NMP/g, con independencia del cosustrato de digestión utilizado. Sin embargo, la principal limitación en cuanto a la posible utilización del digerido como fertilizante viene impuesta por la presencia de *Salmonella* sp. Este hecho es frecuente en los procesos de codigestión que se desarrollan en intervalos de temperatura mesófilos y sin tratamientos posteriores de higienización. Por lo que para garantizar la higienización del digerido es necesario realizar un post-tratamiento antes de su aplicación agrícola, o bien la modificación del proceso, que permita el desarrollo de temperaturas termófilas, tal y como especifica el borrador de directiva de la CE relativa al tratamiento biológico de biorresiduos. La higienización de los materiales a utilizar como fertilizantes es un requisito imprescindible, según se desprende de la legislación vigente.

Dentro de los tratamientos del digerido para asegurar la higienización se puede realizar una pasteurización posterior a la digestión anaerobia, realizar una fase del proceso anaerobio en fase termófila o tratamiento aerobio posterior mediante compostaje. La pasteurización asegura la completa eliminación de los microorganismos patógenos. El compostaje de la fracción sólida del digerido (ver apartado compostaje, p. 46) se presenta como una alternativa viable para obtener un material final higienizado, con valores de *E. coli* inferiores a 1000 NMP/g y ausencia de *Salmonella* sp., todo ello debido las temperaturas termófilas que se alcanzan durante el proceso.

4.4. Presencia de impurezas y elementos tóxicos

La propia naturaleza de los materiales digeridos hace que no se encuentren impurezas como restos de metales, vidrios o piedras, como podría suceder en los residuos sólidos urbanos. Sin embargo, la presencia de metales pesados podría limitar su utilización.

En los análisis realizados sobre los digeridos procedentes de residuos agroalimentarios y ganaderos, se observa bajo nivel de metales pesados en la mayor parte de los digeridos (Tabla 4): Ni (n=8, 6-36 mg/kg MS), Pb (n=8, 7-46 mg/kg MS), Cr (n=3, 3-55 mg/kg MS) y Cd (n=6, 0,1-1,0 mg/kg MS). Los valores no superan en ningún caso los límites establecidos por la legislación española sobre fertilizantes y los estándares de calidad para la producción y uso de materiales digeridos. Estos resultados son similares a los obtenidos en estudios previos realizados por Edelman y col. (2004), Palm (2008), Schievano y col. (2008) y Siebert y col. (2008) en materiales digeridos procedentes de distintos sustratos orgánicos.

Sin embargo, los valores más elevados se presentan respecto a cobre y cinc, especialmente en las muestras procedentes de los digeridos de purín porcino, debido a que se utilizan compuestos de dichos elementos en la ganadería. No obstante, los valores encontrados no superan los límites exigibles en el anexo V del Real Decreto 824/2005 para productos fertilizantes líquidos elaborados con residuos. Se aconseja, de todas formas, un control estricto de dichos elementos, junto a cloruro y sodio, también detectados en altas concentraciones en alguno de los digeridos. Este hecho hace necesario en estos casos un control de las dosis de aplicación para evitar una progresiva acumulación de estos elementos en el suelo o su salinización.

4.5. El digerido como sustitutivo de fertilizantes minerales: Evaluación económica

Un modo de conocer el potencial económico del digerido es realizar un cálculo estimativo del valor económico de los elementos fertilizantes y la materia



orgánica contenidos en el digerido bruto. Para ello se han tenido en cuenta las características del digerido que se puede considerar “típico”, representado por los valores medianos de los distintos parámetros analizados (Tabla 4) y los costes de los fertilizantes más comunes (Tabla 6).

Los datos de precio (€/UF) se han calculado a partir de los costes encontrados en el anuario de estadística del MARM (2010b) para nitrato amónico (N), superfosfato de cal (P_2O_5) y sulfato de potasio (K_2O). El precio de la materia orgánica se ha estimado en base a los datos indicados por un proveedor de estiércol de vacuno. Así el cálculo estimativo indica que el valor del digerido se sitúa por término medio en 7,5 €/m³ (Tabla 7), por lo que los costes de aplicación y transporte no deben ser superiores para que al uso del digerido sea rentable.

Tabla 6. Precios medios anuales de los fertilizantes pagados por los agricultores (euros/100 kg) (datos de 2009; MARM, 2010b).

Clase de fertilizante	Contenido de elemento fertilizante	Euros
Nitrogenados	N (%)	
Nitrato amónico-cálcico	20,5	27,35*
Nitrato amónico-cálcico	26	23,82
Nitrato amónico	33,5	34,35
Nitrosulfato amónico	26	28,39
Sulfato amónico	21	21,48
Urea	46	32,73
Fosfatados	P_2O_5 (%)	
Superfosfato de cal	18	23,71
Potásicos	K_2O (%)	
Sulfato potásico	50	67,67
Compuestos	N-P_2O_5-K_2O (%)	
DAP (Fosfato diamónico)	18-46-0	45,27
N:P:K	0-14-7	25,41
N:P:K	7-14-7	28,74*
N:P:K	8-15-15	32,16
N:P:K	8-24-8	39,16
N:P:K	9-18-27	38,59
N:P:K	12-24-8	39,84
N:P:K	15-15-15	40,05

* datos de 2008.

Tabla 7. Cálculo estimativo del valor económico de los elementos fertilizantes y la materia orgánica contenidos en el digerido (según valores de la mediana, Tabla 4).

Elemento fertilizante	1000 l de digerido	Precio (€/ UF)	Valor económico (€/1000 l)
Nitrógeno (UF N)	2,50	1,0254	2,56
Fósforo (UF P ₂ O ₅)	1,001	1,3172	1,32
Potasio (UF K ₂ O)	2,123	1,3534	2,87
Materia orgánica (kg MO)	24,70	0,03	0,74
TOTAL			7,49

Además, mediante el balance económico se determina la viabilidad económica de la aplicación de distintos manejos a un cultivo determinado. Para la evaluación de la viabilidad hace falta tener en cuenta los costes realizados y los ingresos producidos por el cultivo:

$$\text{BALANCE} = \text{INGRESOS} - \text{GASTOS}$$

En el apartado de gastos se contabilizarán los siguientes conceptos:

- labores preparatorias del terreno;
- fertilizantes (gasto y aplicación) ;
- semillas/plántulas/plantones;
- labores de siembra/trasplante;
- tratamientos fitosanitarios;
- riego (gasto de agua, energía y mantenimiento) ;
- labores de recolección;
- labores de retirada/incorporación de cosecha/poda de árboles.

En el apartado de ingresos habrán de contabilizarse:

- venta de la producción (hortalizas, frutas, semillas, etc.);
- subvenciones (si las hay).

Cuando se trate, como es el objeto de la presente guía, de ver el posible ahorro en fertilizantes por la aplicación de los digeridos hay que realizar una



comparativa entre el balance que obtenemos con la aplicación de los fertilizantes convencionales y el que obtenemos con la aplicación de los digeridos.

A continuación se presentan ejemplos de ensayos de aplicación de digeridos frente a fertilizantes convencionales en dos escenarios: la aplicación del digerido bruto y del digerido sólido; sobre distintos cultivos: hortícolas, frutales y cultivos energéticos.

a) Digerido en cultivos hortícolas

Se va a considerar la aplicación de digerido como potencial fertilizante órgano-mineral en dos cultivos hortícolas, uno de verano (sandía) y otro de invierno (coliflor), realizados al aire libre, comparando con los tratamientos de fertilización mineral y orgánico.

Cultivo de verano: sandía

Los aportes nutricionales en el abonado de fondo son:

Abono mineral: 95 kg de N, 95 kg de P_2O_5 y 95 kg de K_2O por hectárea, aportadas mediante 625 kg/ha de complejo 15-15-15. Abonado complementado a través del agua de riego con 410 kg/ha de nitrato amónico 34,5% y 280 kg/ha de sulfato potásico.

Abono orgánico: utilizando estiércol vacuno (22.500 kg/ha) que aporta 250 kg de N, 55 kg de P_2O_5 y 160 kg de K_2O por hectárea. Abonado complementado con 45 l/ha de ácido fosfórico 75% y 150 kg/ha de sulfato potásico, aplicados con el agua de riego.

Digerido: digerido bruto (60.000 l/ha) que aporta 250 kg de N, 40 kg de P_2O_5 y 140 kg de K_2O por hectárea. Abonado complementado con 65 l/ha ácido fosfórico 75% y 190 kg/ha sulfato potásico.

En el balance económico solo se tienen en cuenta los costes de los fertilizantes, pues el resto de tareas se consideran las mismas para todos los tratamientos, suponiendo una producción similar en los tres tratamientos fertilizantes que se

comparan (Tabla 8). Los costes del digerido serán muy variables en función de la distancia existente entre la planta de digestión anaerobia y la zona de cultivo. La eliminación o reducción de dicho coste resulta fundamental para obtener un beneficio por la utilización del digerido. Para obtener el mismo coste que los gastos ocasionados por la utilización del fertilizante mineral, el coste del digerido no debe superar los 390 €, lo que supone una distancia máxima de 200 km desde el lugar de producción del digerido hasta el lugar de utilización. Por ello, parece factible obtener un ahorro económico por la utilización del digerido en el cultivo de sandía.

Tabla 8. Coste de los productos fertilizantes en los distintos tratamientos para sandía.

Abono mineral			
Fertilizante	Aplicación en el cultivo (kg/ha)	Precio (€/kg)	Coste (€/ha)
Complejo 15-15-15	625	0,355	221,875
Nitrato amónico (34,5-0-0)	410	0,33	135,30
Sulfato potásico (50% K ₂ O)	280	0,67	187,60
Coste total (€/ha)			544,775
Abono orgánico			
Fertilizante	Aplicación en el cultivo (kg/ha)	Precio (€/kg)	Coste (€/ha)
Estiércol vacuno	22.500	0,021	472,50
Ácido fosfórico (75% P ₂ O ₅)	45	0,41	18,45
Sulfato potásico (50% K ₂ O)	150	0,67	100,50
Coste total (€/ha)			591,45
Digerido			
Fertilizante	Aplicación en el cultivo (kg/ha)	Precio (€/kg)	Coste (€/ha)
Digerido	60.000	*	*
Ácido fosfórico (75% P ₂ O ₅)	65	0,41	26,65
Sulfato potásico (50% K ₂ O)	190	0,67	127,30
Coste total (€/ha)			153,95

* Corresponde al coste del transporte y asumiendo coste de digerido cero.



Cultivo de invierno: coliflor

Los aportes nutricionales en el abonado del cultivo de coliflor son:

Abono mineral: 95 kg de N, 95 kg de P_2O_5 y 95 kg de K_2O por hectárea, aportadas mediante 625 kg/ha de complejo 15-15-15. Abonado complementado con fertirrigación con 450 kg/ha de nitrato amónico 34,5% y 315 kg/ha de sulfato potásico.

Abono orgánico: estiércol de vacuno (25.000 kg/ha) que aporta 250 kg de N, 82 kg de P_2O_5 y 235 kg de K_2O por hectárea. Abonado complementado con fertirrigación con 15 l/ha de ácido fosfórico 75% y 30 kg/ha de sulfato potásico.

Digerido: digerido bruto (62.500 l/ha) que aporta 250 kg de N, 10 kg de P_2O_5 y 75 kg de K_2O por hectárea. Abonado complementado con 100 l/ha ácido fosfórico 75% y 350 kg/ha sulfato potásico.

Aplicando los precios de dichos fertilizantes correspondientes al 2009 y considerando una producción similar del cultivo comercializable, se obtienen los costes que se exponen en la Tabla 9.

Para que en este cultivo la utilización del digerido sea rentable frente al fertilizante mineral, la distancia desde la planta al lugar de aplicación debe ser inferior a 150 km, por lo que parece factible obtener una reducción de costes al utilizar el digerido en el cultivo de coliflor.

Tabla 9. Costes de los productos fertilizantes en los distintos abonados para coliflor.

Abono mineral			
Fertilizante	Aplicación en el cultivo (kg/ha)	Precio (€/kg)	Coste (€/ha)
Complejo 15-15-15	625	0,355	221,875
Nitrato amónico (34,5-0-0)	450	0,33	148,50
Sulfato potásico (50% K ₂ O)	315	0,67	211,05
Coste total (€/ha)			581,425
Abono orgánico			
Fertilizante	Aplicación en el cultivo (kg/ha)	Precio (€/kg)	Coste (€/ha)
Estiércol vacuno	25.000	0,021	525,00
Ácido fosfórico (75% P ₂ O ₅)	15	0,41	6,15
Sulfato potásico (50% K ₂ O)	30	0,67	20,10
Coste total (€/ha)			551,25
Digerido			
Fertilizante	Aplicación en el cultivo (kg/ha)	Precio (€/kg)	Coste (€/ha)
Digerido	62.500	*	*
Ácido fosfórico (75% P ₂ O ₅)	100	0,41	41,00
Sulfato potásico (50% K ₂ O)	350	0,67	234,50
Coste total (€/ha)			275,50

* Corresponde al coste del transporte y asumiendo coste de digerido cero.

b) Digerido en frutales

En este caso se evalúa la aplicación del digerido bruto como potencial fertilizante órgano-mineral en dos cultivos de frutales, clementino y nectarina, representativos de los cítricos y frutales de hueso. Se compara la fertilización mineral tradicional con la sustitución de parte del fertilizante por digerido bruto, tomando como base el aporte de N del digerido. Se ha demostrado que ambos presentan una respuesta del cultivo similar en cuanto al contenido nutricional en las hojas así como para los parámetros vegetativos de ambos frutales.

En el balance económico solo se tienen en cuenta los costes de los fertilizantes, pues el resto de tareas se consideran las mismas para todos los tratamientos.



Las necesidades nutricionales consideradas para el primer año para plantones jóvenes en ambas especies de frutales son: 40 g de N, 20 g de P_2O_5 y 20 g de K_2O por cada plantón.

Abono mineral: nitrato amónico 87,6 g/plantón, fosfato monoamónico 32,786 g/plantón y nitrato potásico 43,29 g/plantón.

Digerido: digerido bruto (9,76 l/plantón), complementado con ácido fosfórico 10,4 g/plantón y sulfato potásico 8,308 g/plantón

El coste de ambos tratamientos durante el primer año de cultivo se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Costes de los productos fertilizantes en los distintos tratamientos.

Abono mineral			
Fertilizante	Aplicación en el cultivo (kg/ha)	Precio (€/kg)	Coste (€/ha)
Nitrato amónico (34,5-0-0)	87,6	0,5628	0,049
Fosfato monoamónico (12-61-0)	32,786	2,4002	0,079
Nitrato potásico (13-0-46)	43,29	1,3598	0,059
Coste total (€/plantón)			0,187
Coste total (€/ha)[†]			74,80
Digerido			
Fertilizante	Aplicación por año	Precio (€/kg o €/l)	Coste (€/plantón)
Digerido (l)	9,76	*	*
Ácido fosfórico (50-52% P_2O_5) (ml)	10,4	1,1652	0,012
Sulfato potásico (50% K_2O) (g)	8,308	1,1503	0,010
Coste total (€/plantón)			0,022
Coste total (€/ha)[†]			8,80

* Corresponde al coste del transporte y asumiendo coste de digerido cero. [†]Suponiendo 400 plantones por ha.

Si tan solo se tienen en cuenta estos datos y asumimos 'coste cero' para el digerido, el gasto con la fertilización mineral supera a la utilización del digerido en 66 €/ha. Esto supone que los costes de transporte de digerido deben ser bajos para que sea económicamente viable su utilización en árboles frutales.

