

Índice

1. NORMATIVA VIGENTE.	06
2. AGROCOMPOSTAJE DE PROXIMIDAD: ÁMBITO DE APLICACIÓN Y DEFINICIONES.	09
3. CARACTERÍSTICAS DEL AGROCOMPOSTAJE.	15
3.1. Aspectos básicos de un proceso de agrocompostaje.	16
3.2. Requisitos de los ingredientes del proceso.	17
3.3. Requisitos ambientales del proceso.	21
3.4. Configuración de una mezcla óptima inicial de agrocompostaje de proximidad	22
4. ETAPAS Y OPERACIONES EN EL PROCESO DE AGROCOMPOSTAJE.	27
4.1. Etapa 1: Inicio del proceso de compostaje	29
4.2. Etapa 2: Proceso de compostaje	36
4.3. Etapas 3, 4 y 5: maduración, post tratamiento y almacenamiento	39
4.4. Recomendaciones para el dimensionado y distribución del establecimiento	42
5. DURACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE Y CONDICIONES DE FINALIZACIÓN.	49
6. CALIDAD DEL COMPOST FINAL.	53
7. USOS DEL COMPOST FINAL.	59
8. DOSIFICACIÓN.	63
9. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES DEL AGROCOMPOSTAJE.	71

Índice de figuras

Figura 1. Evolución de la temperatura a lo largo del compostaje y fases/etapas del proceso

Figura 2. Perfil térmico de un lote de Agrocompostaje

Figura 3. Flujograma del proceso de Agrocompostaje, incluyendo etapas y operaciones principales.

Figura 4. Cambio de granulometría del mismo material en función del pretratamiento

Figura 5. Maquinaria para el acondicionamiento del tamaño de partícula.

Figura 6. Montaje de pilas mediante sistema de sándwich para favorecer mezcla homogénea

Figura 7. Tipos de riego en agrocompostaje.

Figura 8. Determinación cualitativa recomendada de humedad del compost: Prueba del puño

Figura 9. Adecuación de tamaño del compost final y dispositivos utilizables.

Figura 10. Almacenamiento del compost final.

Figura 11. Detalle de pilas de compost.

Figura 12. Recomendaciones de diseño para que el flujo de lixiviados discurra de forma adecuada.

Figura 13. Detalle de impermeabilización con lámina de PEAD

Figura 14. Detalle de impermeabilización con solera de hormigón

Figura 15. Diferentes recomendaciones de uso del compost según niveles de calidad



Índice de tablas

Tabla 1a. Ingredientes del proceso de agrocompostaje

Tabla 1b. Ingredientes del proceso de agrocompostaje

Tabla 2. Niveles de higienización para compost según Reglamento (UE) 2019/1009.

Tabla 3. Características clave de los materiales residuales susceptibles de ser compostados en la Comunidad Valenciana

Tabla 4. Rangos que se consideran idóneos como punto de partida de una mezcla para un adecuado compostaje.

Tabla 5. Etapas del agrocompostaje

Tabla 6. Tipo de volteo y maquinaria utilizada.

Tabla 7. Uso de aditivos para aumentar el valor del compost

Tabla 8. Estimación de la capacidad de tratamiento por cada ciclo de agrocompostaje y su correlación con la superficie de la instalación.

Tabla 9. Zonas de una instalación de agrocompostaje, operaciones asociadas y sus características técnicas

Tabla 10. Contenidos mínimos de los composts definidos por la legislación de fertilizantes (RD 999/2017)

Tabla 11. Clasificación de los compost en función del contenido en metales pesados

Tabla 12. Límites máximos a verificar a nivel de microorganismos patógenos

Tabla 13. Condiciones armonizadas para fertilizantes reciclados u orgánicos en la UE.

Tabla 14. Características de los compost establecidas en el ANEXO II de la orden 10/2018 de 27 de febrero de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural.

Tabla 15. Composición promedio, sobre materia seca de compost sectorizados obtenidos en Agrocompostaje.

Tabla 16. Necesidades de nitrógeno de diferentes cultivos según se encuentren en secano o tipos de regadío. (Fuente: Adaptado de tablas V y VIII de la ORDEN 10/2018, de 27 de febrero).

Tabla 17. Aportes de macronutrientes de un compost tipo del sector vitivinícola.

Tabla 18. Aportes de macronutrientes de un compost tipo del sector oleícola.

Tabla 19. Aportes de macronutrientes de un compost tipo del sector urbano.



Introducción

Los residuos orgánicos asociados a la actividad agrícola, ganadera y agroalimentaria deben manejarse y valorizarse en el propio medio agrario de acuerdo con los principios de sostenibilidad y economía circular especialmente en un entorno de emergencia climática. Existen además significativas sinergias que dinamizan esta tendencia como la necesidad de eliminar las quemadas agrícolas, el fomento del secuestro de carbono (C) edáfico y la mitigación de la emisión de gases de efecto invernadero, así como la recogida selectiva en origen de la fracción orgánica de los residuos urbanos, que favorecen además en su conjunto los esquemas agroecológicos de manejo.

El fomento del secuestro de C atmosférico como práctica adecuada para la mitigación del cambio climático (CC) en la actividad agrícola/ganadera/forestal (AGF) se centra en el favorecimiento de la actividad agraria (agrícola y forestal) como fijadora del CO₂ atmosférico y potencial sumidero de dicho C, así como la orientación de las prácticas agrícolas en la restitución, mejora y mantenimiento de niveles crecientes del carbono orgánico del suelo (COS). El aumento del contenido de materia orgánica en el suelo es la práctica con el máximo potencial de mitigación según el Special Report de IPCC (2019) junto al manejo de residuos.

El manejo de los flujos residuales en el sector agrario siempre ha estado regido por un principio de economía de la materia y la energía, que implica la reutilización, el reciclaje y la gestión de ciclo corto. La intensificación de las actividades agrícolas y ganaderas, la concentración de ciertas actividades y el encarecimiento de la mano de obra para las operaciones de manejo han roto este círculo virtuoso que históricamente convertía al territorio en un autogestor eficiente de materias. Los condicionantes ambientales, pero también económicos ligados a la dependencia de Europa de los insumos y recursos externos, han hecho que desde la Unión Europea se desarrolle todo un paquete normativo orientado a la economía circular que impregna también el manejo de residuos y que beneficia indirectamente al sector agrario al favorecer prácticas que suponen la restauración de la fertilidad orgánica del suelo.

En la actualidad existe una serie de alternativas sostenibles de gestión de la biomasa residual como son el triturado *in situ*, el agrocompostaje y en menor porcentaje el aprovechamiento energético que se oponen frontalmente a acciones tradicionales en el territorio como serían el acopio descontrolado y las quemadas agrícolas.

Esta guía tiene por objeto orientar los procesos de agrocompostaje en el territorio valenciano, incluyendo los aspectos claves a nivel normativo, constructivo, procedimental (proceso de compostaje) y de calidad del producto obtenido (compost-enmienda orgánica).



1 Normativa vigente

Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos

Directiva (UE) 2018/852 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 94/62/CE relativa a los envases y residuos de envases

Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de los productos fertilizantes UE

Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de residuos de la Comunidad Valenciana

Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

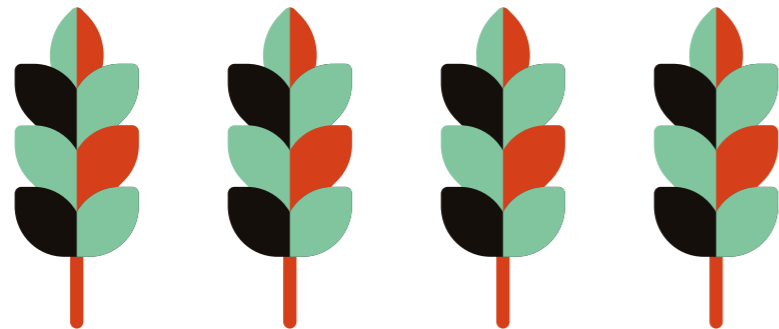
Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes

Artículo 7.1, 28.d y subsiguientes del Decreto 55/2019, de 5 de abril del Consell, que actualiza el Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana.

Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del consejo de 30 de mayo de 2018 sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos

Reglamento de ejecución (UE) 2021/1165 de la comisión de 15 de julio de 2021 por el que se autorizan determinados productos y sustancias para su uso en la producción ecológica y se establecen sus listas. (Anexo II)

Orden 4/2022 de Agrocompostaje de proximidad





2 Agrocompostaje de proximidad: ámbito de aplicación y definiciones

El **Agrocompostaje de Proximidad** se define en esta guía como aquel proceso de compostaje orientado de forma específica hacia la propia explotación agropecuaria, realizado por el propio agricultor (o en su nombre) para valorizar los restos de su explotación, incluyendo materiales tradicionalmente usados para la enmienda orgánica de los suelos. El objetivo principal de estas actuaciones está orientado a la transformación de los restos del sector agrícola, ganadero y forestal en un recurso denominado enmienda orgánica compost, asimilable en cuanto a características a lo establecido en el Real decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, en un escenario de autoconsumo por parte del productor, o por la disposición que pueda sustituirlas. Los compost producidos se utilizarán de forma mayoritaria en la propia explotación, generando un círculo virtuoso de prevención de residuos, evitando las quemaduras y aumentando la fertilidad y secuestro de Carbono del suelo

El ámbito de aplicación se establece en función de dos premisas básicas: las materias primas a compostar y las dimensiones de la instalación.

Las materias primas susceptibles de ser compostadas deben estar incluidas en esta guía/norma.

Las dimensiones de las instalaciones propuestas en la Orden están definidas para favorecer el autocompostaje, reducir el movimiento de residuos en el territorio y minimizar los costes de operación e instalación.

Además de la definición de **agrocompostaje de proximidad** dentro de esta guía se utilizarán una serie de términos definidos en la Orden 4/2022 y que se describen a continuación:

ACOPIO: Punto o actividad de acumulación/recogida centralizada de biomasa en el ámbito de su producción que además puede permitir el pretratamiento o preparación para la valorización posterior de los materiales acumulados

COMPOSTAJE: proceso biológico aerobio y termófilo para conseguir compost mediante la descomposición controlada de materia orgánica residual. Las fases del proceso se definen conforme al Manual del Ministerio de Medio Ambiente «Manual de compostaje», disponible en la web del MAPAMA.

COMPOST: Enmienda orgánica obtenida a partir del tratamiento biológico aerobio y termófilo de residuos biodegradables.

ESTABLECIMIENTO DE AGROCOMPOSTAJE: zona física en el que se desarrollan procesos de compostaje orientados de forma específica hacia la propia explotación agropecuaria. De acuerdo con sus dimensiones y capacidad estarán sujetas a requerimientos técnicos de diseño y construcción de las infraestructuras determinados en la Instrucción Técnica de Agrocompostaje.

ESTERCOLERO: zona donde se acopian los estiércoles en una explotación agropecuaria.

ESTIÉRCOLES PROPIOS Y/O LOCALES: residuos sólidos generados a partir de las deyecciones sólidas y las camas del ganado en las explotaciones ganaderas. Son fuente de N y P fundamentalmente y utilizadas tradicionalmente como enmienda orgánica directa del suelo. A efectos de esta orden se aceptarán aquellos procedentes de ganadería ecológica y/o los generados en la misma explotación o de proximidad en el ámbito local o comarcal.

ESTRUCTURANTE: biomasa vegetal lignificada, habitualmente procedente de plantas leñosas (especies forestales y agrícolas como viñedo, olivo, almendro, cítricos y frutales de hueso) que incluyen ramas de poda, hojas secas y restos de plantas). El estructurante aporta carbono al proceso y reduce la humedad

LIXIVIADO: efluente líquido producto del movimiento gravitacional de la fracción líquida de los materiales residuales orgánicos. Se favorecen por la lluvia y debido a su carga orgánica y a la presencia potencial de algunas especies móviles como el nitrato deben estar controlados y confinados en zonas estancas para evitar su movimiento descendente en el perfil del suelo.

LOTE: conjunto de materiales compostados de forma conjunta y separados físicamente del resto, tratado en el proceso de agrocompostaje en un mismo periodo y plazo de tiempo, en las mismas condiciones y que se supone que tiene las mismas características

MULCHING: actividad/proceso de establecimiento de una cobertura no viva («mulch» o mantillo) en la superficie del suelo a base de materiales que evitan el impacto directo de la lluvia sobre el suelo desnudo reduciendo su erosión y también la pérdida de humedad por evaporación. En muchas ocasiones la poda de los cultivos leñosos se tritura in situ generando una cobertura vegetal o mulch.

PRETRATAMIENTO: operación que prepara un flujo residual para posteriores procesos. Suelen consistir, entre otros, en una trituración que permite la densificación del material, reduciendo costes en su potencial transporte y favorece su posible uso en procesos de valorización posteriores

RESTO AGRÍCOLA: biomasa vegetal no comercial, podas de cultivos leñosos, partes vegetales procedentes de arranque o cambio de cosecha. Su principal característica es su naturaleza de tejido biótico constituido mayoritariamente por carbono procedente de la fijación atmosférica. Se pueden incluir la biomasa procedente de actividades viverísticas dentro de esta definición a efectos de agrocompostaje de proximidad.



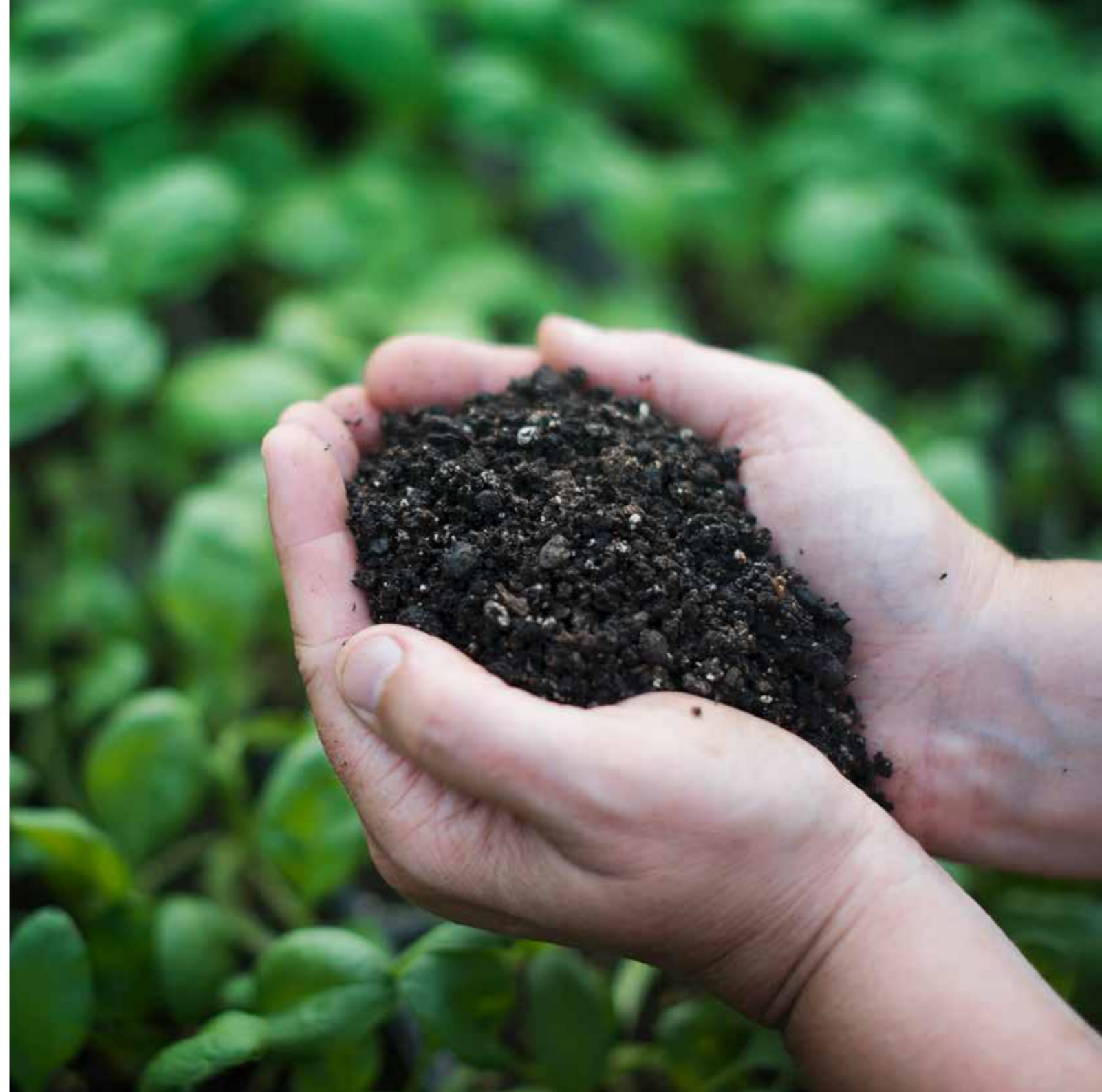
RESTOS ASIMILABLES A AGRÍCOLAS: biomasa vegetal no productiva no asociada a la agricultura, pero cuya naturaleza, composición y valorización son homologables a los restos agrícolas. Dentro de este epígrafe se pueden incluir los restos vegetales de las operaciones de manejo ordinario de la jardinería urbana, así como los restos de arribazones de fanerógamas marinas (Posidonia oceánica).