Se puede concluir que la aplicación del digerido, tanto en hortalizas como en frutales, resulta más barata que la del fertilizante mineral u orgánico cuando los costes de transporte del digerido son bajos. Esto implica que la distancia desde la planta de digestión anaerobia hasta el lugar de cultivo es determinante para la viabilidad económica de la utilización del digerido frente a la fertilización mineral. De modo que es crucial determinar la distancia máxima viable para el transporte del digerido, ya que los costes de transporte de la fertilización mineral/orgánica son bajos, ya que las cooperativas donde se compran estos fertilizantes suelen distar unos pocos km de las zonas de cultivo.

c) Digerido sólido en cultivos energéticos

En este caso se plantea la utilización del digerido sólido sobre cultivos de colza y girasol, como cultivos energéticos. Se plantea esta situación para el caso de instalaciones que dispongan de un sistema de separación sólido/líquido.

En primer lugar se calcula el ahorro de fertilizante mineral por la utilización del digerido sólido, en una situación en la que se utilice únicamente como abonado de fondo dicho material en comparación con la fertilización mineral tradicional (Tabla 11). El precio del digerido sólido asignado se basa en los precios del estiércol. En el caso de la colza, se compara la fertilización mineral con la fertilización con digerido en dos dosis en función del aporte de nitrógeno. Así, en la dosis alta (17 t/ha) se ha considerado que el 25% del N del digerido sólido será asimilable durante su ciclo de cultivo; la dosis baja (9,6 t/ha) se considera el 50% del N asimilable. Para el caso del girasol se ha reducido a una aplicación intermedia de digerido sólido (14 t/ha).



Tabla 11. Costes de los productos fertilizantes en la fertilización de los cultivos de colza y girasol.

Abonado de fondo mineral					
	Precio (€/kg)	Aplicación (kg/ha)		Coste (€/ha)	
		Colza	Girasol	Colza	Girasol
Nitrato amónico (33% de N)	0,34	364	363	123,76	123,42
Superfosfato cal (18% de P ₂ O ₅)	0,237	417	445	98,83	105,47
Cloruro potásico (59,55% de K ₂ O)	0,47	168	403	78,96	189,41
Coste total (€/ha)				301,55	418,30
Abonado de fondo orgánico					
	Precio (€/kg)	Aplicación (t/ha)		Coste (€/ha)	
		Colza	Girasol	Colza	Girasol
Digerido sólido	5	17,0	14,0	85	70
Digerido sólido	5	9,6	-	48	-
Coste total (€/ha)				85-48	70

Por lo tanto el abonado de fondo con el digerido sólido supone un ahorro claro de fertilizantes. Sin embargo, para realizar el balance completo hay que tener en cuenta que el distinto abonado de fondo da lugar a diferencias en la producción de grano, que es donde se obtiene el beneficio.

El siguiente balance económico permite evaluar la rentabilidad de los cultivos, y tiene en cuenta los costes y los ingresos procedentes de los distintos cultivos a evaluar. El caso de los costes totales es el resultado de sumar los costes fijos y los costes variables (el precio de las semillas y de los fertilizantes se obtuvieron de casas comerciales) y los ingresos que son el resultado de la venta de las semillas (el precio de venta de las semillas se obtuvo de la página web del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM, 2010c).

Para los cultivos de colza y de girasol, se ha realizado un desglose de las diferentes partidas del cultivo, se consideraron las labores preparatorias del terreno, la labor de siembra (costes comunes para todos los tratamientos fertilizantes), la recolección y el tratamiento fertilizante.

Se compara la fertilización mineral con la fertilización con digerido. Los costes fijos para los cultivos de colza y girasol se incluyen en la Tabla 12, donde la diferencia de coste entre los dos cultivos viene dada por el precio de la semilla.

Tabla 12. Costes fijos en el cultivo de colza y girasol.

Costes fijos	Cantidad	Precio unitario	Total
Preparación del terreno			
Pase de cultivador	1	36 €	36 €
Siembra			
Sembradora	1	19 €	19 €/ha
Semilla colza	10 kg/ha	10 €/kg	100 €/ha
Semilla girasol	6,4 kg/ha	9 €/kg	58 €/ha
Recolección	1	36 €	36 €
Costes Fijos Totales COLZA			191 €/ha
Costes Fijos Totales GIRASOL			149 €/ha

El balance económico de la colza se incluye en la Tabla 13. En la anualidad del estudio tuvo lugar una cosecha muy mala, por lo que se ha estimado la producción mínima de grano a partir de la cual se obtendría beneficio económico. Así la fertilización mineral requiere doblar la producción de la fertilización con el digerido sólido para obtener beneficio.

El balance económico del cultivo de girasol es positivo para el año de estudio (Tabla 14), con ingresos superiores a los costes en ambos tratamientos, pero claramente beneficioso para el abonado con el digerido sólido. Así, la estimación de la producción mínima de girasol para obtener beneficio económico indica que la utilización del digerido bruto será beneficiosa incluso con una producción baja, mientras que el mínimo requerido en el caso de fertilización mineral debe ser 2,6 veces mayor que con el abonado orgánico mediante digerido sólido.



Tabla 13. Balance económico del cultivo de colza.

Tipo de abonado	Mineral	Digerido sólido (17,0 t/ha)	Digerido sólido (9,6 t/ha)
Costes fijos (€/ha)	190,5	191	191
Coste fertilizante (€/ha)	301,55	85	48
Costes totales (€/ha)	492,05	276	239
Valor del grano (€/kg)	0,24	0,24	0,24
Producción (kg/ha)	415,8	295,8	311,3
Ingresos (€/ha)	100	71	75
Balance (€/ha)	-392,05	-205	-164
Producción necesaria para obtener beneficio (kg/ha)	2050	1150	1000

Tabla 14. Balance económico del cultivo de girasol.

Tipo de abonado	Mineral	Digerido sólido
Costes fijos (€/ha)	149	149
Coste fertilizante (€/ha)	418,30	70
Costes totales (€/ha)	567,3	219
Valor del grano (€/kg)	0,34	0,34
Producción (kg/ha)	2241	2108,6
Ingresos (€/ha)	762	717
Balance (€/ha)	194,7	498
Producción mínima para obtener beneficio (kg/ha)	1670	644

4.6. Calidad de los productos: Conclusiones y recomendaciones

Los países europeos con mayor tradición que España en el desarrollo de los sistemas de digestión anaerobia, como Alemania, Suiza y el Reino Unido, disponen de unas normas básicas que fijan límites máximos y condiciones de operación para certificar la calidad para el uso agrícola de los digeridos producidos mediante el tratamiento anaerobio de residuos orgánicos. Dichas guías para el manejo de los digeridos consisten en “RAL-Quality Assurance Systems” en Alemania (Siebert y col., 2008), “ASCP Guidelines” en Suiza (ASCP, 2001) y “PAS 110” del Reino Unido (BSI, 2010).

Los diferentes informes inciden en la necesidad de que los materiales hayan sufrido un proceso de digestión anaerobia completo y, por ejemplo, en el Reino

Unido indican la necesidad de someterlos a un tiempo de maduración o de almacenamiento antes de su uso. Además fijan las condiciones mínimas del proceso de digestión anaerobia. En el caso de utilizar residuos animales (SANDACH) resaltan la necesidad de pasteurización, no siendo este caso necesario cuando provienen de estiércoles y purines, pero debe garantizar unas mínimas condiciones sanitarias.

Teniendo en cuenta los criterios aplicables a los productos fertilizantes elaborados con residuos y otros componentes orgánicos por la legislación española, los parámetros de calidad de digerido en diversos países (Tabla 15), el borrador de directiva de la CE relativa al tratamiento biológico de biorresiduos, y los resultados obtenidos en el proyecto PROBIOGAS, recomendamos la utilización de los siguientes parámetros de calidad de los digeridos para poder ser utilizados en la preparación de fertilizantes o para que tengan tal consideración:

- Cualquier material digerido debe estar totalmente procesado, o haber sido sometido a un tratamiento posterior o almacenamiento para su maduración;
- Estabilidad: $\text{DBO}_5 < 7,4 \text{ g O}_2 / \text{l}$ en fresco, o $\text{COD} < 5,6 \text{ g/l}$ en fresco;
- Nivel de higienización: *E. coli* $< 1000 \text{ NMP/g}$ peso fresco; y *Salmonella* sp. ausencia en 25 g peso fresco (según Real Decreto 824/2005);
- Presencia de productos tóxicos e impurezas; Impurezas $> 2\text{mm}$; límite de metales pesados en mg/kg de peso fresco (según Real Decreto 824/2005):



Metal pesado	Clase A (mg/kg)	Clase B (mg/kg)
Cadmio	0,7	2
Cobre	70	300
Níquel	25	90
Plomo	45	150
Cinc	200	500
Mercurio	0,4	1,5
Cromo total	70	250
Cromo (VI)	0	0

Donde la clase A o B debe hacer referencia a la aplicación de digeridos en suelos de pH bajo (<6) o con cultivos con limitación en la concentración de metales pesados (Cd y Pb, Reglamento CE 1881/2006).

- Contenido de materia orgánica y nutrientes: pH; materia seca; materia orgánica; N-total; N-NH₄, P-total, K-total, y salinidad, declarar su composición y garantizar la concentración de nutrientes.
- La viabilidad económica del aprovechamiento de los nutrientes presentes en los materiales digeridos, depende de los costes de transporte del material desde la planta de digestión anaerobia hasta la zona agrícola, por lo que se aconseja su utilización en lugares cercanos.
- A modo de resumen se puede estimar que el valor fertilizante de los digeridos es variable en función de su composición, desde 1,2 €/m³ hasta 8,8 €/m³, según los resultados obtenidos en los materiales digeridos analizados en el proyecto PROBIOGAS. Es necesario tener en cuenta la “calidad” del digerido que se obtiene en la planta de digestión anaerobia, puesto que puede suponer una gran diferencia en su valor económico como fertilizante.

Tabla 15. Parámetros de calidad establecidos para los materiales digeridos en diversos países europeos para su utilización como fertilizantes o enmiendas del suelo.

Parámetros	PAS 110 (Reino Unido; BSI, 2010)		RAL-QAS (Alemania; Siebert y col., 2008)		ASCP (Suiza; ASCP, 2001)	
	Indicador	Límite superior	Indicador	Límite superior	Indicador	Límite superior
Estabilidad	Ácidos grasos volátiles Biogás residual	0,43 g DQO/g MO 0,25 l/g MO	Ácidos orgánicos Ausencia de malos olores	4000 mg/l		
Higienización	<i>E. coli</i> <i>Salmonella</i> Criterios específicos para SANDACH	1000 NMP/UFC/g MF Ausencia en 25 g MF	<i>Salmonella</i> Criterios específicos para SANDACH Semillas viables	Ausencia 2 semillas/l	No debe contener niveles detectables de microorganismos patógenos para plantas, animales o humanos	
Residuos tóxicos e impurezas	Cristal, metal, plásticos (> 2 mm)	0,5% MS	Impurezas > 2mm	0,5% MS	Cristal, metal, plásticos (> 2 mm)	0,5% MS
	Piedras (> 5 mm)	8% MS			Piedras (> 5 mm)	5% MS
	Metales pesados:	mg/kg MS	Metales pesados:	mg/kg MS	Metales pesados:	mg/kg MS
	Cd	1,5	Cd	1,5	Cd	1,0
	Cr	100	Cr	100	Cr	100
	Cu	200	Cu*	100	Cu	100
	Pb	200	Pb	150	Pb	120
	Hg	1,0	Hg	1,0	Hg	1,0
	Ni	50	Ni	50	Ni	30
	Zn	400	Zn*	400	Zn	400
MO y nutrientes	pH	Declarar	pH	Declarar	pH	Declarar
	MS	Declarar	MS	> 15% (sólido)	MS	Declarar
	MO	Declarar		≤ 15% (líquido)	MO	Declarar
	N-total	Declarar	MO	≥ 30% MS (sólido)	N-total	Declarar
	N-NH ₄	Declarar		≥ 40% MS (líquido)	N-NH ₄	Declarar
	P-total	Declarar	N-total		P-total	Declarar
	K-total	Declarar	N-NH ₄ -N-NO ₃		K-total	Declarar
	Cl soluble	Declarar	P, K, Mg y S		Ca y Mg	Declarar
	Na soluble	Declarar	Alcalinidad (CaO)		Salinidad	Declarar
			Salinidad		Densidad	Declarar
			Densidad			
			Micronutrientes	Declarar		

MO: materia orgánica; MS: materia seca; MF: materia fresca. DQO: demanda química de oxígeno.

*permitidos contenidos más altos, si proceden de estiércoles.



5. Criterios para la gestión del digerido

5.1. Formas de utilización

Existen diferentes estrategias de gestión del digerido y la idoneidad de una u otra vendrá condicionada por las condiciones del entorno, los objetivos planteados, y la escala del tratamiento. La valorización agrícola de los digeridos se centra fundamentalmente en dos aspectos: la utilización directa del digerido como fertilizante y la separación sólido-líquido, con utilización de la fracción sólida para la preparación de abonos de alto valor añadido mediante compostaje y el uso de la fracción líquida como fertilizante líquido.

a) Uso del digerido como fertilizante

La utilización directa de los digeridos en la agricultura, debe considerarse una opción de valorización de dichos subproductos obteniendo un beneficio para el suelo y los cultivos. En este sentido, es necesario que exista un equilibrio entre las necesidades de los cultivos y la producción anual de digeridos producidos en los procesos de digestión anaerobia de residuos y subproductos ganaderos y agroindustriales. El uso directo del digerido puede constituir una adecuada gestión en la que tan sólo sería preciso la construcción de balsas de homogenización y una correcta planificación de la fertilización de los cultivos. Desde éste punto de vista es esencial determinar las características de los digeridos, debido fundamentalmente a la alta variabilidad que presentan en su composición (ver apartado 4), a fin de asegurar una correcta gestión y uso de los mismos (dosis, necesidad de postratamientos, adecuación a legislación o buenas prácticas, etc.). La calidad del digerido debe determinarse en función de los parámetros indicados anteriormente (apartado 4): estabilidad, nivel de higienización, presencia de compuestos contaminantes e impurezas, y del contenido en nutrientes y de materia orgánica.

El sistema de control de la calidad del digerido debería estar basado en (Joensson y col., 2002):

- Muestreo y análisis sistemático de las materias primas y del digerido, los cuales deberían realizarse al menos tres veces al año;
- Evitar el uso de residuos domésticos o “no especificados”, que puedan contener compuestos perjudiciales;
- Cuidadoso control del proceso, centrándose en las etapas de pasteurización/esterilización;
- Comunicación constante entre agricultores y suministradores del material.

Para obtener el máximo beneficio en la agricultura y evitar los potenciales riesgos por su uso inadecuado, es necesario que la aplicación del digerido se realice de acuerdo con la planificación de fertilización del suelo, donde el digerido sustituye a los fertilizantes minerales. Esta integración puede realizarse como abonado de fondo de forma similar a purines y estiércoles. Se debe evitar su aplicación directa sobre semillas o plántulas jóvenes, al igual que grandes aplicaciones. Así, por ejemplo, sobre árboles frutales es más conveniente realizar adiciones sucesivas a dosis bajas, en lugar de una sola aplicación. De esta manera el aprovechamiento de los nutrientes por las plantas es mayor, ya que se puede dosificar en función del momento de mayor requisito de nutrientes por parte del árbol.

Hay que tener en cuenta que el digerido aporta una importante cantidad de nitrógeno en forma amónica, que se oxida rápidamente a nitrato en el suelo, siendo esta forma directamente asimilable por los cultivos. Además, otro aspecto importante a considerar es la riqueza del digerido en fósforo, principalmente cuando proviene de la digestión anaerobia de estiércoles y purines, cuyo exceso puede acumularse en el suelo en formas asimilables. Ello indica la necesidad de realizar además un balance, según la concentración de fósforo del digerido y el requerimiento del cultivo, a fin de evitar acumulaciones excesivas en el suelo que puedan suponer un riesgo de contaminación.