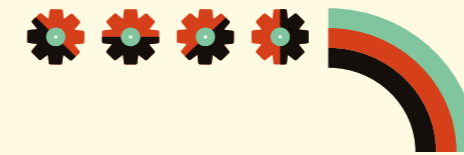
RESTO O SUBPRODUCTO AGROALIMENTARIO: biomasa obtenida durante el tratamiento y manipulación, mediante procesos eminentemente físicos, de productos y subproductos agrícolas y forestales que no constituye ninguno de los elaborados principales. Pueden incluir destríos, fragmentos, y restos vegetales entre otros, generados durante el procesado y manipulación.

RESTOS FORESTALES: biomasa obtenida de la limpieza y gestión de masas forestales. Son en general materiales lignificados y ricos en carbono.

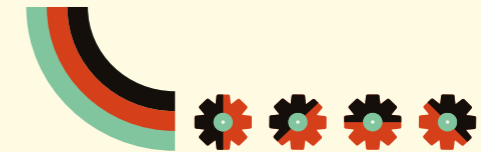
RESPONSABLE DE OPERACIÓN: es la persona encargada del control y seguimiento de los procesos de gestión sostenible que se enumeran en esta orden, y deberá acreditar una formación de, al menos, 20 horas lectivas en técnicas de compostaje. La Conselleria de Agricultura oferta formación gratuita para facilitar la acreditación de estos conocimientos a través del Servicio de Transferencia de Tecnología y obtener el Diploma de Maestro Agrocompostador.

TÉCNICO RESPONSABLE: ingeniero técnico o superior, responsable del establecimiento, de entre los definidos en la presente Orden y su Instrucción técnica de desarrollo de obligado cumplimiento.





3 Características del agrocompostaje



En este apartado se establecen los aspectos técnicos asociados al proceso de agrocompostaje, incluyendo una descripción básica del proceso y sus fases, los requisitos específicos a nivel de materiales susceptibles de compostarse en este contexto y recomendaciones para el diseño de procesos eficientes.

3.1 Aspectos básicos de un proceso de agrocompostaje

En general, el **compostaje** es un proceso biooxidativo controlado, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, que requiere una humedad adecuada y substratos orgánicos heterogéneos en estado sólido. Implica el paso por una etapa termófila, con elevación de la temperatura por encima de los 40°C y tras la que se obtienen como productos de los procesos de degradación, dióxido de carbono, agua y minerales, así como una materia orgánica estabilizada, libre de fitotoxinas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos, denominada **compost**.

El **compost** es, por tanto, el producto estabilizado e higienizado del compostaje, el cual es beneficioso para el crecimiento de las plantas. Ha sufrido una inicial y rápida fase de descomposición y se encuentra en proceso de humificación. En base a la variación de la temperatura durante el proceso de compostaje, se pueden distinguir cuatro etapas:

1. Etapa inicial de elevación de la temperatura (mesófila inicial)
2. Etapa termófila
3. Etapa de enfriamiento
4. Etapa de maduración

Las tres primeras fases constituyen la parte biooxidativa del proceso o fase de descomposición, en la que se produce la oxidación de los compuestos orgánicos por parte de los microorganismos.

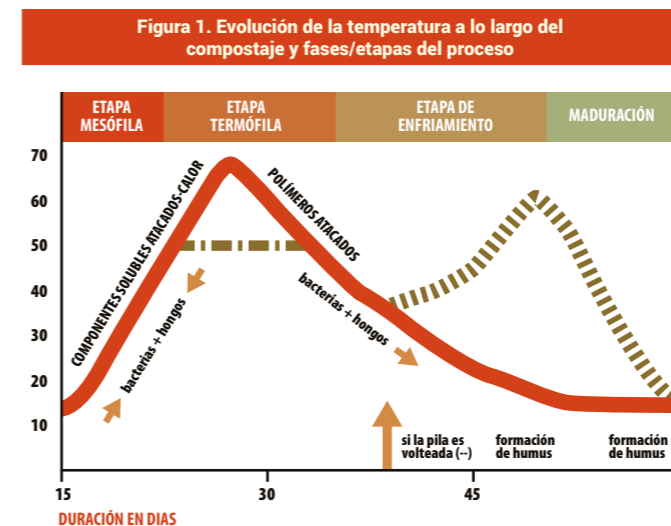
1. Fase inicial o mesófila: Al inicio del proceso de compostaje, los compuestos más sencillos son los primeros en degradarse por la acción de las bacterias. La energía que se desprende provoca una subida de la temperatura hasta los 40°C.

2. Fase termófila: En la fase termófila la intensa actividad microbiana de actinomicetos, hongos y otros microorganismos termotolerantes da lugar a las temperaturas más altas, entre 40-45°C hasta 70-75°C. En esta fase se eliminan los microorganismos patógenos y las semillas de hierbas adventicias.

3. Fase de enfriamiento: Se produce una caída de la temperatura hasta valores de temperatura ambiental. Así mismo se produce una recolonización por microorganismos que estaban esporulados. Cabe destacar la formación de sustancias húmicas durante esta etapa.

4. Fase de maduración: Al finalizar las etapas de la parte biooxidativa del proceso es conveniente someter el compost a una fase de maduración en la que la actividad microbiana está ralentizada y quedan pocos materiales biodegradables. Sin embargo, el proceso de humificación continúa y se degradan fitotoxinas.

A continuación, se aporta una gráfica en la que se observa la evolución de la temperatura y el pH en función de los días de compostaje y se indica las fases comentadas anteriormente.



Aunque no existe una duración preestablecida de estas fases de compostaje (que dependen de muchos factores intrínsecos y técnicos), en función de las condiciones normales de operación de estos procesos se sugiere una duración mínima de 90 días de etapa biooxidativa incluyendo al menos 4 volteos para asegurar la homogenización de la masa a compostar, así como al menos 30 días de madurez. Estos son duraciones mínimas del proceso recomendadas en esta guía, siempre y cuando verifiquen los requisitos normativos del proceso a nivel de intensidad del calentamiento y calidad del producto final, que se detallarán a continuación.

3.2 Requisitos de los ingredientes del proceso

En primer lugar, se debe considerar los materiales residuales que se pueden incluir como susceptibles de compostar dentro de un entorno de agrocompostaje. Las materias primas del proceso serán residuos orgánicos generados en actividades agrícolas, ganaderas y forestales. Potencialmente se podrán utilizar biorresiduos procedentes de recogida selectiva en sistemas acreditados a tal efecto, siempre y cuando dicho flujo sea minoritario (<20% anual del total) y se encuentre asociado a grandes productores específicos de naturaleza pública (colegios, institutos y residencias) insertados en el territorio valenciano. Para ello se hará necesaria la información y aprobación por parte del organismo competente correspondiente.

Dentro de estos grandes apartados existen múltiples flujos residuales o no susceptibles de ser compostados. De forma orientativa, se incluyen diferentes imágenes del tipo de insumo permitido en procesos de agrocompostaje local:

Tabla 1a. Ingredientes del proceso de agrocompostaje



Sarmiento sin triturar



Estiércol de oveja con cama de paja



Estiércol de vaca con cama de paja



Raspón o raspajo



Orujo de vino



Detalle de raspón

Tabla 1b. Ingredientes del proceso de agrocompostaje



Balsa de alperujo y hojuela de olivo



Detalle de alperujo



Restos de poda y hoja de cítricos



Restos del triaje mecánico y manual de cítricos



Restos del pelado de la almendra



Restos del triaje mecánico y manual de caqui

Todos los materiales mostrados anteriormente y susceptibles de participar en procesos de agrocompostaje responden a la clasificación general de RNP (residuos no peligrosos).

Condiciones de los residuos de partida: en este apartado se hace referencia a las diferentes características que debe cumplir el sustrato para que el proceso de compostaje evolucione de forma óptima:

- **Características físicas:** El tamaño de las partículas debe encontrarse en el intervalo 1-5 cm. De esta forma existirá una mayor superficie expuesta al ataque microbiano que además permitirá una porosidad suficiente para favorecer el intercambio gaseoso. Esto puede implicar, en ocasiones, realizar un pre-tratamiento físico-mecánico para ajustar el tamaño de partícula (corte, triturado, molienda) que se detallará en el punto 4, apartado B.

- **Características químicas:** Las principales características químicas del sustrato inicial que van a influir en el desarrollo del proceso son:

1. Relación C/N: El carbono es fuente de energía y el nitrógeno es fundamental para la síntesis de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas y coenzimas necesarios para el crecimiento celular. Los microorganismos utilizan generalmente treinta partes de carbono por cada parte de nitrógeno por lo que la relación C/N en los materiales a compostar debe encontrarse dentro del intervalo C/N = 25-35. Los valores menores de este rango provocarían pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco y disminución del poder fertilizante en el compost final mientras que valores elevados provocan que el proceso se prolongue y potencialmente puede condicionar que no se alcancen las temperaturas exigidas para considerar que la masa se ha higienizado

2. Disponibilidad de elementos nutritivos: Los microorganismos necesitan que en el sustrato a compostar se encuentren una serie de nutrientes en una forma química disponible y en concentraciones adecuadas, entre ellos: C, N, P, K, B, Ca, Cl, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Se, Na y Zn. La mayoría de estos elementos se encuentran en niveles tolerables en la mayor parte de los residuos orgánicos. Cantidades superiores a las estrictamente necesarias pueden ser tóxicas para los microorganismos implicados en el proceso de compostaje.

3. Presencia de componentes limitantes o tóxicos para la actividad microbiana: Principalmente se encuentran en esta categoría los polifenoles y los metales pesados. Los polifenoles se caracterizan por tener un importante efecto antimicrobiano y que están presentes en alta proporción en residuos como vid, sarmientos, alperujos, etc. Los metales pesados pueden ser tóxicos para el proceso y además constituir un vector de contaminación de los agrosistemas. Deben tenerse en cuenta los Límites establecidos en el compost previo a su uso agrícola

Como se expondrá más adelante, es complejo que un único material residual verifique por sí solo todos los condicionantes para ser compostado en solitario, por lo que se establecen usualmente procesos de co-compostaje. El **co-compostaje** significa mezclar 2 o más ingredientes para conseguir las condiciones adecuadas del sustrato ideal para compostar.

3.3 Requisitos ambientales del proceso

La acción de los microorganismos responsables del proceso de compostaje está condicionada por la consecución de las condiciones adecuadas para su actividad biológica por lo que todo aquello que afecte a su desarrollo afectará a la evolución del proceso.

El agrocompostaje, como ya se ha visto, implica diferentes ingredientes o material primas, en general, materia orgánica heterogénea en estado sólido. La heterogeneidad está asociada a la mezcla de residuos orgánicos diferentes en su origen o bien, debido al variado conjunto de materiales que incorporan. De esta forma existen diferentes requisitos y condicionantes del proceso tanto desde el punto de vista del residuo o subproducto de partida, que ya se han descrito en el apartado 3.2., como de las condiciones ambientales. En este apartado se consideran aquellos cuyo correcto control y evolución es necesaria para que se desarrolle adecuadamente el proceso de agrocompostaje.

TEMPERATURA

Este parámetro varía durante el proceso de compostaje marcando las diferentes etapas que determinan el grado de evolución del material compostado: mesófila, termófila, de enfriamiento y de maduración. Se deben asegurar las condiciones de proceso que aseguren una intensidad térmica elevada y, que, además, cumpla la legislación vigente ya que las temperaturas alcanzadas se emplean como indicadores de higienización, degradación de la materia orgánica y eliminación de malas hierbas. En este sentido para el agrocompostaje se recomiendan las siguientes directrices, que son homologables a los niveles de higienización para compost propuestos en el Reglamento (UE) 2019/1009 - fertilizantes UE.

Tabla 2. Niveles de higienización para compost según Reglamento (UE) 2019/1009.

Temperatura	Días de proceso
>70°C	3
>65°C	5
>60°C	7
>55°C	14

Figura 2. Perfil térmico de un lote de Agrocompostaje, con los volteos preestablecidos (0, 15, 30, 60 y 90 días). Nota: En el caso de la figura no se cumplió la condición de punto final de proceso a los 90 días por lo que se prolongó 30 días más realizando un nuevo volteo a los 120 días



AIREACIÓN

El consumo de oxígeno es proporcional a la intensidad de la actividad microbiana. Siempre será imprescindible asegurar la presencia de oxígeno para el desarrollo del proceso de compostaje, dentro de unos límites, ya que un exceso de aireación podría provocar el enfriamiento de la masa con la consiguiente disminución de la actividad microbiana y comprometer la higienización. El máximo de actividad microbiana se encuentra en el rango de temperatura 28-55°C. Cuando la proporción de oxígeno desciende, los microorganismos aerobios son sustituidos por los anaerobios, que comienzan a proliferar y cuya actuación produce la mineralización de la mezcla y no su humificación.

HUMEDAD

Los microorganismos necesitan cierta cantidad de agua para su metabolismo. De forma aproximada, el nivel óptimo de humedad está situado entre un 40-70 %. La actividad microbiana se reduce considerablemente cuando el contenido de humedad en la masa en proceso cae por debajo del 30%, por debajo del 12% el proceso se hace muy lento por falta de actividad biológica, mientras que una humedad superior al 70% generará un entorno deficiente de oxígeno y favorece la actividad anaeróbica que en la práctica puede resolverse mediante aireación por volteo.

3.4 Configuración de una mezcla óptima inicial de agrocompostaje de proximidad

El establecimiento de las condiciones óptimas para los procesos de agrocompostaje tienen que ver, por un lado, con el establecimiento de una mezcla adecuada de materiales iniciales, y por otro, la consecución de unas condiciones óptimas y controladas en dicha mezcla durante todo el proceso de agrocompostaje.

La oportunidad de mezclar residuos de diferente tipología, naturaleza y composición para obtener propiedades más beneficiosas para el proceso (propiedades físicas) así como para el compost final (propiedades químicas) permite un enorme abanico de opciones y posibilidades en el entorno del agrocompostaje de proximidad. De forma orientativa, debemos diseñar nuestros compost de forma que generemos un material equilibrado en nutrientes, especialmente los macronutrientes principales nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). A continuación, se incluyen algunos consejos respecto a la naturaleza de los ingredientes y su efecto sobre la mezcla, aunque lo ideal es contar con un análisis específico de cada ingrediente.

En la web <https://agrocompostaje.umh.es/> se puede consultar una base de datos de más de 300 residuos de origen agroalimentario incluyendo sus principales características.

Tabla 3. Características clave de los materiales residuales susceptibles de ser compostados en la Comunidad Valenciana.

Tipo de material	Vegetal agrícola (n=151)	Agroalimentario (n=90)	Ganadero (n=114)
Humedad (%)	39,7 (1,0-94,6)	50,9 (7,9-93,8)	39,4 (11,2-71,8)
Densidad aparente (t/m³)	0,249 (0,015-0,88)	0,523 (0,05-1,25)	0,37 (0,12-0,83)
Ph	6,6 (4,3-9,3)	6,5 (5,0-8,4)	7,7 (6,1-9,4)
CE	4,01 (1,0-36)	4,34 (1,16-12,3)	5,85 (2,1-16,7)
MOT (%)	81,7 (40,5-97,1)	82,7 (48,6-96,7)	70,3 (28,9-89,9)
COT	42,2 (25,1-66,1)	45,4 (29,1-61,5)	36,5 (18,5-46,9)
Relación COT/NT	37,5 (10,5-115)	33,0 (9,0-110)	24,0 (7,8-122)
N (%)	1,55 (0,5-3,7)	1,90 (0,56-4,78)	2,12 (0,79-4,29)
P (g/kg)	2,88 (0,25-16,9)	3,87 (0,19-21,9)	6,1 (1,1-25,8)
K (g/kg)	18 (3,9-57)	21 (5,1-49)	26,3 (6,4-81)
Na (g/kg)	6,9 (0,21-111)	4,21 (0,4-13,8)	7,8 (0,3-19,3)
Polifenoles hidros. (mg/kg)	8541 (572-66826)	5951 (1116-12455)	5695 (768-16644)

En general podemos considerar que:

- Los residuos ganaderos son ricos en N y P, y tienen naturaleza alcalina (pH>7) y son salinos.
- Los residuos del tipo restos de cosecha no asociada a frutos son ricos en N, de pH neutro o levemente alcalino.
- Los residuos agroalimentarios o restos de frutos son especialmente ricos en K y potencialmente ácidos (pH<7).
- Los residuos del tipo resto de poda de especies leñosas (también denominados lignocelulósicos o carbonosos) son en general ricos en C, y muy interesantes de cara a favorecer las propiedades físicas, debido a su baja densidad, y de pH neutro.
- Algunos residuos contienen polifenoles que son limitantes de los procesos de compostaje. En general los residuos que evolucionan con el tiempo oscureciéndose como la alcachofa y la manzana presentan elevados niveles de polifenoles. También los residuos vitivinícolas y los residuos de la extracción de aceite.