La elevada concentración de N en forma amónica en el digerido hace que exista un mayor riesgo de pérdidas de amoníaco durante la aplicación del digerido que



cuando se utilizan fertilizantes minerales. Para disminuir las emisiones gaseosas es recomendable seguir ciertas pautas, como son (Pfundtner, 2002):

- Aplicar el digerido en condiciones climáticas adecuadas, con alta humedad, baja temperatura y sin viento.
- Aplicar el digerido cercano al suelo y mediante una inmediata incorporación o inyección en el mismo con un adecuado sistema de aplicación, como un sistema de inyección en suelo o inyectores de arrastre, con lo cual se reducen las pérdidas de amoníaco por encima del 95%.
- Dificultar el proceso de volatilización del amoníaco, disminuyendo el pH del digerido por adición de ácido (opcional).

Debido al alto contenido en agua del digerido, puede ser utilizado como fertilizante líquido en suelos agrícolas (fertirrigación). Sin embargo, su uso puede estar limitado por su contenido de partículas, lo cual podría generar obstrucciones en los sistemas de riego.

b) Separación sólido-líquido: gestión independiente de la fracción sólida y de la fracción líquida

El proceso de separación de fases permite dividir el digerido en dos fracciones diferentes, una sólida (digerido sólido), con un contenido en sólidos superior al del digerido original, y una líquida (digerido líquido), que contiene elementos disueltos y en suspensión. La separación sólido-líquido no cambia el contenido de componentes presentes en el digerido, pero con este tratamiento físico se consigue una redistribución de los constituyentes y, por lo tanto, mejora la capacidad de gestión de las fases obtenidas. De este modo se favorece la aplicación de diferentes líneas de tratamiento, transporte y aplicación al suelo para cada una de las dos fases obtenidas. En este sentido, la fracción sólida obtenida podrá gestionarse como un estiércol, en cuyo caso se tendrán que seguir las directrices ya comentadas en el caso del uso del digerido sin

tratamiento previo, o estabilizarse mediante un proceso de compostaje, como se detallará en apartados posteriores.

Por otra parte, la fracción líquida puede ser recirculada al proceso de digestión anaerobia, tratada mediante tratamientos de depuración, o aplicada directamente a suelos agrícolas cercanos a la zona donde se genera el digerido, para el aprovechamiento de sus nutrientes solubles. Es muy importante separar los digeridos recién obtenidos del proceso de digestión anaerobia, para evitar problemas de degradación incontrolada, así como para mejorar la eficiencia de la separación, reducir las emisiones de malos olores, las pérdidas por volatilización o la solubilización de determinados componentes.

Existen diferentes sistemas de separación como son:

- La decantación natural es la opción más económica para separar las partículas en suspensión, pero que sólo se debe considerar cuando las exigencias de separación sean bajas;
- Los sistemas mecánicos de separación, que se clasifican dependiendo del tipo de fuerza utilizado en el proceso, en sistemas por gravedad, compresión o centrifugación.

También es posible utilizar una combinación de estos sistemas, planteando un desbaste primario y una posterior separación más fina, así como utilizar agentes químicos como floculantes, coagulantes, etc. para aumentar la eficiencia de la separación. Sin embargo, esta última opción incrementa los costes y dichos agentes deben ser biodegradables e inocuos si se pretende utilizar la fracción sólida como fertilizante o enmienda orgánica del suelo.

Uso del digerido sólido: compostaje

El tratamiento de la fase sólida del digerido obtenida tras la separación sólido-líquido mediante compostaje consigue la estabilización de la materia orgánica contenida en el material, minimizando la emisión de olores molestos durante su aplicación al suelo y obteniendo un producto con mejores características como fertilizante. El compostaje del digerido sólido se plantea como una opción viable



de tratamiento y valorización, pudiendo realizarse con o sin agente estructurante, dependiendo de las características de la fracción sólida del digerido.

El compostaje se define como un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido por la acción de los microorganismos. Implica el paso a través de una etapa termófila con una producción temporal de fitotoxinas, generándose como resultado de la biodegradación dióxido de carbono, agua, sales minerales y un producto final, llamado compost, con una materia orgánica estabilizada, libre de compuestos fitotóxicos y patógenos y con ciertas características húmicas (Zucconi y de Bertoldi, 1987). Los objetivos principales del proceso de compostaje son: la reducción del volumen, la estabilización de la materia orgánica y la higienización de los materiales, de modo que el uso agrícola del producto final obtenido no comporte efectos negativos para el sistema suelo-planta.

En el caso de los materiales digeridos, la necesidad de su procesado mediante compostaje surge como consecuencia de una escasa estabilidad microbiológica, además de la presencia de microorganismos patógenos y sustancias orgánicas de carácter fitotóxico. El proceso de tratamiento de los digeridos con la finalidad de obtener un compost para uso agrícola que sea comercializable como “enmienda orgánica compost”, debe realizarse teniendo en cuenta los parámetros que definen la calidad del compost según el Real Decreto 824/2005. De este modo se aportaría a los sectores agropecuario y energético una fuente adicional de ingresos por la comercialización de dicho producto.

Puesto que el proceso exige condiciones aerobias, el oxígeno puede suministrarse por volteo de la pila de compostaje o mediante sistemas de aireación forzada más complejos, como el sistema de pila estática con aireación forzada y control de la temperatura (sistema Rutgers). El proceso de compostaje precisa de unas ciertas condiciones iniciales para su desarrollo, como son (Bernal y col., 2009):

- 1) **Humedad**: los contenidos de humedad óptimos para el compostaje deben estar comprendidos en el intervalo 40-60%. Si el contenido de humedad es mayor del 60%, el agua desplaza al aire de los espacios

libres existentes entre las partículas y las condiciones se hacen anaerobias. Valores elevados pueden reducirse mediante el aumento de la aireación. Un contenido en humedad inferior al 40% provoca una disminución de la actividad biológica y el proceso de compostaje transcurrirá de forma más lenta. Por otra parte, durante el compostaje y debido al aumento de la temperatura, se producen en la mezcla pérdidas de agua por evaporación, la cual debe restituirse para mantener los contenidos adecuados que permitan el desarrollo del proceso. Una opción para dicha restitución es la utilización de la fase líquida del digerido obtenida tras la separación sólido-líquido o el uso de los lixiviados generados en el proceso, aunque deben tenerse en cuenta sus características, ya que su uso puede incrementar notablemente el contenido en sales en el producto final.

- 2) Aireación: el nivel óptimo de oxígeno se sitúa dentro del intervalo 10-18%. Una menor aireación hace que se produzca la descomposición de la materia orgánica de forma anaerobia, originándose así compuestos orgánicos de carácter fitotóxico y una disminución de la velocidad del proceso. Por el contrario, un exceso de ventilación provoca el enfriamiento de la masa, con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos. La aireación dependerá en gran medida de la porosidad de la mezcla. Por ello, el uso de un material estructurante en la mezcla (restos de poda, paja, etc.) proporciona la porosidad adecuada a la misma.
- 3) Relación C/N: parámetro clave para un adecuado desarrollo del proceso de compostaje. Los valores recomendados para la mezcla inicial deben estar comprendidos en el intervalo 25-35, ya que valores más altos disminuyen la actividad biológica, ralentizando el proceso y valores inferiores generan emisiones de grandes cantidades de nitrógeno en forma de amoníaco. El compostaje del digerido sólido se favorece por materiales estructurantes preferentemente con una relación C/N superior a 40, para conseguir una adecuada relación C/N que favorezca las condiciones termófilas y un sostenimiento de dicha fase.



La puesta a punto del compostaje de la fase sólida del digerido vendrá determinada por las condiciones de la instalación donde se realizará el proceso. Dicha instalación debe disponer de una superficie impermeabilizada lo suficientemente grande para instalar las pilas, algún sistema que proporcione la ventilación (una volteadora en caso de usar el sistema de pila móvil o un sistema de ventilación forzada, en el caso de usar pila estática) y un sistema de recogida de lixiviados, que permita su acumulación y potencial uso como fuente de humedad para la pila de compostaje.

La utilización de elevados porcentajes de digerido en la formulación de pilas de compostaje permite reducir, de forma significativa, el volumen del material aunque condiciona la calidad de los compost obtenidos, que pueden presentar una elevada salinidad y limitar así su utilización. Así, la mezcla del digerido sólido con otros materiales que actúen como agentes estructurantes mejora las características del material a compostar, y por tanto el desarrollo del proceso. Además, los compost obtenidos pueden ser de mayor calidad y por tanto de mayor valor comercial, ya que permitiría su utilización en aplicaciones agronómicas específicas, como se verá más adelante. La poda de vid constituye un material interesante como cosustrato, mejorando la relación C/N, que reduce las pérdidas de nitrógeno, aportando porosidad a la masa a compostar, mejorando el valor del compost obtenido y reduciendo el impacto ambiental generado por la emisión de compuestos nitrogenados.

Por otra parte, el contenido en nutrientes primarios N y P en el compost está asegurado por la propia naturaleza del digerido sólido. Pero en ocasiones es conveniente el uso de aditivos para mejorar el contenido de ciertos nutrientes en el compost final (como el potasio), o para mejorar las condiciones iniciales del proceso, como la adición de azufre elemental para ajustar el pH de la mezcla, teniendo en cuenta que dicha adición puede incrementar la salinidad del compost final.

Las características del compost obtenido a partir de la fracción sólida del digerido determinarán su destino final. Los potenciales destinos del compost del digerido sólido se pueden resumir en:

- Fertilizante y/o enmienda orgánica de suelo

El uso del compost obtenido a partir del digerido sólido como fertilizante o como enmienda orgánica compost, vendrá determinado por la normativa estatal, establecida en el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio sobre productos fertilizantes y la Orden APA/863/2008 de 25 de marzo, por la que se modifican los anexos I, II, III, y VI de dicho Real Decreto. Dicha normativa indica los valores límites exigidos a un compost para su utilización en agricultura (Tabla 16).

En general, los compost obtenidos a partir del digerido sólido no presentan problemas para verificar los parámetros establecidos por la normativa, siempre y cuando el proceso de compostaje se haya desarrollado de forma adecuada, con un mantenimiento de los valores termófilos de la temperatura durante un periodo de tiempo suficientemente largo que haya permitido la higienización del material. Este aspecto se contempla en las pautas establecidas por el borrador sobre tratamiento biológico de biorresiduos (duración de la etapa termófila y valores mínimos de temperatura exigidos) (Comisión Europea, 2001):

- una temperatura $\geq 55^{\circ}\text{C}$ durante dos semanas si se efectúan 5 volteos;
- una temperatura $\geq 65^{\circ}\text{C}$ durante al menos una semana si se efectúan dos volteos, o
- una semana a una temperatura $\geq 60^{\circ}\text{C}$ en caso de compostaje en reactores o contenedores (“in-vessel composting”).

Sin embargo, cabe mencionar que los compost elaborados con digerido sólido procedente de purines (especialmente de porcino) pueden presentar concentraciones de Cu y Zn superiores a los límites fijados en el Real Decreto 824/2005 para los compost clase A, pero que pueden dar lugar fácilmente a clase B. También pueden tener una alta salinidad, aspecto no contemplado en la normativa sobre productos fertilizantes, pero esencial a la hora de su uso agrícola.



Tabla 16. Requisitos mínimos exigidos a materiales considerados como enmiendas orgánicas (Real Decreto 824/2005 y Orden APA 863/2008).

Parámetro	Orden APA/863/2008		
	Clase		
	A	B	C
Materia orgánica total (%) ¹	> 35 (>58,3 MS)		
Humedad máxima (%)	40		
Relación C/N	< 20		
Impurezas (%)	< 3 (2 mm)		
Gravas y piedras (%)	< 5 (5 mm)		
Metales pesados (mg/kg MS):			
Cadmio	0,7	2	3
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)	0	0	0
Cobre	70	300	400
Cinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Microorganismos patógenos:			
Salmonella sp	Ausentes en 25 g compost		
E. coli	< 1000 NMP/g		

¹Expresado sobre materia húmeda, considerando el contenido máximo permitido en la legislación (40%). MS: materia seca; NMP: número más probable.

Una mención aparte debe realizarse con respecto al potencial uso de los compost de digeridos en agricultura ecológica. No existe una normativa estatal específica que establezca criterios que condicionen las características de un compost para ser utilizado en agricultura ecológica, salvo la normativa citada sobre productos fertilizantes, donde la categoría A al ser la más exigente en calidad sería la apropiada para dicho uso. Además debe cumplir las condiciones de las materias primas permitidas para elaborar el compost establecidas en los Reglamentos CE 834/2007 y 889/2008 sobre agricultura ecológica.

- Sustrato o componente de sustratos

El Real Decreto 865/2010, de 2 de julio sobre sustratos de cultivo especifica los requisitos que debe verificar un material para poder ser utilizado como sustrato

de cultivo (Tabla 17). Esta normativa es más restrictiva que la normativa sobre productos fertilizantes, fundamentalmente en relación a la calidad higiénico-sanitaria de los compost, así como en relación a las clases de material (A y B). Tal como ya se ha comentado, el principal aspecto limitante a tener en cuenta en el uso de los compost de la fracción sólida del digerido como sustrato es el alto contenido en sales solubles, así como los contenidos en Cu y Zn para los compost elaborados con digeridos procedentes de purín vacuno o porcino, principalmente.

Tabla 17. Valores límites de diversos parámetros que deben cumplir los compost para ser utilizados como sustratos de cultivo (Real Decreto 865/2010).

Parámetro	Clase	
	A	B
Materia orgánica total (%)	> 20	
<i>Salmonella</i> sp.	Ausentes en 25 g producto elaborado	
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausentes en 1 g materia bruta	
<i>E. coli</i>	< 1000 NMP/g	
<i>Enterococcaceae</i>	Entre 10^4 y 10^5 NMP/g producto elaborado	
<i>Clostridium perfringens</i>	Entre 10^2 y 10^3 NMP/g producto elaborado	
Cadmio (mg/kg)	0,7	2
Cobre (mg/kg)	70	300
Níquel (mg/kg)	25	90
Plomo (mg/kg)	45	150
Cinc (mg/kg)	200	500
Mercurio (mg/kg)	0,4	1,5
Cromo (total) (mg/kg)	70	250
Cromo (VI) (mg/kg)	0,5	0,5

NMP: número más probable.

Utilización de la fase líquida del digerido

El uso y tratamiento de la fase líquida del digerido estarán basados en el destino final de dicho efluente, como pueden ser la utilización como fertilizante líquido (biofertilizante) en agricultura, su recirculación en el sistema de digestión anaerobia o su vertido en cauce público, debiendo ser sometido en este último



caso a un tratamiento previo de depuración del cual resulte un efluente que cumpla con los límites establecidos por la normativa vigente al respecto, como es el Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Respecto al uso agrícola del digerido líquido, éste constituye un procedimiento de depuración que realiza el suelo y que permite un tratamiento directo de los efluentes susceptibles de ser degradados. Para ello el digerido líquido no debe ser tóxico para el medio al que se vierte (suelo, flora y fauna), así como ser asimilable por vía biológica. El objetivo es doble:

- Obtención de un grado de depuración elevado con asimilación de las cargas orgánicas y minerales.
- Valorización agronómica de la carga orgánica y mineral por medio de la práctica cultural.

El cultivo del área de aplicación permite optimizar el poder de depuración reciclando la mayor parte del agua y de los elementos nutritivos contenidos en el producto líquido. Es preciso disponer de un sistema de almacenamiento con capacidad suficiente para hacer frente a las condiciones climáticas desfavorables o para evitar su aplicación en épocas del año no aconsejables (descritas posteriormente). Esta operación puede efectuarse con cisterna (en el caso de instalaciones con una producción no muy grande y con terrenos aptos para la aplicación) o por aspersión (para instalaciones de mayor producción con terrenos próximos). Sin embargo, este sistema presenta fuertes restricciones, ya que es preciso realizar un estudio de los suelos en los que se vaya a realizar la aplicación, para tener en cuenta sus características y las restricciones medioambientales, así como establecer un control del vertido mediante registro y evaluación anual de la calidad aplicada.