Una vez seleccionados los insumos o ingredientes disponibles para el desarrollo del proceso de agrocompostaje, se debe establecer una mezcla de ingredientes (normalmente los procesos de agrocompostaje incluyen 2-3 ingredientes distintos) que en su conjunto alcancen el máximo de condiciones óptimas clave para el compostaje (Tabla 4).

Tabla 4. Rangos que se consideran idóneos como punto de partida de una mezcla para un adecuado compostaje.

Parámetro	Rango óptimo*
Relación C/N	Entre 20 y 30
Densidad	Entre 0,2 y 0,7 kg/L (equivalente a 200-700 kg/m ³)
Ph	Entre 6 y 8 unidades de pH
Humedad	40-70%
Conductividad eléctrica	Entre 0,1 y 4 dS/m
Polifenoles hidrosolubles	Menor de 4000 mg/kg m.s.

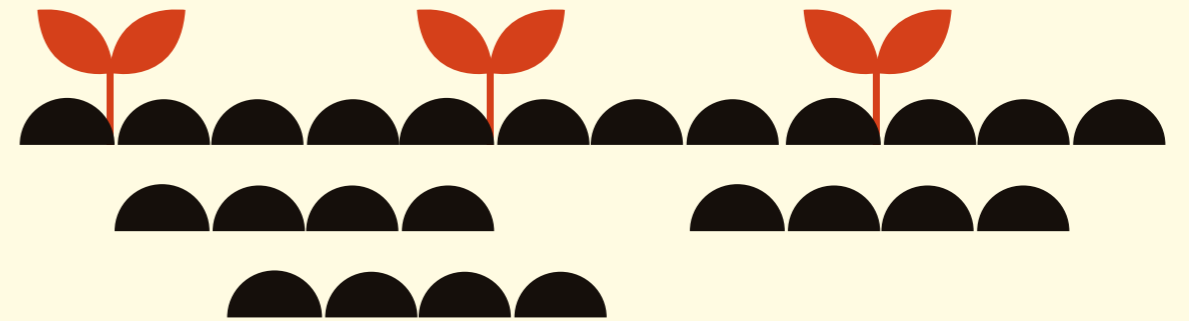
**Rango de valores que no resultan limitantes para el proceso; fuera de estos rangos pueden existir problemas en la evolución del proceso a nivel biológico, incluyendo inhibición de la actividad microbiana*

Por ello, regular el porcentaje de cada ingrediente en la mezcla inicial puede permitir maximizar los aspectos positivos y minimizar los aspectos limitantes (pH, conductividad y polifenoles principalmente) de forma que se consiga que dicha mezcla se sitúe en los rangos deseados.

La elección de dicha mezcla o porcentaje de mezcla es compleja al tratarse de múltiples parámetros a optimizar. Por ello, la Generalitat Valenciana junto a la Universidad Miguel Hernández de Elche ha desarrollado una herramienta gratuita denominada "Calculadora de Compostaje" que permite realizar estos cálculos de forma sencilla. La guía de usuario y la descripción práctica de su utilización se encuentra disponible en <https://agrocompostaje.umh.es/>. Se puede descargar desde el mismo enlace y también desde PlayStore para Android y AppStore para IOS de forma gratuita mediante la búsqueda por palabras clave "CompostUMH".



4 Etapas y operaciones en el proceso de agrocompostaje



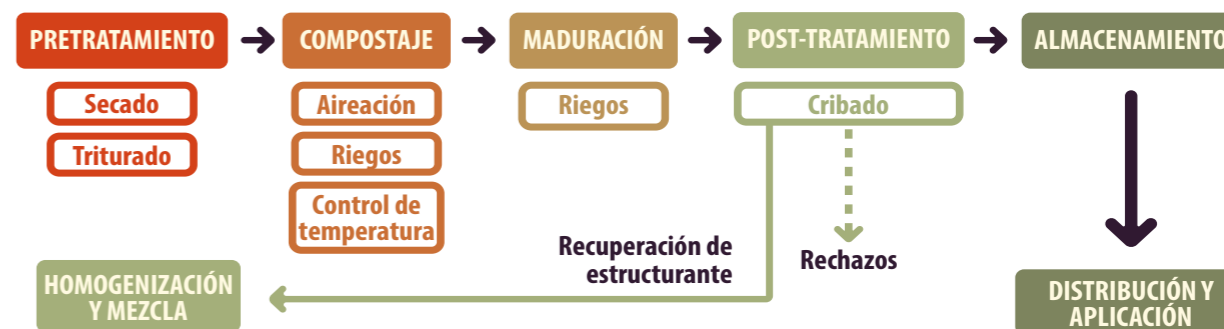
La tecnología aplicada al agrocompostaje de proximidad puede ser muy variada aunque en general y por la propia naturaleza del proceso (prevención en origen de residuos, actividad desarrollada in situ por el propio actor, de cadena corta, mayoritariamente de autogestión) se orienta a procesos sencillos que incluyan el mínimo de operaciones, utilizando la maquinaria usual en explotaciones agrícolas y ganaderas, dentro de un principio general de **economía de medios y simplicidad de procesos**, sin dejar de verificar **los requerimientos técnicos y ambientales correspondientes**. Las principales etapas del agrocompostaje se detallan de forma exhaustiva y a modo de referencia en la tabla 5, sin ser todas ellas necesarias ni obligatorias.

Tabla 5. Etapas del agrocompostaje		
Etapa	Operaciones principales	Operaciones secundarias
1. Inicio del proceso de compostaje	1.1. Recepción y almacenamiento materias primas	
	1.2. Pretratamiento	Trituración
	1.3. Constitución de pila	Montaje, mezcla, homogenización, riego
2. Proceso de compostaje	2.1. Descomposición: fase biooxidativa	Volteo, riego, control de temperatura
	2.2. Maduración	Riego
3. Post-tratamiento	3.1. Adecuación de tamaño	Tamización, trituración
	3.2. Otras operaciones	Lavado, reutilización
4. Almacenamiento		
5. Acreditación de la calidad del proceso y del producto		

Entre las operaciones necesarias se diferencian aquellas relativas al materiales de inicio en la entrada del proceso, aquellas ligadas al proceso de compostaje (para asegurar un control de calidad de la instalación de compostaje, incluyendo las fases de tratamiento y/o la tecnología utilizada) y las relativas a los productos finales (compost y enmiendas), al final del proceso.

Las materias primas entrantes pueden someterse a diferentes tipos de pre-tratamientos destinados en general a homogeneizarlo, a darle un tamaño de partícula uniforme, a aumentar o disminuir su nivel de humedad o a extraerle los materiales indeseables. Respecto al producto final, cabe señalar que las normas relativas a los productos finales fijan los umbrales límite para los elementos potencialmente tóxicos o definen las características agronómicas y de calidad del compost y se verán en detalle en el apartado 6.

Figura 3. Flujograma del proceso de Agrocompostaje, incluyendo etapas y operaciones principales.



4.1 Etapa 1: Inicio del proceso de compostaje

El establecimiento de las condiciones óptimas para los procesos de agrocompostaje tienen que ver, por un lado, con el establecimiento de una mezcla adecuada de materiales iniciales, y por otro, la consecución de unas condiciones óptimas y controladas en dicha mezcla durante todo el proceso de agrocompostaje.

La oportunidad de mezclar residuos de diferente tipología, naturaleza y composición para obtener propiedades más beneficiosas para el proceso (propiedades físicas) así como para el compost final (propiedades químicas) permite un enorme abanico de opciones y posibilidades en el entorno del agrocompostaje de proximidad. De forma orientativa, debemos diseñar nuestros compost de forma que generemos un material equilibrado en nutrientes, especialmente los macronutrientes principales nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). A continuación, se incluyen algunos consejos respecto a la naturaleza de los ingredientes y su efecto sobre la mezcla, aunque lo ideal es contar con un análisis específico de cada ingrediente.

A. RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LOS MATERIALES:

Esta etapa engloba todas las operaciones que tienen lugar entre la llegada de los materiales a la planta y el inicio de su pretratamiento. Deberá identificarse los materiales de entrada recabando los datos necesarios para su trazabilidad en el proceso de agrocompostaje (Anexo 01 de la Instrucción Técnica: Registro de materias primas). Concretamente:

- La recepción de los materiales destinados a compostaje.
- La identificación de los materiales y su inscripción en el registro de entradas y salidas de la instalación (día, hora, productor, cantidad, etc.).
- El almacenamiento temporal de los materiales a la espera de pretratarlos, si es que la posterior etapa de pretratamiento no se lleva a cabo justo después de la descarga.
- La salida del transporte.

También puede ser necesario efectuar las siguientes operaciones:

- Pesaje de los materiales recibidos o estimación en función de volumen del material y su densidad aparente.
- La limpieza de los camiones y sus cajas.