Por otra parte, para que el digerido líquido se pudiera considerar como un fertilizante orgánico líquido, debería verificar los límites establecidos por la normativa estatal, lo cual se encuentra detallado en el Real Decreto 824/2005 sobre productos fertilizantes (Anexo I, Grupo 2), aspecto desarrollado en apartados posteriores. Además, el material líquido debe cumplir los requerimientos de calidad que se indican para el digerido bruto en esta guía.

5.2. Almacenamiento

El sistema de almacenamiento de los digeridos debe construirse con materiales y formas que garanticen la estanqueidad, evitando el riesgo de filtración y de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Asimismo, debe tener las dimensiones adecuadas que permita el almacenamiento de los digeridos al menos durante el periodo en que no es aconsejable su aplicación agrícola. Según lo establecido por los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias sobre el almacenamiento de estiércoles, podríamos sugerir que para los digeridos el volumen de almacenaje deberá ser suficiente para mantenerlo entre 1 a 4 meses antes de su distribución.

Atendiendo al post-tratamiento que se aplique al digerido tras la digestión anaerobia, se deberán considerar diferentes posibilidades de almacenamiento:

- Si el digerido no se somete a ningún proceso de separación, digerido bruto, se trata de un residuo que en la gran mayoría de los casos es líquido, por lo tanto deberá almacenarse como si de un purín se tratara. La balsa de almacenamiento deberá ser estanca y deberá estar cubierta, para evitar aportes de agua por la lluvia que aumentaría el volumen innecesariamente y reduciría la concentración de los elementos fertilizantes del digerido.
- Si el digerido se somete a un proceso de separación, la fracción sólida deberá tratarse como un estiércol, por ello el almacenamiento deberá realizarse sobre una superficie impermeable y resistente para soportar el peso de los productos generados y el paso de vehículos para su descarga, carga y distribución. Además deberá tener un sistema de recogida de los líquidos lixiviados del material almacenado y de las aguas de lluvia (si no está cubierto), que deberá ser impermeable y estar redirigido hacia las balsas de almacenaje de líquidos. La fracción líquida deberá tratarse como el digerido sin separar, las fosas de almacenaje deberán ser



estancas y cubiertas para evitar dilución innecesaria por las lluvias y emisiones de gases de efecto invernadero.

5.3. Formas de aplicación: Balances de nutrientes

La fertilización de los cultivos a partir de digeridos debe ser gestionada de manera adecuada a este tipo de producto. Una mala gestión puede comportar problemas tanto ambientales (contaminación) como agronómicos (carencia o exceso de elementos nutritivos). Una premisa básica para una correcta gestión de estos productos es ajustar las dosis de fertilizantes aplicadas a las necesidades de los cultivos en la cantidad, en el tiempo y en el espacio. Por ello, al realizar la fertilización es necesario prever qué cantidad de nutrientes de los aportados y en qué momento estarán disponibles, y en qué cantidad y cuando los necesitará el cultivo. Por eso es bueno elaborar planes de fertilización o de gestión de nutrientes.

Una correcta gestión de los nutrientes exige conocer las entradas y salidas de la explotación o la parcela. Dicho balance de nutrientes tiene en cuenta la entrada de éstos, estimados a partir de las cantidades de abonos aplicados y su concentración en nutrientes, así como las cantidades procedentes de los restos del cultivo anterior, si éste se ha incorporado al suelo, y las salidas, estimadas a partir de las concentraciones de nutrientes en los productos cosechados. En el caso de una determinada parcela agrícola estas cantidades deben tender a equilibrarse. Las extracciones de nutrientes del suelo que efectúan los diferentes cultivos vendrán determinadas por el tipo de cultivo, es decir, de las diferentes especies y por el rendimiento del mismo. En la Tabla 18 se recogen algunos datos de extracción de nutrientes por diferentes cultivos, para un rendimiento determinado.

Tabla 18. Extracción de nutrientes por cultivos (Domínguez Vivancos, 1990; *MARM, 2010d).

Cultivos	Unidad de producción	Elementos nutritivos (kg/Ud Producción)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CEREALES				
Trigo*	t	28-40	9-15	20-35
Cebada*	t	24-28	10-12	19-35
Avena*	t	24-30	10-14	23-35
Centeno*	t	18-20	12-14	16-20
Arroz	t	14-22	6-10	14-23
Maíz	t	26-32	10-13	22-30
Sorgo	t	28-34	10-14	22-32
LEGUMINOSAS*				
Habas secas*	t	60	17	45
Judías secas*	t	50	20	32
Guisantes secos*	t	43	20	30
Lentejas*	t	47	8	12
Garbanzos*	t	45	8	35
Veza*	t	45	15	26
Yeros*	t	36	10	13
Altramuz*	t	85	21	43
RAICES Y TUBÉRCULOS				
Patata secano	t	3,5-5,5	1,6-2,0	6,0-8,0
Remolacha	t	4,0-4,5	1,3-1,8	5,5-6,5
Batata	t	4,0-4,5	1,5-1,8	7,0-8,0
PLANTAS INDUSTRIALES				
Algodón (fibra)	t	160-190	70-80	140-160
Tabaco (hojas)	t	40-70	6-12	60-100
Soja	t	75-85	15-17	40-50
Girasol	t	35-50	15-20	80-100
Caña de azúcar	t	1,5-1,7	0,6-0,8	2,7-3,0
PRADERAS Y FORRAJERAS				
Alfalfa (heno)	t	25-30*	5-9	20-26
Trébol (heno)	t	30-40*	6-9	20-25
Praderas artif. (heno)	t	15-20	6-9	18-25
Praderas naturales	ha	100-150	30-40	100-120
Remolacha azucarera	t	3,6-4,3	0,9-1,2	5,0-8,0
Maíz	t	2,5-3,5	1,0-1,4	2,5-4,0



Tabla 18. Extracción de nutrientes por cultivos, continuación (Domínguez Vivancos, 1990; * MARM, 2010d).

Cultivos	Unidad de producción	Elementos nutritivos (kg/Ud Producción)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
FRUTALES				
De hueso	t	3,0-4,0	1,0-1,5	4,0-5,5
De pepita	t	2,5-3,5	0,8-1,2	3,5-4,5
Agrios	t	2,0-3,5	1,0-1,5	3,0-4,5
Viña*	ha	20-70	7-25	30-70
Melocotonero - nectarina*	t fruto	4,8	1,71	3,84
Cerezo*	t fruto	8	1,32	3,06
Manzano*	t fruto	3,8	0,8	2,69
Peral*	t fruto	3,8	0,73	2,78
Albaricoquero*	t fruto	5,1	1,32	5,68
Ciruelo*	t fruto	4,8	0,69	3,3
Almendra*	t fruto	48	12	47
Olivo*	t	15-20	4-5	20-25
HORTICOLAS*				
Alcachofa	t p.c.	11-15	3,5-5,3	22-24
Apio	t p.c.	2,8-4,1	1,4-1,9	5,5-8,5
Berenjena	t p.c.	3,5-5,2	1,5-2	5,4-6,7
Brócoli	t p.c.	12-18	4,7-5,9	22-27
Calabacín	t p.c.	3-4	1,3-1,6	4,5-6,4
Cebolla	t p.c.	2,1-2,5	0,9-1,5	3-3,8
Col	t p.c.	3,8-4,2	1,3-1,5	5,8-6,4
Col china	t p.c.	2,7-3,5	1,1-1,4	3,5-5,6
Coliflor	t p.c.	7,5-8,5	2,3-3	10-12
Espinaca	t p.c.	4,5-5,2	1,5-1,8	7,2-8,8
Guisantes	t p.c.	25-30	10-15	22-35
Judías verdes	t p.c.	8-12	2,9-4,3	12-16
Lechuga	t p.c.	2,2-2,7	0,8-1,4	4,6-6
Melón	t p.c.	3,2-4	1,4-2,6	7,1-9,4
Pepino	t p.c.	2,8-3,5	1,2-1,5	3-4
Pimiento	t p.c.	3-4,5	1,2-1,7	5,5-6
Puerro	t p.c.	3,3-5	1,5-2	4,4-6,7
Rábano	t p.c.	2,3-3,2	1,2-1,6	3,6-4,5
Sandía	t p.c.	2,2-2,6	1-1,3	2,8-3,7
Tomate	t p.c.	2,5-3,5	1,1-1,5	5-5,5
Zanahoria	t p.c.	2,4-3	1,1-1,3	4,6-7

t p.c.: tonelada de producto comercial.

a) Dosis de aplicación

Una cuidada determinación de las dosis de fertilizante a aplicar en una parcela en función de las necesidades del cultivo, contribuye a evitar las situaciones de sobre-fertilización y por consiguiente el lavado de nitratos. Los elementos nutritivos disponibles deben ser aproximadamente igual a las necesidades del cultivo, considerando que la eficiencia no es nunca del 100% y evitando las situaciones que pueden producir sobre-fertilizaciones, como son:

- La sobreestimación del rendimiento es una de las principales causas de sobre-fertilización. Es necesario ajustar los rendimientos en función del historial de la parcela y los condicionantes propios de cada campaña.
- La subestimación de las cantidades de elementos nutritivos aportadas por medio de los digeridos. En el caso de estos abonos, es importante conocer no solamente la composición y la cantidad aplicada, sino la serie histórica de aportaciones a la parcela, ya que si las aportaciones son frecuentes, el efecto residual de las aportaciones anteriores permite que con una menor dosis anual, el cultivo disponga de la misma cantidad final de elementos nutritivos.
- No considerar las aportaciones de otras fuentes de nutrientes como son las aguas de riego, la materia orgánica del suelo o bien el nitrógeno fijado por las leguminosas.

Se recomienda ajustar las aportaciones fertilizantes al equilibrio entre las necesidades previsibles del cultivo y las aportaciones por parte del suelo. Estas últimas dependerán de los nutrientes residuales del cultivo anterior y de la mineralización de la materia orgánica a lo largo de su desarrollo. En aquellas situaciones de elevadas aplicaciones de fertilizantes minerales y/o orgánicos, de retorno al suelo de gran cantidad de residuos de cosecha, de alto riesgo de lavado de nitratos y situaciones similares, el uso de algún método de cálculo más complejo junto al análisis de suelo y planta permite ajustar mejor la cantidad de fertilizante a aplicar.



b) Criterios de dosificación

En la planificación de la aplicación al suelo de subproductos orgánicos normalmente hay que considerar varios criterios, pues el uso de uno solo de ellos puede generar problemas medioambientales. Un requisito previo es asegurar la calidad sanitaria del mismo, tal y como se ha indicado en el apartado 4 de la presente guía. Lo primero que hay que tener en cuenta son las disposiciones de las Comunidades Autónomas plasmadas en los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias y sus Planes de Actuación para aquellas que han declarado zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos. Como norma general, cuando se apliquen fertilizantes orgánicos en dichas zonas no se deben superar los 170 kg de N/ha y año (Directiva 91/676/CE; Real Decreto 261/1996).

El cálculo de la dosis de aplicación puede realizarse siguiendo distintos criterios: balance de nutrientes, criterio del nitrógeno, del fósforo, del potasio, de la materia orgánica o de los metales pesados. El balance de nutrientes es la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y que salen de un sistema suelo-planta definido. Es un instrumento de gestión medioambiental porque permite conocer las entradas y salidas de los nutrientes, ver con que eficiencia se utilizan y conocer en qué cantidad son repuestos.

El criterio del nitrógeno es el más utilizado en los programas de gestión agronómica debido a la importancia que tiene el nitrógeno en el crecimiento y el desarrollo de los cultivos y porque es necesario ajustar las dosis de este elemento en el medio agrícola, con la finalidad de evitar la contaminación medioambiental. Un enfoque adecuado requiere ajustar las cantidades aplicadas de abono en el tiempo y en el espacio a las necesidades de los cultivos. Para realizar el balance del nitrógeno en el sistema suelo - planta, habría que considerar las principales entradas y salidas de nitrógeno.

A la hora de realizar una correcta aproximación al cálculo de la dosificación hay que considerar básicamente los siguientes aspectos:

- Nitrógeno total disponible en el digerido: hay que considerar tanto el nitrógeno inorgánico (en su totalidad disponible, salvo

la potencial volatilización como amoníaco) como el nitrógeno orgánico (debe considerarse la tasa de mineralización anual del residuo).

- Necesidades nitrogenadas del cultivo: existen tablas de referencia que proporcionan información sobre las necesidades nutricionales de los cultivos para un rendimiento determinado (Tabla 19).

Dado que las necesidades de los cultivos son bastante más altas en nitrógeno que en fósforo, la dosificación más frecuente se basa en el primero. Sin embargo el criterio del fósforo debe ser considerado en algunos casos: suelos que tienen un alto nivel de fósforo asimilable; suelos con capa freática superficial; o cuando los materiales orgánicos a aplicar presentan unos contenidos relativamente altos de fósforo. En dichas circunstancias, la utilización del criterio del nitrógeno puede originar una acumulación excesiva de fósforo, de la que se pueden derivar problemas de contaminación ambiental. A la hora de decidir la dosificación habría que pensar que todo el fósforo presente en el digerido puede llegar a estar disponible para el cultivo.

En el caso del potasio, se puede considerar que todo el potasio del digerido va a estar disponible para el cultivo, ya que su totalidad se encuentra en forma inorgánica. Por lo que su asimilabilidad es similar a la del potasio contenido en los fertilizantes minerales.



Tabla 19. Requerimientos nutritivos en distintos cultivos (Domínguez Vivancos, 1990; Cultivos hortícolas: MARM, 2010d).

Cultivos	Producción kg/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha
CEREALES				
Trigo secoano	1,5	40-60	40-60	40-60
Trigo regadío	6	150-200	60-120	90-120
Cebada secoano	2	50-80	45-70	45-60
Cebada regadío	5	150-200	50-120	75-100
Avena	1,2	30-60	30-50	45-60
Arroz	8	150-220	80-120	100-160
Maíz secoano	5	75-100	40-100	60-100
Maíz regadío	10	200-300	80-160	80-200
Sorgo secoano	2	75-100	75-90	80-100
Sorgo regadío	8	200-300	60-160	80-180
LEGUMINOSAS				
Habas	3	0-30	30-80	100-120
Judías	2,2	0-30	40-80	40-120
Guisantes	1,8	0-30	40-80	60-120
RAICES Y TUBÉRCULOS				
Patata secoano	10	50-80	40-80	60-120
Patata regadío	25	80-160	60-120	150-250
Remolacha	60	150-200	100-150	150-250
Batata	15	60-80	50-70	80-110
PLANTAS INDUSTRIALES				
Algodón secoano	0,8	30-60	20-40	40-60
Algodón regadío	3	150-200	40-80	90-120
Caña de azúcar	60	150-250	50-80	200-350
Girasol	3	60-100	40-80	40-120
Soja	4	0-40	120-150	130-160
Tabaco	1,5	80-140	50-100	150-200
Cáñamo	1,7	100-120	100-130	150-200
Lino	1,6	70-90	100-120	136-160
PRADERAS Y FORRAJERAS				
Prados gramíneas (heno)	6	120-200	100-140	100-180
Prados leguminosas (heno)	10	40-50	120-180	100-220
Maíz forrajero (verde)	60	150-250	90-120	100-180
Alfalfa (heno)	12	20-40	80-220	150-300
Trébol (heno)	4	30-60	60-80	80-100
Soja (heno)	4	60-80	50-70	120-170
Remolacha azucarera	60	150-250	100-120	120-150

Tabla 19. Extracción de nutrientes por cultivos, continuación (Domínguez Vivancos, 1990; MARM, 2010d).

Cultivos	Producción t/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha
FRUTALES				
De hueso	25	150-250	70-150	200-240
De pepita	20	150-250	80-120	150-200
Agrios (Inundación)		280	70	140
Agrios (goteo)		240	80	
Vid (vino)	5	40-60	30-60	60-120
Vid (uva de mesa)	10	80-120	80-140	120-150
Parral	30	150-300	120-150	180-250
Olivo de secano (kg/árbol)	20	0,4-0,5	0,2-0,3	0,5-0,7
Olivo de regadío (kg/árbol)	80-100	0,8-1,2	0,6-0,8	2,0-2,5
Árboles forestales		50-60	50-60	60-90
Plátano	30	200-350	80-120	150-300
HORTICOLAS al aire libre				
Alcachofa	15-20	250-290	60-90	300-380
Apio	60-80	280-320	100-130	380-600
Berenjena	50-70	290-330	90-120	320-400
Brócoli	15-20	280-320	80-100	370-450
Calabacín	25-35	100-120	30-40	110-160
Cebolla	60-70	170-190	60-100	200-250
Col	35-45	230-250	65-75	290-320
Col china	60-70	220-260	70-90	230-360
Coliflor	25-35	260-300	70-90	300-360
Espinaca	25-30	140-160	40-50	180-220
Guisante	3-5	80-130	40-60	90-140
Judía Verde	12-16	80-120	40-60	130-160
Lechuga	30-40	120-140	30-50	180-230
Melón	30-40	140-160	50-60	250-330
Pepino	25-35	100-120	40-50	120-160
Pimiento	50-60	220-280	80-100	300-340
Puerro	35-45	150-190	45-60	130-200
Rábano	25-30	80-100	30-40	90-110
Sandía	55-65	140-170	60-70	180-220
Tomate	55-65	200-240	65-90	300-330
Zanahoria	60-70	170-210	70-85	300-450



Tabla 19. Extracción de nutrientes por cultivos, continuación (Domínguez Vivancos, 1990; MARM, 2010d).

Cultivos	Producción t/ha	N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha
HORTÍCOLAS en invernadero				
Berenjena	65-75	370-390	120-150	400-480
Calabacín	50-60	200-250	60-80	220-300
Judía Verde	13-17	90-130	50-70	140-160
Melón	50-65	220-260	80-100	370-400
Pimiento	75-85	220-280	130-150	260-320
Pepino	55-65	270-290	90-120	350-400
Sandía	55-65	140-170	60-70	180-220
Tomate	100-120	380-410	160-180	600-700

La presencia de un nivel adecuado de materia orgánica en el suelo es fundamental para conseguir un buen estado de fertilidad del mismo. Este nivel de materia orgánica depende de muchos factores, entre los que se incluyen las características del suelo (textura, pH, etc.), las características climáticas y por supuesto el tipo de cultivo y las prácticas culturales que se realicen en el mismo. El cálculo de la dosis de aplicación con el criterio de la materia orgánica se fundamenta en compensar el posible déficit de la misma que se produzca anualmente en el sistema, y, según sea el nivel de materia orgánica del sistema, igual o inferior al nivel óptimo, se obtendrá una dosis de mantenimiento o una dosis de enriquecimiento que aumente la reserva de humus desde ese valor deficitario a un nivel adecuado.

El criterio de los metales pesados es un criterio de tipo legal en el cual se tienen que tener en cuenta las exigencias normativas contempladas en el Real Decreto sobre productos fertilizantes para las tres clases de productos fertilizantes elaborados a partir de materias de origen orgánico, animal o vegetal (A, B o C) y las limitaciones que se indican sobre dosificación (los tipos A y B se dosificarán siguiendo los códigos de buenas prácticas y el tipo C no podrá superar la dosis de 5 toneladas de materia seca por hectárea y año).

Una vez establecida la dosificación mediante alguno de los criterios mencionados, se deben comprobar los niveles aportados de todos los nutrientes, eligiendo la dosis que no suponga un aporte excesivo de ninguno de

estos elementos. En el caso de un déficit con esa dosis de cualquiera de los elementos que requiere el cultivo se puede realizar un aporte complementario con fertilizantes minerales.

c) Fraccionamiento de las aplicaciones

Un fraccionamiento del abonado permite, en general, un uso más eficiente del fertilizante aplicado. El fraccionamiento de la dosis total en dosis más pequeñas permite efectuar las aportaciones en momentos en que las necesidades en elementos nutritivos del cultivo son mayores. Con ello se reduce el riesgo de lavado de nitratos y, en consecuencia, el impacto negativo sobre las aguas por una menor salida de nutrientes hacia ellas.

Como recomendación general es necesario fraccionar las aportaciones, ya que esto además permite ajustar las dosis a aplicar de acuerdo con la evolución del cultivo y a posibles desviaciones de los objetivos de rendimiento inicialmente previstos.

En el caso de una fertilización basada en digeridos este principio también debe aplicarse, por lo que es necesario considerar una estrategia mixta orgánica – química, aplicando el digerido previo a la siembra y ajustando la fertilización mediante aportes puntuales de fertilizantes minerales. La aplicación del digerido no es recomendable que se realice sobre planta joven, ya que podría dar lugar a problemas de fitotoxicidad, tal y como se describe en el apartado 4. Los abonos minerales están especialmente indicados para intervenciones puntuales en periodos fenológicos críticos, que posibiliten elevadas producciones. En el caso de cultivos hortícolas caracterizados por su baja eficiencia en el uso del nitrógeno es necesario especialmente fraccionar las aplicaciones.



d) Métodos de la aplicación

La aplicación debe asegurar una correcta distribución de los fertilizantes, con una uniformidad de distribución adecuada, pues en caso contrario en algunas áreas de la parcela habrá un exceso de nutrientes que pueden sufrir un lavado, mientras que en otras partes habrá falta de los mismos, y la cosecha será muy inferior a la óptima. Deben distinguirse dos procesos, la distribución y la incorporación al suelo; alguna de las técnicas disponibles dan respuesta a las dos necesidades a la vez.

Básicamente se pueden considerar dos sistemas: fertirrigación y aplicación directa al suelo. Según la forma de aplicación del fertilizante al suelo varía su eficiencia, hecho que debe tenerse en cuenta al calcular las dosis de fertilizantes. La incorporación del fertilizante al suelo aumenta su eficiencia y, en consecuencia, la cantidad de nutrientes disponibles para la planta.

Como recomendación general, es necesario velar por la uniformidad de las aplicaciones de los fertilizantes, utilizar la maquinaria adecuada para cada tipo de fertilizante y hacer un adecuado mantenimiento y un correcto reglaje de la maquinaria de aplicación. Debe buscarse que la maquinaria de aplicación sea la adecuada para el tipo de producto que se pretenda aplicar. Esto quiere decir disponer de mecanismos que permitan ajustar la dosis a aplicar, asegurando una distribución uniforme del fertilizante.

Las formas de aplicación de los digeridos variarán en función de si han sido sometidos o no a separación. La fracción sólida, compostada o no, puede ser distribuida con abonadoras o esparcidoras sobre la superficie agrícola e incorporarlo al suelo mediante pase de cultivador. El digerido y la fracción líquida pueden ser distribuidos sobre toda la superficie agrícola mediante tanques dotados de boquillas (boquilla única por aspersión o rampa multiboquilla) e incorporar mediante pase de cultivador, o sobre superficie localizada mediante tubos colgantes o inyectores. La fracción líquida además podrá ser aplicada también mediante fertirrigación.

e) Limitaciones de la aplicación

Evitar la aplicación en zonas próximas a cursos de agua, en aquellos suelos con limitaciones debidas a salinidad, suelos helados o inundados debido a un mal drenaje o por lluvias recientes. Tampoco deben aplicarse sobre cultivos que se vayan a recolectar o tenga que entrar el ganado en un tiempo inferior a tres semanas.

Las aplicaciones del digerido deben hacerse antes de la siembra, con antelación suficiente para que no se produzcan efectos tóxicos por una acumulación temporal de amonio, nitratos o sales en la parte superficial del suelo.

En la mayoría de los casos el uso del digerido se plantea como un abonado de fondo, que únicamente suministrará una parte de las necesidades fertilizantes del cultivo.



6. Recomendaciones para la correcta utilización del digerido

Para una correcta utilización de los digeridos hay que tener en cuenta una serie de puntos relacionados con las disposiciones de los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias, que planteamos de forma general, pero que habría que ver de forma más específica según la comunidad autónoma en la que se vaya a realizar la aplicación por si existen mayores restricciones:

- Periodos en que no es conveniente la aplicación de fertilizantes:
 - No se deberían aplicar en los meses de concentración de lluvias o en época de fuertes lluvias;
- Aplicación en terrenos inclinados o escarpados:
 - Distribución en sentido perpendicular a la pendiente para minimizar pérdidas.
 - Preferencia por las formas sólidas frente a las líquidas y enterramiento de las mismas.
- Aplicación en terrenos hidromorfos, inundados, helados o cubiertos de nieve:
 - Se desaconseja la aplicación de fertilizantes en estos tipos de terreno, salvo casos límite.
 - Se permite en el caso del cultivo de arroz.
- Aplicación a suelos cercanos a cursos de agua:
 - Franjas de 'no aplicación' variables (desde 35 metros sin aplicar fertilizantes orgánicos a 250 metros de distancia a ríos, pozos, fuentes o cualquier dispositivo de recogida de aguas potables).

Teniendo en cuenta la disparidad climática y edáfica que existe en todo el territorio contemplado, vamos a realizar unas recomendaciones generales de aplicación o no aplicación de los digeridos en sus diferentes formas a los cultivos, basadas en la información disponible en los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias, pero siempre habrá que ver si en el lugar donde vamos a realizar los cultivos las condiciones son adecuadas.

En el caso del digerido bruto, se toma como guía lo contemplado en los Códigos de Buenas Prácticas Agrarias para los purines/lisieres, que proponen unos periodos sin aplicaciones (Tabla 20).

En el caso de digerido sólido, compostado o no, debería aplicarse de forma general, tras conocer su composición, de modo que se sincronice al máximo la disponibilidad de nutrientes y las necesidades de los cultivos, y se reduzcan en lo posible las emisiones al aire o al agua (lixiviación). Normalmente estas enmiendas orgánicas se aportarán como abonado de fondo.

Tabla 20. Recomendaciones de épocas sin aplicación de digerido.

Cultivos	Periodos sin aplicación
Sin cultivo	Todo el año, salvo cuando se van a realizar labores de reforestación.
Cereales de otoño - invierno	Desde la siembra hasta la recolección.
Cereales de primavera	Desde la siembra hasta la recolección.
Cultivos forrajeros	Desde la siembra hasta la recolección (forraje ensilado). Durante 15-30 días entre aplicación y entrada de ganado (forraje pasto).
Hortícolas	Desde un mes antes de la siembra hasta la recolección.
Frutales	Durante la parada vegetativa hasta la salida invernal.
Cítricos	Durante la parada vegetativa hasta la salida invernal y en el cuajado de frutos.

Cuando el digerido sólido esté fresco o poco estabilizado deberá aplicarse con suficiente antelación a la fecha de siembra, trasplante o plantación del cultivo, siendo necesario un periodo de antelación de al menos 3-4 semanas en verano y de 4-6 en invierno (Tabla 21).

Cuando la aplicación se realice en cultivos hortícolas que sean sensibles a la presencia de materia orgánica fresca en el suelo, será conveniente aplicarlos en el cultivo anterior.



Tabla 21. Recomendaciones de épocas sin aplicación de digerido sólido.

Cultivos	Periodos sin aplicación
Sin cultivo	Todo el año.
Cereales de otoño - invierno	Desde la siembra hasta la recolección o preparación del suelo para el cultivo siguiente.
Cereales de primavera	Desde la siembra hasta la recolección o preparación del suelo para el cultivo siguiente.
Cultivos forrajeros	Desde la siembra hasta la recolección (forraje ensilado). Desde un mes antes de la entrada del ganado (forraje pasto).
Hortícolas	Desde 3-6 semanas, según madurez, antes de la siembra/trasplante hasta la recolección.
Frutales	Después de la floración.
Cítricos	Durante el cuajado de los frutos.

En el caso de la fracción líquida del digerido (digerido líquido) se podría utilizar, tras conocer su composición y según los requerimientos del cultivo, complementando con fertilizantes minerales en fertirrigación (siempre que el tamaño y la cantidad de las partículas en suspensión no supongan ningún problema en la instalación de riego) o aplicándola mediante los distintos equipos mecánicos en la superficie del suelo o por inyección. Las aplicaciones deberían realizarse en base al ritmo de extracción de los nutrientes procurando obtener la máxima eficiencia e incorporando el digerido inmediatamente al suelo para minimizar pérdidas.

A modo de resumen para una correcta aplicación se propone:

- Las cantidades totales de digerido que se ha de aplicar por unidad de superficie dependen de su composición; por lo que es necesario disponer de datos analíticos antes de su utilización;
- Conviene que las aportaciones de digerido se ajusten a las necesidades en fertilizantes de los cultivos;
- El fraccionamiento del digerido permite un uso más eficiente del mismo;
- La aplicación debe asegurar una correcta distribución del digerido con una uniformidad de distribución adecuada;
- Es necesario conocer la superficie ocupada por cada cultivo, las exigencias de abonos de los cultivos y la cantidad aplicada de nitrógeno,

fósforo y potasio de todos los orígenes para elaborar un plan de fertilización;

- Se debe hacer análisis periódicos del suelo para conocer los contenidos de nitratos, fósforo, potasio, salinidad, materia orgánica y pH;
- Evitar la aplicación de digeridos en aquellos periodos del año en que se prevean lluvias para minimizar el riesgo del lavado de nitratos;
- Prestar especial atención a las aplicaciones en suelos con alta pendiente, ya que en ellos aumenta considerablemente el riesgo de pérdidas de los elementos fertilizantes por escorrentía;
- Se desaconsejan las aplicaciones de fertilizantes en suelos encharcados;
- En el caso de suelos inundables se recomienda evitar las aplicaciones en épocas de riesgo de inundación e incorporar el digerido al suelo inmediatamente;
- En los suelos que permanezcan helados durante largos periodos deberá evaluarse el grado de restricción para el uso de los digeridos;
- En el caso de suelos nevados existe el riesgo de que al fundirse la nieve se produzcan pérdidas por escorrentía. Por lo que en general, no es conveniente la aplicación de digeridos en tales circunstancias.



7. Registro de productos fertilizantes

Según la legislación vigente, para registrar un producto como fertilizante se puede acudir tanto al Reglamento CE 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003, relativo a abonos, así como su correspondiente transcripción española, el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Por otro lado, en el Reglamento CE 2003/2003 se prevé que sean los Estados miembros quienes complementen su desarrollo en determinados aspectos, tales como la expresión de los contenidos en nutrientes principales y secundarios, la adopción de medidas de control para evaluar la calidad de los abonos, etc. Acorde al Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes, se diferencian los siguientes tipos de fertilizantes:

Grupo 1: Abonos inorgánicos nacionales, hacen referencia a los productos fertilizantes de origen inorgánico.

Grupo 2: Abonos orgánicos, referidos a los productos fertilizantes de origen orgánico.

Grupo 3: Abonos órgano-minerales, que incluyen a los productos fertilizantes procedentes tanto de origen inorgánico como orgánico.

Grupo 4: Otros abonos y grupos especiales, que engloban al resto de productos fertilizantes que no se incluyen en los grupos anteriores.

Teniendo en cuenta que el digerido se trata de un efluente líquido, cuya composición depende directamente de la alimentación al digestor y de las condiciones del proceso de digestión y considerando que, generalmente su contenido en los nutrientes nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) se encuentra por debajo de los contenidos mínimos recogidos en el Real Decreto, en principio se podría clasificar dentro del Grupo 3, en la categoría de NPK líquidos. Para cumplir con los contenidos mínimos exigidos por la legislación sería necesario generar una mezcla del digerido con abonos inorgánicos, añadidos para poder alcanzar los contenidos mínimos exigidos por dicha ley, tal y como se explica en el apartado 4. La inclusión de un nuevo tipo de abono procedente de los

materiales digeridos es una opción a considerar con las autoridades competentes. No obstante siempre exigiría un contenido mínimo de nutrientes, que debería tenerse en cuenta a la hora de diseñar el proceso de digestión anaerobia, así como unas características estables del material digerido. Además los digeridos deben cumplir los requisitos exigidos en el anexo V del citado Real Decreto 824/2005.