B. PRETRATAMIENTO.

A fin de que el compostaje se desarrolle correctamente, a menudo debe recurrirse a la preparación de mezclas con materiales complementarios entre sí para lograr mezclas que se aproximen lo máximo posible a los valores ideales. La etapa de pretratamiento (mezcla u homogeneización) consiste en la operación de mezclar diferentes materiales para obtener una mezcla con:

- Una porosidad que permita la circulación del aire por el interior y la retención del agua.
- Una estructura que mantenga esta porosidad en el apilamiento en el que se debe llevar a cabo el proceso de compostaje.
- Una humedad y un pH adecuados para la actividad microbiana.
- Equilibrio nutricional y energético. Es necesario para evitar que la actividad microbiana quede limitada por falta de alguno de los elementos esenciales (nitrógeno, potasio, etc.) o por la fuente energética (la materia orgánica degradable) y que durante el proceso se pierda algún elemento (esencialmente nitrógeno) que pueda estar en exceso. Esto se consigue:
 - Con una relación C/N que minimice las pérdidas de nitrógeno o que permita que este elemento no sea un factor limitador del proceso.
 - Unos contenidos mínimos de elementos esenciales para los microorganismos, a fin de que no sean un factor limitante.
 - Tamaño de partícula para facilitar el ataque microbiano y el intercambio de gases o de agua. Para eso se necesita:
 - La preparación del material estructurante: su trituración al tamaño adecuado.
 - La humectación, si el material o la mezcla que se ha de compostar no presenta la humedad adecuada, al menos para iniciar el compostaje. Los líquidos aportados deben proceder esencialmente de la propia instalación, y, solo en determinados casos, del exterior.

Los materiales complementarios que otorgan o mejoran la porosidad o la estructura del residuo destinado a compostaje se denominan estructurantes. Suelen ser materiales vegetales con una proporción bastante elevada de componentes leñosos: restos de poda triturados, astilla, corteza, etc.

Se entiende por estructura de un material o de una mezcla la capacidad que tiene un apilamiento suyo para mantenerse sin compactar excesivamente por su propio peso. En general los materiales que definimos como estructurantes tienen:

- Una densidad aparente muy baja (0,1-0,2 kg/L o 100-200 kg/m³).
- Una humedad baja (10-30%) fuera del rango ideal (40-70%) debido a su naturaleza lignocelulósica-carbonosa.
- Una relación C/N elevada, superior a 35-40.
- Un pH idóneo (6,0-8,0).
- Un contenido en materia orgánica total elevado (>40% s.m.s.)

Figura 4. Cambio de granulometría del mismo material en función del pretratamiento principales. Adaptado de Soliva



Material estructurante sin pretratar



Material pretratado

La maquinaria que existe en el mercado para el acondicionamiento de los ingredientes, y en especial, los restos vegetales, es muy amplia. Hay que tener en cuenta las necesidades de volumen a procesar de restos vegetales, así como el entorno donde se desarrolle la actividad de compostaje.

Para pequeñas cantidades de restos vegetales a procesar se puede optar por picadoras/desfibradoras de bajo rendimiento con alimentación manual, en cambio si las exigencias de procesado son mayores es preferible disponer de maquinaria de mayor rendimiento. Estas máquinas más potentes pueden ser remolcables autónomas o esclavas. Las autónomas son trituradoras de alimentación manual y las esclavas son picadoras acopladas a la toma de fuerza del tractor y suspendidas en su sistema de brazos, más comúnmente denominadas "muele leñas". Si el entorno del sistema de compostaje requiere mayor cantidad de procesamiento vegetal existen picadoras/desfibradoras autónomas que son alimentadas mediante pala cargadora, que ofrecen alto rendimiento.

Con estos sistemas se consigue densificar la biomasa residual y es un proceso clave en el tratamiento de residuos orgánicos. Este pretratamiento favorece la reducción de costes en transporte y manejo, y nos permite constituir pilas de agrocompostaje más homogéneas puesto que la densidad aparente de los materiales (la relación entre la masa y el volumen) aumenta.

En la figura 5 se muestran múltiples dispositivos o maquinarias que se pueden utilizar para adecuar la densidad aparente de los ingredientes.

Figura 5. Maquinaria para el acondicionamiento del tamaño de partícula.



Biotritrador/desfibrador de martillos bajo rendimiento de alimentación manual



Tritradora alimentación manual



Muele leñas acoplado a toma de fuerza de tractor



Muele leñas acoplado a toma de fuerza de tractor



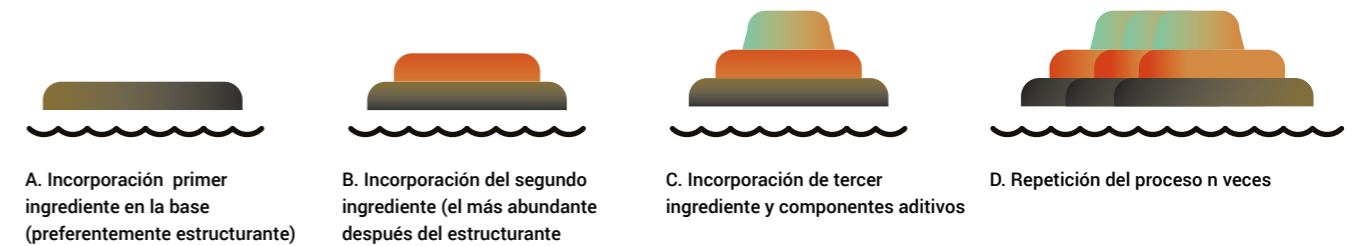
Tritradora desfibradora de alto rendimiento

C. CONSTITUCIÓN DE PILA

La constitución de la pila es un momento clave del proceso de agrocompostaje. Como ya se ha comentado anteriormente, debemos tener perfectamente definido el proceso integral de agrocompostaje para poder desarrollar un proceso definido y replicable cuya unidad de trabajo es el lote, entendido como la cantidad de material que se va a compostar de forma homogénea utilizando el mismo sistema de operación, control, mismo ingredientes y proporciones y que se inicia de forma simultánea. Un lote puede estar constituido por varias pilas de compostaje si son iniciadas en el mismo periodo de tiempo y operadas de igual manera.

En general la constitución de la pila se realiza de forma discontinua mediante la incorporación de los ingredientes de la mezcla de forma proporcional. La forma más cómoda de montar una pila de compostaje es trabajar con volúmenes de ingredientes, puesto que normalmente el actor no dispone de báscula. Se propone usar elementos volumétricos sencillos como remolques, palas de tractor que sirvan de unidad de medida para realizar la mezcla. Por ejemplo, si un agrocompostaje concreto indica que se deben mezclar 1 volumen de alperujo, 2 volumen de hoja de olivo y 1 volumen de gallinaza, usaremos la pala del tractor para ir depositando estos volúmenes hasta completar esos 4 volúmenes. Ese proceso se repite las veces que sea necesario hasta agotar el primer ingrediente y se considera acabado ese lote.


Figura 6. Montaje de pilas mediante sistema de sándwich para favorecer mezcla homogénea



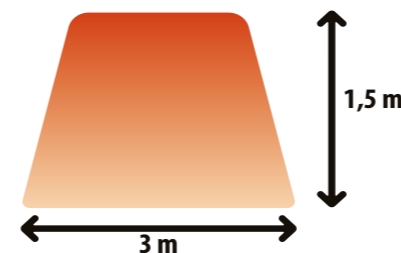
La disposición y orden de los ingredientes es importante. Se recomienda, utilizar una estrategia de **capas** o **disposición en sándwich**, debido a que cada material tiene una humedad y granulometría distinta.

Con esta disposición se facilita la transferencia de la humedad propia de cada ingrediente y la del potencial riego que se aplique en la fase de constitución de mezcla si los ingredientes no alcanzan la humedad adecuada. Una vez se ha agotado el primer material, si es posible, se dejará la mezcla 1 o 2 días sin homogeneizar/mezclar en esa disposición en sándwich. Seguidamente se procederá a la homogeneización de la mezcla en capas.

Tabla 6. Tipo de volteo y maquinaria utilizada.

Tipo de volteo	Imagen	Comentario
Volteo mediante volteadora autopropulsada		<p>Optimiza el espacio pues no es necesario disponer de mucho espacio entre pilas.</p> <p>Maquinaria específica poco disponible de forma individual.</p> <p>Posibilidad de uso mancomunado a nivel comarcal</p>
Volteo mediante volteadora a toma de fuerza		<p>Apero tipo Goliat de coste moderado que se opera con tractor es necesario proveer el espacio para el tractor en un lado de la pila</p>
Volteo mediante tractor con pala		<p>El más usual, dependiendo de la pala del tractor será más o menos eficiente. Se recomienda voltear de forma perpendicular a la línea de la pila, moviendo la pila en paralelo y volviéndola a montar de nuevo en el mismo sitio. Con este procedimiento conseguimos una doble mezcla.</p>

Después de todo este proceso se debe conseguir tener pilas de agrocompostaje homogéneas, con el mismo aspecto y con una configuración que favorezca la aireación natural por convección. **Se recomienda la siguiente configuración: pila con una altura entre 1,5 y 1,8 m de altura y entre 3 y 4 metros de anchura**, con corte tipo troncocónico. Pilas más grandes (altas o anchas) consiguen transformar más cantidad de material inicial, pero implican un manejo más intenso (más control de temperatura y aireación, aumento de frecuencia en los volteos para evitar falta de oxígeno).



Longitud de la pila (m): 6
 Volumen (m³): 13,5
 Densidad aparente (Kg/L): 0,5

De forma orientativa, **cada metro lineal** de pila de una mezcla con esas dimensiones, contiene de 2,5 a 4 m³ y considerando una densidad aparente de 0,5 ton/m³ unas 1,25 a 2 toneladas de materia fresca (tal cual la hemos utilizado).

Haciendo uso de la calculadora de compostaje Agrocompostaje de libre disposición en <https://agrocompostaje.umh.es/> se puede estimar el número de metros lineales (longitud de la pila) necesarios para cantidades conocidas de ingredientes iniciales

Finalmente, a nivel de operación y con el fin de dimensionar cada lote se podría realizar una estimación de la superficie a utilizar con los datos anteriores, teniendo en cuenta las dimensiones de la pila (especialmente el ancho), el tipo de volteo (que condiciona la superficie y la necesidad de pasillos) así como la longitud de pila necesaria para acoger los residuos a compostar. Se trata de estimaciones pues los volúmenes de residuos no son aditivos, esto es que, si tenemos 100 m³ de poda triturada y 200 m³ de alperujo, la mezcla no tendrá 300 m³ sino bastante menos, lo que sí mantendrá es el peso inicial de esos ingredientes.

Como se ha comentado previamente se pueden usar otros **materiales complementarios o aditivos** que, aunque no representan un peso o volumen significativo en la mezcla (normalmente menor del 1-2% del peso total de la pila), mejoran alguna o algunas de las características del compost final. Estos otros materiales complementarios no modifican necesariamente la porosidad o la estructura de la mezcla; si la modifican, no es su rasgo más distintivo. Algunos de estos materiales complementarios no son residuos, sino materias primas. En la tabla 7 se muestran algunos de los aditivos utilizados en procesos específicos de compostaje para obtener propiedades de valor añadido.

Cuando los compost/enmienda obtenidos vayan a ser utilizados en Agricultura ecológica, los aditivos utilizados deberán cumplir el Reglamento (UE) 2018/848 de 30 de mayo de 2018 sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y el Anexo II del Reglamento UE 2021/1165 de la Comisión del 15 de julio de 2021 o el que se autorizan determinados productos y sustancias para su uso en la producción ecológica y se establecen sus listas.

Tabla 7. Uso de aditivos para aumentar el valor del compost

Objetivo	Aditivo propuesto
Enriquecimiento en Nitrógeno (N)	Urea, estiércoles.
Enriquecimiento en Fósforo (P)	Estiércoles, yeso derivado de fertilizantes fosforados, fosfatos naturales.
Control de pH: acidificación	Azufre nativo
Control de pH: alcalinización	Óxido e hidróxido cálcico
Mejora de la polimerización	Óxidos de hierro y manganeso

Otros materiales usados como aditivos en esquemas de compostaje orientados a agricultura ecológica o biodinámica son:

- Sulfato ferroso
- Carbonato cálcico o cal
- Basalto micronizado o no
- Arcilla
- Preparados biodinámicos

Se recomienda que la adición de estos minerales no supere el 10% del peso total de la pila para evitar que se reduzca la aireación.

4.2 Etapa 2: Proceso de compostaje

El proceso de compostaje tiene dos fases principales: la **fase de descomposición o bioxidativa**, donde predomina la pérdida de materia y energía y la **fase de maduración** donde se produce la humificación y polimerización de la materia orgánica.

A. DESCOMPOSICIÓN: FASE BIOXIDATIVA

La etapa de descomposición es la fase del proceso de compostaje en la que se produce la descomposición biológica de las moléculas más fácilmente degradables con una liberación de energía que conlleva el aumento de la temperatura del material y la evaporación de parte del agua contenida en este material, y con una disminución inicial del pH por formación de ácidos orgánicos.

Al tratarse de la etapa biológicamente más activa, se deben controlar cuidadosamente las condiciones de trabajo para evitar situaciones que repercutan negativamente en la higienización y descomposición correcta del material. En este sentido, el seguimiento de la temperatura de la pila como indicador clave del proceso de agrocompostaje es esencial. De forma asociada, en esta fase del proceso se deberá ser especialmente cuidadosos con el control de la aireación y la humedad de la mezcla para optimizar la biodegradación, teniendo en cuenta que se producen pérdidas de entre el 20 y el 60% del peso fresco de la pila inicial durante esta etapa bioxidativa o de descomposición, en forma fundamentalmente de vapor de agua y CO₂.

Como ya se ha mencionado, aunque no existe una duración preestablecida de esta fase de compostaje se sugiere una duración mínima de 90 días de etapa bioxidativa incluyendo al menos 4 volteos para asegurar la homogenización de la masa a compostar, así como al menos 30 días de madurez, sumado un total de 120 días como mínimo.

B. AIREACIÓN

La elevada actividad de los microorganismos aeróbicos genera un elevado consumo del O₂ presente en el espacio poroso de la pila, haciendo que la concentración de O₂ disminuya con el tiempo, siendo necesario operar la pila para mejorar/recuperar esos niveles de O₂. Aunque existen múltiples formas de aireación, la que se adapta mejor al esquema del agrocompostaje es la aireación mediante volteo periódico. Mediante dispositivos de volteo autónomos o enlazados a tractor o la propia pala del tractor se pueden realizar volteos de la masa que permiten recuperar la concentración de O₂ de la pila a los niveles de la atmósfera (21% de O₂). De forma estimada, se recomienda realizar volteos periódicos cada 15 días durante el primer mes de agrocompostaje, pudiendo espaciarse mensualmente. Para un sistema de agrocompostaje típico de 4 meses de duración (3 meses de fase de descomposición y un mes de maduración) se pueden preestablecer 4 volteos (a tiempo 0 asociado al volteo usado en la mezcla inicial; y a los 15, 30, 60 y 90 días). En el caso de temperaturas superiores a 75-80°C en la pila se puede proceder a un volteo de enfriamiento si estas condiciones se mantienen de forma sostenida.

Se puede valorar el uso de aireación forzada que permite que se garantice de forma más eficiente el aporte de aire (O₂) suficiente para satisfacer las necesidades de la actividad microbiana del proceso y se minimicen las emisiones de olores molestos. Esta aireación se puede efectuar mediante soplantes por impulsión o por aspiración; el volteo en este caso puede ser un complemento. Este tipo de aireación implica mayor inversión, uso de energía eléctrica en la mayoría de los casos, sistemas de control y automatización, etc.

C. RIEGOS

La incorporación de líquidos en la etapa de descomposición puede ser necesaria cuando:

- El material o la mezcla que se han de compostar estén por debajo de los niveles de humedad necesarios para que el compostaje arranque o se desarrolle con normalidad.
- La actividad microbiana durante la etapa de descomposición es tan enérgica y la generación de calor es tan elevada que la masa en compostaje se llega a secar hasta ralentizar o casi detener el proceso microbiano.

Para estas situaciones debe preverse la instalación de equipos que permitan el aporte de agua o lixiviados. En general, se debe regar en los procesos de volteo periódicos para aprovechar que accedemos a toda la masa en compostaje, puesto que el riego de las pilas en superficie ya sea mediante manguera o mediante líneas de goteros o micro aspersores usualmente sólo humecta una franja pequeña de la pila:

Figura 7. Tipos de riego en agrocompostaje.



Riego mediante manguera



Riego mediante línea de goteros



Riego mediante línea de microaspersores

Para conocer de forma aproximada la humedad de una pila y sus necesidades de riego se suele realizar la prueba del puño.