Sin embargo, en el caso de que el digerido se separara la fase acuosa y la fase sólida y ésta se secase, el producto fertilizante obtenido se clasificaría dentro del Grupo 2 como un abono orgánico sólido NPK de origen vegetal y animal (según la alimentación al digestor). El Real Decreto modificado por la Orden APA/863/2008 especifica:

- Abono orgánico NPK de origen animal: Producto sólido obtenido por tratamiento de excrementos animales - con o sin cama - sin ácidos minerales. Se incluyen los restos de pescado compostado.
- Abono orgánico NPK de origen animal y vegetal: Producto sólido obtenido por tratamiento de excrementos animales mezclados con materias orgánicas animales y vegetales.

El contenido mínimo de nutrientes exigido se resume en la Tabla 22. Debe declararse la humedad mínima y máxima y garantizarse el contenido de nutrientes: N total y N orgánico; P_2O_5 ; K_2O ; C orgánico; C/N; Ácidos húmicos (si superan el 1%).

Tabla 22. Contenido mínimo de nutrientes exigido para abonos orgánicos NPK.

Tipo de abono	Contenido mínimo en nutrientes (porcentaje en peso)
Abono orgánico NPK de origen animal	$N + P_2O_5 + K_2O = 6\%$. $C/N < 10$. Cada nutriente debe ser al menos un 1%. N orgánico debe ser al menos un 50% de N total, con un mínimo del 1%. N nítrico no debe exceder del 1,5%.
Abono orgánico NPK de origen animal y vegetal	$N + P_2O_5 + K_2O = 4\%$. $C/N < 15$. Cada nutriente debe ser al menos un 1%.



Para registrar un producto como fertilizante, se debe llevar a cabo un procedimiento especificado por el Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Aquellos incluidos en los grupos 2 y 3 deben haber sido previamente inscritos en el Registro de productos fertilizantes de la Dirección General de Agricultura del Ministerio Medio Ambiente, Medio Rural y Marino para poder ser puestos en el mercado. Esta inscripción previa tiene como finalidad mantener la siguiente información de los productos:

- Nombre comercial.
- Tipo de producto fertilizante.
- Fabricante del producto, responsable de su puesta en el mercado en España.
- Ingredientes utilizados en su fabricación.
- Contenido en nutrientes.
- Clase de producto (A, B o C), en cuanto a sus contenidos máximos en metales pesados.
- Las limitaciones y condicionamientos de uso, si las hubiera.
- Número de registro.
- Fecha de inscripción y caducidad de ésta.

Dos meses antes de iniciar la comercialización, el fabricante deberá presentar por triplicado, una comunicación a la Dirección General de Agricultura, quien remitirá una copia a los Ministerios de Sanidad y Política Social y de Medio Ambiente, Rural y Marino, conteniendo lo siguiente:

- Nombre o razón social, dirección y número de identificación fiscal del fabricante como responsable del producto.
- Denominación del tipo de producto de acuerdo a la clasificación anterior en los diversos grupos.
- Nombre comercial del producto en España.
- Instalación donde se fabrica el producto.

- Declaración detallada de todas las materias primas utilizadas en su fabricación, con el porcentaje en masa que corresponda a cada una de ellas. Las materias primas de origen orgánico se detallarán e identificarán con la nomenclatura y código numérico del anexo IV.
- Declaración del contenido en nutrientes, parámetros y demás características exigibles para el tipo de producto fertilizante al que corresponda.
- Ficha de datos de seguridad para aquellos productos clasificados como peligrosos, de acuerdo con el Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero y el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo.

En ningún caso podrán ser objeto de inscripción aquellos productos que no cumplan alguno de los requisitos previstos en dicho Real Decreto. Transcurrido el plazo de dos meses desde la comunicación, el fabricante podrá proceder a la comercialización del producto, salvo que, dentro de este plazo, se notifiquen errores a subsanar o que el producto fertilizante no se ajusta a este Real Decreto. La notificación interrumpirá el trámite de la inscripción en el registro, así como el cómputo del plazo, y el procedimiento se sustanciará en el plazo máximo de seis meses. Toda renovación, revisión o cualquier otra modificación de la inscripción, así como su cancelación o extinción deben ser inscritas en el Registro de productos fertilizantes. La inscripción tendrá una validez de 10 años. El producto fertilizante debe cumplir los contenidos mínimos de nutrientes especificados, además de otras limitaciones que aparecen en el anexo V del Real Decreto 824/2005 en lo que respecta a fertilizantes elaborados con residuos y otros componentes orgánicos. Se debe tener en cuenta el porcentaje de nitrógeno orgánico, la humedad, la granulometría, límites máximos de microorganismos, límites de metales pesados y limitaciones de uso. Para demostrar y certificar todo lo anterior, se deben hacer análisis de las propiedades y parámetros del digerido para garantizar su viabilidad como fertilizante. En el anexo VI de la Orden APA/863/2008, se muestran diversos métodos analíticos para acreditar y comprobar la conformidad de los productos fertilizantes según lo dispuesto en dicha orden y en el Real Decreto.



Además de la legislación mencionada anteriormente, también se debe revisar la Ley 10/1998 de Residuos de 21 de abril. Dado que el digerido es un residuo, es obligación de la planta de biogás gestionarlo o almacenarlo adecuadamente, con lo que comercializarlo y registrarlo como fertilizante resulta una medida adecuada siempre y cuando no ponga en peligro la salud humana, del medio ambiente, de la flora o la fauna y no se utilicen procedimientos ni métodos que puedan crear riesgos para el agua, aire o suelo.

El Dictamen del Comité Económico y Social Europeo referente al Libro Verde sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea, de 1 de octubre de 2009, recoge que es indispensable apoyar el aumento del reciclado y la recuperación de los biorresiduos. Se hace necesario no sólo informar y animar a los productores de biorresiduos, sino también actuar en las administraciones encargadas de estos asuntos. Se plantea instaurar la medida de incitar a cada Estado miembro a fijar un objetivo de utilización de fertilizantes de origen renovable. Entre estas medidas se podrían considerar las siguientes:

- Incentivos fiscales a favor de las operaciones de reciclado de los residuos biodegradables y de recuperación del digerido.
- La introducción de cláusulas en los contratos públicos por las que se privilegie la utilización de fertilizantes de origen renovable.
- La promoción de sistemas de garantía de calidad en las etapas de tratamientos biológicos.
- La recuperación energética de la fracción residual de residuos.

Para los denominados biorresiduos, el método de gestión es prioritario en cuestiones de reciclado. Lo importante es alcanzar los objetivos de reciclado y calidad de materia final, cualquiera que sea la tecnología o el método de organización elegido. Los criterios de calidad sanitaria y medioambiental de los materiales finales (compost o digerido) deben establecerse sobre la base de estudios de riesgos científicos. Los criterios finales de calidad del compost o digerido deben determinarse en función de los usos considerados y verdaderos análisis de riesgos basados en metodologías sólidas y acreditadas. Para desarrollar el tratamiento de los biorresiduos, cuyas condiciones varían en

función de la geografía, del clima y de los mercados tanto para el compost como para el digerido, es preferible encomendar la tarea a los Estados miembros en el marco de directrices claras establecidas a nivel europeo y criterios de calidad científicamente establecidos.



8. Bibliografía

- APHA, 2005. Standard methods for the examination of water & wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, DC, USA.
- ASCP, 2001. Quality criteria for composts and digestates from biodegradable waste management. Published by the Association of Swiss Compost Plants (ASCP) in collaboration with the Swiss Biogas Forum.
- Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., Moral, R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* 100, 5444-5453.
- Brookman, S.K.E., 1997. Estimation of biochemical oxygen demand in slurry and effluents using ultra-violet spectrophotometry. *Water Research* 31, 372-374.
- BSI, 2010. PAS 110:2010, Specification for whole digestate, separated liquor and separated fibre derived from the anaerobic digestion of source-segregated biodegradable materials. British Standard Institution, London.
- Chadwick, D., 2007. Digestate as a fertiliser-Environmental concerns. In: *Anaerobic Digestion Stakeholder Workshop. Session IV: Building the Market for Digestate. 4th September 2007. Exeter University, UK.*
- Comisión Europea, 2001. Working document on biological treatment of biowaste, 2nd draft. Bruselas, 12 de febrero de 2001. <http://www.compost.it/biod.pdf>
- DCES, 2001. Dictamen del Comité Económico y Social sobre la "Revisión de la Directiva 86/278/CE del Consejo relativa a la utilización de los lodos de depuradora en agricultura". DOUE C-14 de 16-01-2001.
- Directiva 86/278/CE del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura. DOUE L181, 6-12.
- Directiva 91/676/CE del Consejo de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en agricultura. DOUE L375, 1-8.
- Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos. DOUE L182, 1-19.
- Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 relativa a los residuos. DOUE L114/9, 9-21.
- Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. DOUE L24, 8-29.

- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. DOUE L312, 3-30.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. DOUE L140, 16-62.
- Domínguez Vivancos, A., 1990. El abonado de los cultivos. Ediciones Mundi-Prensa.
- Edelmann, W., Baier, U., Engeli, H., 2004. Environmental aspects of the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid wastes and of agricultural wastes. <http://www.arbi.ch/LCA%20AD%20OFMSW.pdf>
- Fuchs, J.G., Berner, A., Mayer, J., Smidt, E. Schleiss, K., 2008. Influence of compost and digestates on plant growth and health: potentials and limits. En: Proceedings of the International Congress CODIS 2008. 27-29 de Febrero de 2008. Solothurn, Switzerland, pp. 101-110.
- Gómez, X., Cuetos, M.J., García, A.I., Morán, A., 2007. An evaluation of stability by thermogravimetric analysis of digestate obtained from different biowastes. Journal of Hazardous Materials 149, 97-105.
- Joensson, O., Hammar, A., Ivarsson, S., 2002. Biogas feeding to the natural gas grid and digestate use in the Swedish biogas plant of Laholm. European Workshop: Impact of Waste Management Legislation on Biogas Technology, Tulln, Austria, September 12-14.
- Kupper, T., Brändli, R.C., Bucheli, T.D., Stämpfli, C., Zennegg, M., Berger, U., Edder, P., Pohl, M., Niang, F., Iozza, S., Müller, J., Schaffner, C., Schmid, P., Huber, S., Ortelli, D., van Slooten, K.B., Mayer, J., Bachmann, H.J., Stadelmann, F.X., Tarradellas, J., 2008. Organic pollutants in compost and digestate: occurrence, fate and impacts. En: Proceedings of the International Congress CODIS 2008. 27-29 de Febrero de 2008. Solothurn, Switzerland, pp. 27-34.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. BOE 96, 13372-13384.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. BOE 157, 23910-23927.
- MARM, 2010a. El sector del biogás agroindustrial en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Dirección General de Recursos Agrícolas y Ganaderos. http://www.mapa.es/ganaderia/pags/Medio_Ambiente/DOCBIOGASVersion21-09-2010.pdf
- MARM, 2010b. Anuario de Estadística del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/2009/indice.asp?parte=3&capitulo=15&grupo=2>



- MARM, 2010c. El Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en España 2009. <http://www.mapa.es/ministerio/pags/memoria2009/pdf/11-CAP-II-Agricultura%20y%20ganader%C3%ADa.pdf>
- MARM, 2010d. Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Orden APA/863/2008, de 25 de marzo, por la que se modifican los anexos I, II, III, y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. BOE 79, 18145-18180.
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. BOE 43, 6494-6515.
- Palm, O., 2008. The quality of liquid and solid digestate from biogas plants and its application in agriculture. En: ECN/ORBIT e.V. Workshop 2008. The future for Anaerobic Digestion of Organic Waste in Europe.
- Pfundtner, E., 2002. Limits and Merits of Sludge Utilisation – Land Application. European workshop: Impact of Waste Management Legislation on Biogas Technology, Tulln, Austria, September 12-14.
- Ponsá, S., Gea, T., Sánchez, A., 2010. Different Indices to Express Biodegradability in Organic Solid Wastes. Journal of Environmental Quality 39, 706-712.
- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosos. BOE 133, 16544-16547.
- Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero 1996, sobreprotección de aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. BOE 61, 9734-9737.
- Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. BOE 58, 9505-9512.
- Real Decreto 3483/2000, de 29 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. BOE 11, 1434-1435.
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. BOE 25, 3507-3521.
- Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos. BOE 54, 8433-8469.
- Real Decreto 1429/2003, de 21 de noviembre, por el que se regulan las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria en materia de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano. BOE 280, 41466-41474.

- Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. BOE 171, 25592-25669.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE 294, 50639-50652.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. BOE 126, 22846-22886.
- Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines. BOE 151, 52291-52301.
- Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. BOE 170, 61831-61859.
- Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 3 de octubre de 2002 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano. DOUE L273, 1-95.
- Reglamento (CE) nº 2003/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 relativo a los abonos. DOUE L304, 1-194.
- Reglamento (CE) nº 1881/2006 de la Comisión de 19 de diciembre de 2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. DOUE L364, 5-24.
- Reglamento (CE) nº 208/2006 de la Comisión de 7 de febrero de 2006 por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere a las normas de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol. DOUE L36, 25-31.
- Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo de 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CEE) nº 2092/91. DOUE L189, 1-23.
- Reglamento (CE) nº 889/2008 de la Comisión de 5 de septiembre de 2008 por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) nº 834/2007 del Consejo sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos, con respecto a la producción ecológica, su etiquetado y su control. DOUE L250, 1-84.
- Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de octubre de 2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales). DOUE L300, 1-33.
- Sánchez, M., Gomez, X., Barriocanal, G., Cuetos, M.J., Morán, A., 2008. Assessment of the stability of livestock farm wastes treated by anaerobic digestion. *International Biodeterioration and Biodegradation* 62, 421-426.
- Schievano, A., Adani, F., Tambone, F., D'Imporzano, G., Scaglia, B., Genevini, P.L., 2008. What is digestate?. En: Adani, F., Schievano, A., Boccasile, G. (Eds.), *Anaerobic*



Digestion: Opportunities for Agriculture and Environment. Milano, Italy: Regione Lombardia, pp. 7-18.

- Siebert, S., Thelen-Jüngling, M., Kehres, B., 2008. Development of quality assurance and quality characteristics of composts and digestates in Germany. En: 6th International conference ORBIT 2008, Moving Organic Waste Recycling Towards Resource Management and Biobased Economy. 13-15 de Octubre de 2008 Wageningen, The Netherlands, pp. 1-12.
- Smith, K.A., Metcalfe, P., Grylls, J., Jeffrey, W., Sinclair, A., 2007. Nutrient value of digestate from farm-based biogas plants in Scotland. Report for Scottish Executive Environment and Rural Affairs Department-ADA/009/06. <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/1057/0053041.pdf>
- Zucconi, F., de Bertoldi, M., 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. En: de Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite P., Zucconi, F. (Eds.), Compost: Production, Quality and Use. Elsevier. Barking, pp. 30-50.

ANEXO I: Casos prácticos



I. Casos prácticos

En este apartado se presentan algunos experimentos realizados sobre diversos cultivos, utilizando el digerido y la fracción sólida (digerido sólido) como fertilizantes en sustitución de abonos minerales u orgánicos.

I.1. Aplicación del digerido en cultivos hortícolas

El planteamiento realizado en los ensayos que se presentan sobre cultivos hortícolas consiste en la aplicación de digerido como abonado de fondo, comparándolo con la aplicación de una enmienda orgánica frecuentemente utilizada (estiércol vacuno) y el abonado mineral. Durante dos años se ensayaron dos cultivos consecutivos, uno de verano (sandía) y otro de invierno (coliflor), en plantaciones al aire libre utilizando tres parcelas de experimentación de 32 m² por tratamiento. El programa de fertilización se distribuyó entre el abonado de fondo y el de cobertera, en cada uno de los cultivos ensayados.

Cultivo de verano: sandía

El cultivar de sandía de calibre mini ensayado fue *Precious Petite* de la casa comercial Syngenta y el polinizador *Miniazabache* de Intersemillas. Con el objeto de evitar problemas debido a la enfermedad vascular FON (*Fusarium oxysporum* f. sp. Niveum) que se puede encontrar en el suelo, se optó por injertar la planta sobre portainjerto de *Cucurbita Máxima* x *Cucurbita Moschata* (*Shintoza*). El marco de plantación fue 2,5 x 0,8 m. El sistema de riego fue riego localizado, considerando diferentes sectores para cada tratamiento. Los tratamientos fertilizantes fueron:

- Control sin fertilización;
- Fertilizante mineral: abonado de fondo con 625 kg/ha de complejo 15-15-15 (95 kg de N, 95 kg de P₂O₅ y 95 kg de K₂O por hectárea),

complementado con 410 kg/ha de nitrato amónico 34,5% y 280 kg/ha de sulfato potásico a través del agua de riego;

- Digerido en una aplicación equivalente del N aportado en la fertilización mineral: abonado de fondo 60.000 l/ha (aportó 250 kg de N, 40 kg de P_2O_5 y 140 kg de K_2O por hectárea), complementado con 65 l/ha ácido fosfórico 75% y 190 kg/ha sulfato potásico;
- Abonado orgánico: estiércol vacuno (22.500 kg/ha, que aportó 250 kg de N, 55 kg de P_2O_5 y 160 kg de K_2O por hectárea), complementado con 45 l/ha de ácido fosfórico 75% y 150 kg/ha de sulfato potásico, aplicados en el agua de riego.

La aplicación del digerido y del estiércol vacuno se realizó 8 semanas antes de la plantación, incorporándose inmediatamente después al suelo. El abonado de fondo con abonos minerales se aplicó 2 semanas antes de la plantación.

Tabla I.1. Producción del cultivo de sandía en los dos años.

<i>Primer año</i>					
Tratamiento	Rendimiento (kg/m ²)	Peso medio (kg)	Rendimiento polinizador (kg/m ²)	Rend. total comercial (kg/m ²)	Destrío total (kg/m ²)
Digerido	3,69	2,354	1,10 a	4,79	0,27
Mineral	3,25	2,151	0,95 a	4,20	0,24
Orgánico	3,04	2,269	0,73 ab	3,77	0,18
Control sin fertilizante	2,78	2,187	0,43 b	3,21	0,06
<i>Significación</i>	NS	NS	*	NS	NS
<i>Segundo año</i>					
Tratamiento	Rendimiento (kg/m ²)	Peso medio (kg)	Rendimiento polinizador (kg/m ²)	Rend. total comercial (kg/m ²)	Destrío total (kg/m ²)
Digerido	4,19 ab	2,128	2,47	6,66 ab	0,06
Mineral	5,66 a	2,199	1,99	7,65 a	0,00
Orgánico	3,12 b	1,901	1,71	4,83 b	0,14
Control sin fertilizante	3,16 b	2,291	1,45	4,61 b	0,06
<i>Significación</i>	*	NS	NS	*	NS

NS: no significativo y *: Significativo a $P<0,05$.



Los datos productivos indican una buena respuesta del cultivo a la aplicación de digerido, aunque sin diferencias significativas con el resto de tratamientos ensayados en la primera anualidad (Tabla I.1). Sin embargo, en el segundo año se aprecia una mejora en el rendimiento de sandía en el abonado mineral y con digerido respecto al orgánico y el control sin fertilizar, con los mejores resultados en el abonado mineral. Los calibres de los frutos fueron semejantes en todos los tratamientos ensayados, aunque con el digerido se aprecia un mayor porcentaje de frutos con calibres entre 2 y 3 kg (Figura I.1).

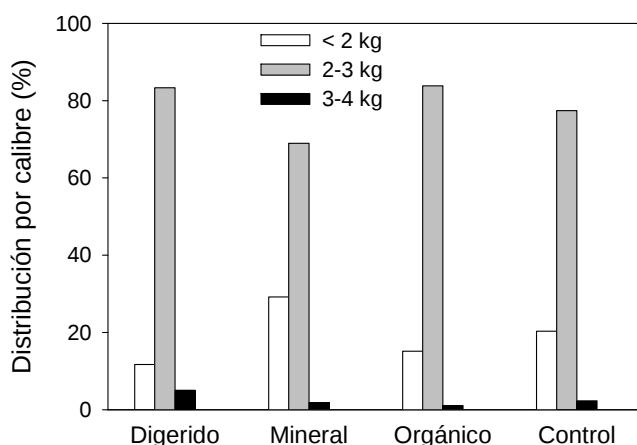


Figura I.1.
Distribución por calibre de los frutos de sandía en los distintos tratamientos fertilizantes.

Con respecto a la calidad de los frutos (Tabla I.2), aquellos procedentes del tratamiento con el digerido presentaron unas características organolépticas buenas y muy parecidas a los frutos procedentes del abonado mineral. Existieron escasas diferencias en la calidad de los frutos entre los distintos tratamientos fertilizantes en el primer año.

En el segundo año de cultivo, el peso medio de los frutos fue similar en todos los tratamientos, rondando los 2,200 kg/fruto en todos los tratamientos ensayados, con pesos medios ligeramente más bajos en la fertilización orgánica (1,900 kg/fruto) aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas. Conviene destacar que el rendimiento por destrío fue nulo en la fertilización mineral, siendo todas las piezas comerciales.

Tabla I.2. Calidad de fruto de sandía en el primer año. La cata se evalúa como sabor/textura.

Tratamiento	Intensidad color de pulpa (1-10)	Grosor de corteza (mm)	°Brix	Cata (0-5)	Peso total (kg)	Peso medio (kg/fruto)	Agua (%)
Digerido	3,89	7,00ab	11,93ab	3,00	10,225	2,557	92,71
Mineral	3,78	6,02b	12,87a	4,00	8,385	2,097	92,34
Orgánico	3,72	7,36ab	11,47b	3,00	9,420	2,355	93,11
Control	3,39	8,26a	10,87b	3,00	9,077	2,269	93,60
Significación	NS	*	*	NS	NS	NS	NS

NS: no significativo y *: Significativo a $P<0,05$.

A lo largo del ciclo de cultivo se realizaron mediciones del vigor y la homogeneidad, observándose diferencias entre los distintos tratamientos, con resultados similares en los dos años. Así pues, las parcelas en las que se aplicó el material digerido y las que fueron abonadas con fertilización mineral presentaron mayor vigor y un mayor porcentaje de cubrición del suelo (Figura I.2). Las parcelas en las que se aplicó estiércol vacuno presentaron menor vigor que las anteriores y una menor homogeneidad. Por último, las parcelas testigo mostraron muy poco vigor y mucha menos densidad vegetal.

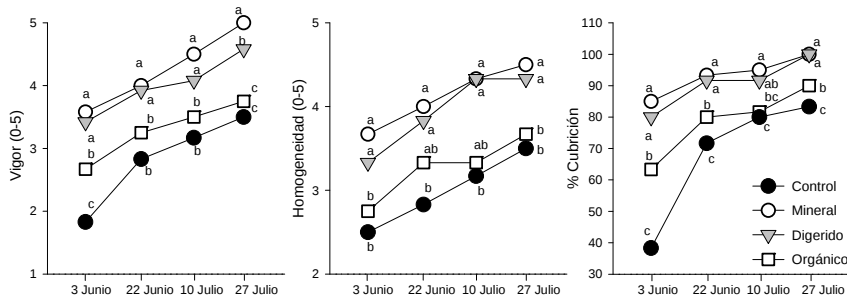


Figura I.2. Valoración del cultivo de sandía (vigor, homogeneidad y % cubrición). Para cada parámetro evaluado y fecha de medición, valores seguidos de la misma letra no son estadísticamente diferentes ($P<0,01$).

Tras obtener resultados similares en las dos campañas, se puede concluir que en los tratamientos donde se aplicó digerido o una fertilización mineral se



obtuvo un mayor desarrollo de la planta, siendo el vigor y la homogeneidad mejores en los tratamientos de digerido y fertilización mineral con respecto al control sin fertilización y al abonado orgánico con estiércol.

En conclusión, se puede afirmar que la aplicación de digerido en el cultivo de sandía ha dado lugar a unos buenos rendimientos productivos y un buen desarrollo de la planta, siendo similares a los resultados obtenidos con la fertilización mineral. El digerido no ha provocado problemas de fitotoxicidad y los parámetros de control evaluados no han mostrado problemas tras la aplicación de la dosis de digerido. En cuanto al contenido nutricional en la parte comercializable, se ha observado una clara influencia del tratamiento con fertilización mineral frente al resto de tratamientos.

Cultivo de invierno: coliflor

El diseño experimental fue el mismo que el realizado para el cultivo de la sandía. La variedad de coliflor cultivada con un ciclo de 120 días fue *Meridien* de la casa comercial Clause. El marco de plantación fue 1 x 0,64 m tresbolillo y las parcelas de 32 m². El sistema de riego fue riego localizado, con diferentes sectores para cada tratamiento. Los tratamientos fertilizantes fueron:

- Control sin fertilización;
- Fertilizante mineral: abonado de fondo con 625 kg/ha de complejo 15-15-15 (95 kg de N, 95 kg de P₂O₅ y 95 kg de K₂O por hectárea), complementado con 450 kg/ha de nitrato amónico 34,5% y 315 kg/ha de sulfato potásico mediante fertirrigación;
- Digerido en una aplicación equivalente del N aportado en la fertilización mineral: abonado de fondo 62.500 l/ha (250 kg de N, 10 kg de P₂O₅ y 75 kg de K₂O por hectárea), complementado con 100 l/ha ácido fosfórico 75% y 350 kg/ha sulfato potásico mediante fertirrigación;
- Abonado orgánico: estiércol vacuno (25.000 kg/ha, que aportó 250 kg de N, 82 kg de P₂O₅ y 235 kg de K₂O por hectárea), complementado con 15 l/ha de ácido fosfórico 75% y 30 kg/ha de sulfato potásico mediante fertirrigación.

La aplicación del digerido y del estiércol vacuno se realizó 8 semanas antes de la plantación, incorporándose inmediatamente después al suelo. El abonado de fondo con abonos minerales se aplicó 2 semanas antes de la plantación.

Los resultados productivos de peso medio no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos aplicados (Figura I.3). Sin embargo, el tratamiento con fertilización mineral dio lugar a una mayor producción comercial y a un mejor desarrollo de las plantas, observándose los menores valores en el caso del tratamiento control sin fertilizante. En las parcelas con abonado de digerido y con estiércol, el desarrollo de las plantas también fue deficiente obteniendo un menor rendimiento comercial y un elevado rendimiento de destrío.

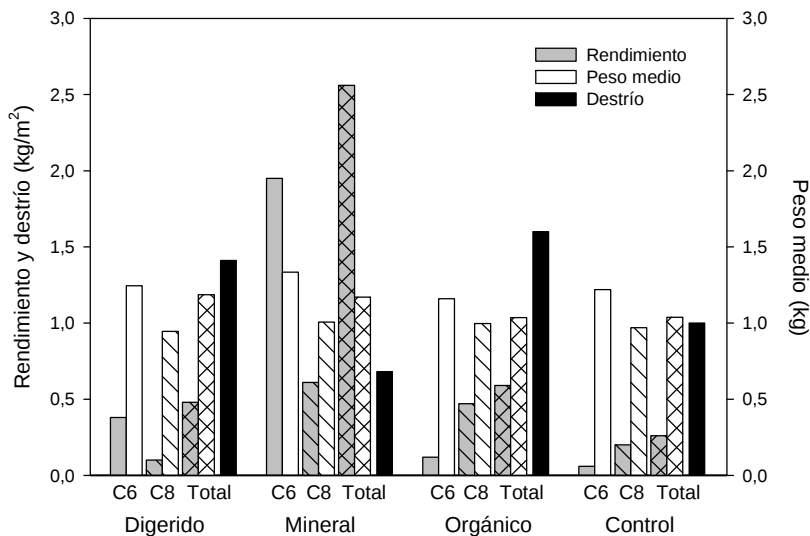


Figura I.3. Rendimiento y peso medio del cultivo de coliflor en los diferentes tratamientos fertilizantes, distribuido por calibre (C6: calibre 6; C8: calibre 8) y total.

A lo largo del ciclo de cultivo se realizaron varias mediciones de vigor y homogeneidad en diferentes fechas, observándose que en las parcelas que fueron abonadas con una fertilización mineral, las plantas eran vigorosas, con buen aspecto y color. Sin embargo, las plantas abonadas con el digerido presentaron hojas de color más claro y erectas, con poca frondosidad y ligera



coloración rojiza, al igual que las plantas del tratamiento con estiércol, mientras que las del control mostraron una pronunciada coloración rojiza por afección de bajas temperaturas, al estar la planta débil, y al final del cultivo presentaron coloraciones rojizas en las hojas y baja frondosidad.

En el caso de la coliflor, en las parcelas a las que se les aplicó como abonado de fondo el digerido y el estiércol de origen animal, el desarrollo de las plantas fue deficiente, obteniendo unos bajos rendimientos comerciales. De estos resultados se puede sospechar que este cultivo podría mostrar una cierta sensibilidad a la aportación de materia orgánica mediante estos tipos de abonado. También se tiene la hipótesis de que quizá el momento de aplicación del digerido sea importante e influya en los posteriores rendimientos de los cultivos.

I.2. Aplicación del digerido en frutales

La evaluación agronómica del digerido como fertilizante orgánico sobre frutales incluye dos cultivos de gran interés en agricultura: clementino y nectarina, representativos de los cítricos y frutales de hueso, respectivamente. Los ensayos se desarrollaron sobre plantones de un año en lugar de árboles adultos, debido a su mayor sensibilidad frente a cualquier efecto indeseable tras la aplicación del digerido y su mayor capacidad de respuesta rápida frente a los tratamientos.

El ensayo se estableció en una parcela al aire libre donde los plantones de ambos frutales, clementino y nectarina, se trasplantaron a contenedores de 50 l. Una vez arraigados los plantones, se aplicaron los siguientes tratamientos de abonado, teniendo en cuenta necesidades nutricionales para plantones jóvenes en ambas especies de frutales (40 g de N, 20 g de P_2O_5 y 20 g de K_2O por cada plantón):

- Testigo sin fertilización (T);
- Fertilización mineral (N): 87,6 g/plantón de nitrato amónico, 32,786 g/plantón de fosfato monoamónico y 43,29 g/plantón de nitrato potásico;

- Digerido en dosis baja (O50): 50% del N aplicado con el tratamiento N (4,88 l/plantón), complementado con ácido fosfórico (20,8 ml/plantón) y sulfato potásico (16,6 g/plantón);
- Digerido dosis media (O100): 100% del N aplicado con el tratamiento N (9,76 l/plantón), complementado con ácido fosfórico (10,4 ml/plantón) y sulfato potásico (8,308 g/plantón);
- Digerido dosis alta (O200): 200% del N aplicado con el tratamiento N (19,52 l/plantón), complementado con ácido fosfórico (5,2 ml/plantón) y sulfato potásico (4,15 g/plantón).

Cada uno de los tratamientos se aplicó a doce plantones de cada una de las dos especies ensayadas, dispuestos al azar en la parcela experimental. El digerido, procedente de una planta comercial de digestión anaerobia de purines, se recogió antes de la separación sólido-líquido y se almacenó en contenedores adecuados hasta su uso. Los distintos tratamientos se aplicaron de forma fraccionada semanalmente desde mayo hasta octubre (veinte semanas). Las aplicaciones de digerido se complementaron con fósforo y potasio para lograr los niveles equivalentes al fertilizante mineral.