Con esta prueba podemos conocer y corregir la humedad de las pilas de forma casi inmediata:

- Realizar un agujero en la pila de compost para coger muestra de la zona central (despreciar capa superficial)
- Se coge la cantidad de compost que cabe en el puño y se cierra el puño con fuerza para presionar el compost
- Si apenas salen unas gotas, se queda la palma de la mano mojada y se queda el compost con forma de pelota, nos encontramos con la humedad correcta

Figura 8. Determinación cualitativa recomendada de humedad del compost: Prueba del puño



Realizar un agujero en la pila de compost para coger muestra de la zona central (despreciar capa superficial)



Se coge la cantidad de compost que cabe en el puño y se cierra el puño con fuerza para presionar el compost



Si apenas salen unas gotas, se queda la palma de la mano mojada y se queda el compost con forma de pelota, nos encontramos con la humedad correcta

D. INCORPORACIÓN DE LIXIVIADOS

Los lixiviados del propio proceso de agrocompostaje pueden ser usados como fuente de humedad en vez de agua. Pero se recomienda su aplicación antes de la fase de higienización (fase termófila). La aplicación de un líquido aprovechando la actuación de un equipo de volteo es muy apropiada si se dispone de este equipo. En todo caso, todos los lixiviados generados en el propio proceso, así como las aguas pluviales serán recogidos en una balsa diseñada y dimensionada a tal efecto.

4.3 Etapas 3, 4 y 5: maduración, post tratamiento y almacenamiento

ETAPA 3. MADURACIÓN

En esta etapa del agrocompostaje, la materia orgánica empieza a estabilizarse y acaba de madurar hasta que se obtiene un compost de calidad. La descomposición de materia orgánica, aunque existe, tiene mucha menos importancia, por lo que no hay ni un consumo elevado de oxígeno ni una gran liberación de energía. Por ello, la temperatura de la masa disminuye gradualmente. Los microorganismos mayoritarios en esta fase son los hongos, que son capaces de transformar sustancias más resistentes a la degradación. Estos hongos son capaces de generar sustancias de alto valor añadido denominadas sustancias húmicas, así como generar propiedades de interés agronómico. Debido a la menor actividad microbiana, esta etapa es mucho menos crítica que la precedente y no requiere un control tan exhaustivo de las condiciones de trabajo. Sin embargo, debe continuarse con el control para evitar situaciones indeseadas. Es importante establecer en qué momento la pila entra en fase de maduración para asegurar el correcto desarrollo de los procesos. Este punto de inicio de maduración es controvertido pues condiciona las capacidades de las instalaciones (cuanto menor sea la duración del agrocompostaje, más cantidad de material podemos transformar) pero en el agrocompostaje se prioriza la calidad del proceso y del producto. En este sentido, existen diferentes criterios que correlacionan volteos y temperatura de forma que aseguremos que todo el material ha estado situado en diferentes zonas de la pila y sometido a ciclos de calentamiento adecuados. En esta guía se establece una serie de recomendaciones para establecer este punto final (Apartado 5: Duración y finalización del proceso)

La duración de la etapa de maduración también es variable oscilando entre 30 y 60 días. En este escenario de agrocompostaje recomendamos una duración mínima de la etapa de maduración de 30 días.

ETAPA 4. POST-TRATAMIENTO

Se denomina etapa de post-tratamiento al conjunto de operaciones que, opcional o necesariamente, deben llevarse a cabo una vez finalizada la etapa de maduración. Las etapas de post-tratamiento pueden tener distintas finalidades: fraccionar según granulometría, separar según posibles usos, mezclar con otros productos para mejorar alguna de sus características, en general cumplir con los siguientes objetivos:

- Recuperar el estructurante no degradado en caso de que la mezcla compostada todavía lo contenga e interese recuperarlo para favorecer su aplicación en campo con los aperos tradicionales. (ej. Fragmentos discretos/visibles)

• Separar los potenciales materiales impropios que el compost generado pueda contener, por no haberse eliminado anteriormente (ej. Fragmentos de elementos plásticos de enturorado, bridas etc.).

• Obtener un compost de una granulometría determinada.

• Obtener unos productos para aplicación en campo con unas características químicas o físicas determinadas, ya sea mezclando diferentes compost o bien mezclándolos con abonos minerales, arenas, tierras vegetales, etc.

• Ofrecer una determinada presentación del producto.

Figura 9. Adecuación de tamaño del compost final y dispositivos utilizables.



Malla manual



Criba vibratoria



Cribado con equipamiento específico (tromel)



Molino con carga mediante sinfín

Las operaciones de adecuación de tamaño del compost final se concretan fundamentalmente en el cribado/tamización o en último caso el triturado del compost maduro. El cribado se hace necesario para facilitar la aplicación del compost en sistemas de esparcimiento usuales. Los elementos para realizar el cribado-tamización son diversos:

Se recomienda que el 90% del compost maduro tenga un tamaño menor de 10 mm. Por ello se recomienda el uso de una malla de 10 mm (1 cm) para cribar. El cribado genera dos fracciones, la que verifica el tamaño de la criba (denominado compost afinado) y la que es mayor de ese tamaño, que incluye compost compactado físicamente pero también elementos no transformados como restos de podas, por ejemplo. Se recomienda reutilizar el material estructurante no transformado en nuevos ciclos de compostaje (se denomina habitualmente **recirculado**).

En ocasiones, si se dispone de maquinaria, se puede triturar el compost maduro para aumentar la eficiencia del proceso de cribado y evitar la recirculación de ningún material.

Otras operaciones de post-tratamientos que potencialmente se pueden plantear es el lavado del compost maduro, si la presencia de sales fuera muy elevada. Este tipo de procesos consiste en la adición de grandes cantidades de agua que laven las sales, no siendo una operación ni usual ni necesaria en un entorno de agrocompostaje salvo que el compost se quiera usar en cultivo en contenedor.

ETAPA 5. ALMACENAMIENTO

Se denomina etapa de almacenamiento de compost al periodo comprendido entre el final de las etapas productivas y su salida del establecimiento de compostaje. Como resultado de las diferentes operaciones que configuran la etapa de post-tratamiento se obtienen una serie de materiales que hay que tratar y almacenar adecuadamente. Estos materiales son:

- 1) El compost afinado de cada lote elaborado, que potencialmente pueden tener distinta composición y proceso y debemos de almacenar en trojes o áreas específicas, a granel o ya envasados (ej. Big bags), hasta su uso y/o potencial comercialización.
- 2) La fracción o las fracciones del estructurante que no presentan las características adecuadas para su reutilización se consideran habitualmente como rechazo y se tratan como potencial material recirculado.
- 3) Los rechazos. Elementos impropios cuantitativamente poco importantes que deben ser gestionados de forma individual (ej. Restos de plásticos de uso agrícola o ganadero) acopiándolos en contenedores específicos (plástico).

Figura 10. Ejemplo de almacenamiento del compost final.



Almacenamiento en troje



Almacenamiento en big bags

En ocasiones, y siempre que no sea necesario someter el compost a algún post-tratamiento, se puede llevar a cabo el almacenamiento en el mismo lugar donde se realiza la maduración del producto, como una continuación natural de esta etapa. Se necesita un tiempo mínimo de almacenamiento para:

- adecuar los ritmos de producción de compost a su potencial uso/demanda
- acreditar la calidad de cada lote producido

4.4 Recomendaciones para el dimensionado y distribución de la instalación

Para el dimensionado del establecimiento se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Dimensión nominal del establecimiento

Establecimiento de Agrocompostaje Basal: tendrá un flujo de entrada estimado de materia prima de < 200 t/año

Establecimiento de Agrocompostaje Medio: tendrá un flujo de entrada estimado de materia prima de < 2.500 t/año.

- **Tipología de la biomasa** que se tratará (degradabilidad, estructura, almacenamiento, etc.) y la necesidad o no de su pretratamiento.

- **Definición de los ingredientes**, formato de uso (bruto o pretratados) y proporción de dichos materiales en el lote o lotes.

- **Sistema tecnológico utilizado y maquinaria disponible:** Dependiendo del manejo a nivel de aireación/volteo y homogenización y la maquinaria disponible para ello necesitaremos mayor o menor superficie para la operación.

- **Duración del proceso:** dependiendo del tiempo necesario para obtener un lote se definen los ciclos anuales de compostaje que se pueden realizar sobre dicha superficie, que debe respetar las condiciones mínimas de tiempo y volteos recomendados en el apartado 4 de la guía técnica, siendo el valor estimado en la norma técnica de 4 meses incluyendo el periodo de madurez.

- **Reducciones de volumen durante el proceso:** el proceso de agrocompostaje representa pérdidas de masa de entre 20 y 60% del peso inicial. Para aprovechar este hecho y optimizar el proceso y el espacio se recomienda el siguiente esquema de trabajo que permite reducir el uso de superficie con estrategias de configuración de pilas paralelas en el mismo lote que puedan ser unificadas en una única pila al cabo de los primeros 30 días.

- **Espacios de procesamiento, de almacenamiento, etc.:** debemos preestablecer zonas de pretratamiento, mezcla de ingredientes y almacenamiento de compost final.

Figura 11. Detalle de pilas de compost.