Los signos de abolladura (*Taphrina deformans*) observada en algunos plantones de nectarina fueron tratados con Dodina al 40%. Tras terminar la fertilización, dejando el periodo aconsejado de descanso, se realizó el muestreo foliar de los plantones y las medidas de los parámetros de control de los mismos.

Los resultados obtenidos tras el análisis foliar en ambos frutales muestran que el contenido de materia seca de las hojas en ambos frutales se vio afectado por los tratamientos aplicados (Tablas I.3 y I.4), con menores valores en el tratamiento con la dosis más alta de digerido. En clementino, las hojas del tratamiento con dosis media y alta de digerido (O100, O200) presentaron valores similares al tratamiento mineral (N). En el caso de nectarina, el tratamiento con dosis alta de digerido (O200) obtuvo la mayor concentración de N superior al fertilizante mineral, siguiendo el resto de tratamientos con digerido.



Tabla I.3. Contenido de materia seca, macro y microelementos en hojas de clementino en los diferentes tratamientos fertilizantes.

Fertilización	Materia seca (%)	N (%)	P (%)	K (%)	S (%)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)
T	39,26ab	1,88a	0,130a	1,58	0,195a	7,45a	19,4a	33,2b
N	41,41c	2,77c	0,155b	1,77	0,220b	6,99a	23,6b	16,2a
O50	39,87bc	2,55b	0,158bc	1,82	0,228bc	8,82bc	21,5ab	27,1b
O100	39,44ab	2,77c	0,165cd	1,83	0,243c	9,44c	24,5b	26,2b
O200	38,15a	2,72c	0,173d	1,74	0,230bc	7,75ab	24,9b	25,1b
Significación	*	***	***	NS	***	**	*	*

NS: no significativo; *, ** y ***: Significativo a $P < 0,05$, $0,01$ y $0,001$, respectivamente.

Tabla I.4. Contenido de materia seca, macro y microelementos en hojas de nectarina en los distintos tratamientos fertilizantes.

Fertilización	Materia seca (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Mg (%)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)
T	44,88b	2,02a	0,098a	1,28a	0,595a	96a	17,3a	17,1b
N	43,73b	2,45cd	0,115b	1,24a	0,720c	101a	16,7a	11,2a
O50	43,13b	2,32bc	0,150c	1,23a	0,670b	124c	20,4b	16,7b
O100	44,22b	2,27b	0,110ab	1,15a	0,600a	116bc	20,9b	11,9a
O200	38,85a	2,52d	0,113ab	2,16b	0,595a	112b	18,8ab	11,3a
Significación	**	***	***	***	***	***	*	*

*, **, ***: Significativo a $P < 0,05$, $0,01$ y $0,001$, respectivamente.

El contenido de fósforo foliar de clementino en los tratamientos con digerido fue similar (O50) e incluso algo superior (O100 y O200) al contenido de fósforo foliar obtenido con el tratamiento de fertilización mineral (N). En el caso de la nectarina, el contenido de fósforo foliar con la aplicación de fertilización fue superior al testigo (T), siendo similar el contenido de la fertilización mineral (N) y los tratamientos con dosis media (O100) y alta (O200), y mayor con el tratamiento con dosis baja de digerido (O50). El potasio solo resultó afectado por el tratamiento en la nectarina, con los valores más altos con la dosis alta de digerido.

La concentración de otros nutrientes en hoja de clementino fueron: Ca 3,38-2,79%, Mg 0,28%, Na 0,14%, Fe 55 mg/kg y Zn 20 mg/kg; para nectarina fueron: Ca 2,38-1,79%, Na 0,08%, S 0,15%, Fe 103 mg/kg y Cu 5,62 mg/kg. Respecto a los micronutrientes, se observaron pequeñas diferencias en Cu, Mn y B para

clementino y en Fe, Mn, Zn y B para nectarina entre los tratamientos, pero no existieron problemas de toxicidad ni de deficiencia.

Los parámetros de control determinados en los plantones para evaluar los efectos de los tratamientos sobre el crecimiento vegetativo fueron el diámetro inferior y superior del tronco, la altura del plantón y la altura y diámetros de copa. La aplicación del digerido no ha tenido un efecto relevante sobre el crecimiento de los plantones de clementino, encontrándose valores similares en todos los tratamientos (testigo, fertilización mineral y las tres dosis de digerido).

La aplicación del digerido a diferentes dosis ha tenido un efecto estadísticamente significativo sobre el crecimiento de los plantones de nectarina, tanto para el diámetro superior del tronco como para el diámetro de copa N-S, dando valores en ambos casos similares al tratamiento con fertilización mineral (N). En el resto de parámetros las medidas han sido similares para todos los tratamientos.

Por lo tanto, se puede decir que la aplicación del digerido bruto no ha provocado problemas de fitotoxicidad en los plantones de ambos frutales; los parámetros de control evaluados en los plantones demuestran un desarrollo vegetativo similar en la fertilización con digerido y con fertilizante mineral. En cuanto al contenido nutricional en las hojas de ambos frutales, se ha observado una clara influencia de los tratamientos con fertilización frente al testigo sin ella, mostrando la aplicación del digerido en algunos casos una eficiencia similar a la de la fertilización mineral.

I.3. Aplicación del digerido en cultivos energéticos

En este caso se plantea la utilización del digerido sólido como abonado de fondo en el cultivo de soja y de girasol como cultivos energéticos. Para ello se compara con la fertilización mineral. Así se utilizaron tres tratamientos: Fertilización mineral; Fertilización orgánica con digerido sólido; Control sin fertilización.



El digerido sólido procedió de una separación sólido-líquido de un digerido de estiércol sometido a estabilización aerobia-anaerobia-aerobia, previa a su aplicación en el suelo. El contenido de materia seca del residuo del digerido fue de 23,9%.

Cultivo de otoño: colza

El cultivo de colza de otoño se llevó a cabo en una parcela de 30 x 30 m, que se dividió en 12 subparcelas de 6 x 3 m, separadas por pasillos de 2 m.

Se realizaron los tratamientos fertilizantes siguientes:

- Suelo sin fertilización como tratamiento control;
- Fertilizante mineral: 120 kg de N, 75 kg de P_2O_5 y 100 kg de K_2O por hectárea;
- Digerido sólido en dosis baja: 9,6 t/ha de digerido sobre materia seca;
- Digerido sólido en dosis alta: 17,0 t/ha de digerido sobre materia seca.

En ambos tratamientos fertilizantes con digerido, la cantidad a aplicar se calculó de modo que aportara al cultivo 120 kg de N por hectárea, teniendo en cuenta el contenido de N inorgánico del digerido y suponiendo que el 50 % o el 25 % del N orgánico puede transformarse en inorgánico y ser asimilado por el cultivo durante el primer año, tras su aporte al suelo.

Se realizó una labor en superficie con motocultor, antes y después de la aplicación de los digeridos sólidos y del abono mineral en las parcelas correspondientes. Se sembró la variedad Madrigal (10 kg/ha) con una separación entre líneas de 30 cm, separación entre semillas de 5 cm y a una profundidad de aproximadamente 2 cm.

En presiembra, dos días antes de la implantación del cultivo, se aplicó un herbicida total, con un principio activo de napropamida al 45% p/v, el herbicida se aplicó a una dosis de 2-3 l/ha. A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron escardas manuales, para la eliminación de malas hierbas. Se calculó la

producción de semilla, las vainas y los tallos de colza tras los diferentes tratamientos y se analizó su contenido en grasa.

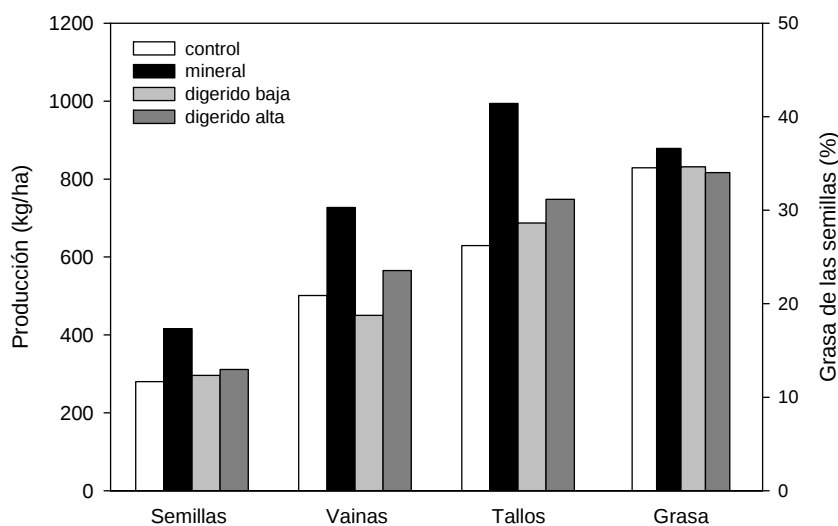


Figura I.4. Resultados de la recolección de la colza de otoño (media de tres réplicas) (resultados en peso seco).

La producción de semilla obtenida en el cultivo de colza, el contenido en grasa de estas semillas, la producción de vainas y la producción de tallos fueron ligeramente más elevadas en el tratamiento con el fertilizante mineral (Figura I.4). Sin embargo, la producción de semillas, vainas y tallos fue similar en la parcela control y tras la aplicación de digerido en dosis baja, siendo sólo ligeramente mayor cuando se aplicó digerido en dosis alta.

Los resultados obtenidos en los cultivos desarrollados durante otoño-invierno parecen indicar que la menor temperatura del invierno puede ser un factor decisivo en la eficacia fertilizante del digerido, ya que ralentiza los procesos microbianos de mineralización de la materia orgánica y de nitrificación, disminuyendo, por tanto su capacidad fertilizante.



Cultivo de primavera: girasol

En el cultivo de girasol se utilizó una parcela de 20 x 15 m, que se dividió en subparcelas de 4 x 3 m, con tres réplicas por tratamiento, separadas por pasillos de aproximadamente 2 m. Los tratamientos se repartieron de forma aleatoria entre las subparcelas.

Se realizaron los tratamientos fertilizantes siguientes:

- Suelo sin fertilización como tratamiento control;
- Fertilizante mineral: 120 kg de N, 80 kg de P_2O_5 y 240 kg de K_2O por hectárea;
- Digerido sólido: 14 t/ha de digerido (materia seca).

La fertilización orgánica fue calculada teniendo en cuenta el contenido de nitrógeno del digerido, satisfaciendo unas necesidades de 120 kg de nitrógeno por hectárea.

Se realizó una labor en superficie a finales de abril y se aplicó el digerido orgánico y el abono mineral en mayo. Posteriormente, se pasó el cultivador para facilitar la incorporación de los fertilizantes en el suelo. A finales de mayo, se realizó la siembra de la variedad Megasum, con una dosis de siembra de 6,4 kg/ha (72,3 g/1.000 semillas), con una separación entre líneas de unos 30 cm, con una separación entre semillas de 25 cm y una profundidad de siembra de 3-5 cm. A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron escardas manuales para la eliminación de las malas hierbas.

En septiembre se llevó a cabo la recolección del cultivo, se determinó la producción de cabezas y tallos de girasol, la producción de semilla y el contenido en grasa de dichas semillas.

En el cultivo de girasol, no se han encontrado diferencias significativas en la producción de semilla entre el tratamiento mineral y el tratamiento orgánico (Figura I.5). El contenido de grasa, aunque no es muy diferente entre todos los tratamientos, fue ligeramente superior en el tratamiento orgánico que con los

tratamientos control y mineral. La producción de cabezas y de tallos del girasol fue ligeramente superior tras la aplicación de la fertilización mineral.

La causa principal de la pérdida de semillas en la fase de maduración del girasol es consecuencia de la plaga de pájaros, que consumen la semilla madura reduciendo los rendimientos. Pero no solo se comen la semilla, también debido a su peso y a sus movimientos rompen los tallos por debajo del capítulo, los cuales caen al suelo y se pudren, afectando también a los rendimientos de las cabezas y de los tallos.

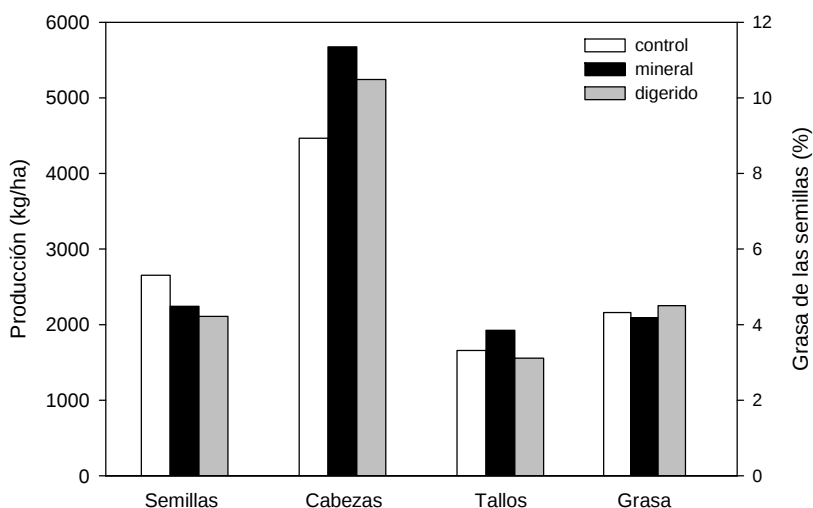


Figura I.5. Rendimientos del cultivo de girasol (media de tres réplicas, resultados en peso seco).

Todo ello indica que la utilización del digerido sólido en la fertilización de fondo es más adecuada en cultivos de primavera que en cultivos de otoño-invierno, debido a que las menores temperaturas desarrolladas pueden limitar la capacidad de suministrar nutrientes para las plantas por parte de los digeridos. Ello se debe a que los procesos de mineralización de la materia orgánica, llevados a cabo por los microorganismos del suelo, son más lentos a menor temperatura, lo que lleva a una menor velocidad de producción de las formas inorgánicas de los nutrientes como N y P, que son asimilables por los cultivos.



Control



Abono orgánico



Digerido



Fertilización mineral

Vista general del estado del cultivo de sandía en los distintos tratamientos.



Fertilización mineral



Abono orgánico



Digerido



Control sin fertilización

Vista general del estado del cultivo de coliflor en los distintos tratamientos.



Clementino



Inicio ensayo



Final ensayo

Nectarina



Inicio ensayo



Final ensayo

Vista general de la parcela y aspecto de los frutales al inicio y al final del ensayo.

ANEXO II: Legislación relevante



LEGISLACIÓN MEDIOAMBIENTAL	
Unión Europea	Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.
	Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos.
	Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación.
España	Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
	Orden MAM/304/2002, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
	Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
	Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
LEGISLACIÓN SANITARIA	
Unión Europea	Reglamento (CE) nº 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de octubre de 2002, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales no destinados al consumo humano.
	Reglamento (CE) nº 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de octubre de 2009, por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1774/2002 (Reglamento sobre subproductos animales).
	Reglamento (CE) nº 208/2006 de la Comisión, de 7 de febrero de 2006, por el que se modifican los anexos VI y VIII del Reglamento 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, en lo que se refiere a las normas de transformación para las plantas de biogás y compostaje y las condiciones aplicables al estiércol.
España	Real Decreto 1429/2003, de 21 de noviembre, por el que se regulan las condiciones de aplicación de la normativa comunitaria en materia de subproductos de origen animal no destinados al consumo humano.

LEGISLACIÓN CAMBIO CLIMÁTICO	
Unión Europea	Protocolo de KYOTO.
España	Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. Horizonte 2012. Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de biodigestión de purines.
LEGISLACIÓN ENERGÉTICA	
Unión Europea	Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
España	Plan de Energías Renovables. Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
LEGISLACIÓN AGRÍCOLA	
Unión Europea	Directiva 91/676/CE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura.
España	Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos de fuentes agrarias. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Orden APA/863/2008, de 25 de marzo, por la que se modifican los anexos I, II, III, y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. Real Decreto 3483/2000, de 29 de diciembre, por el que se modifica el Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas.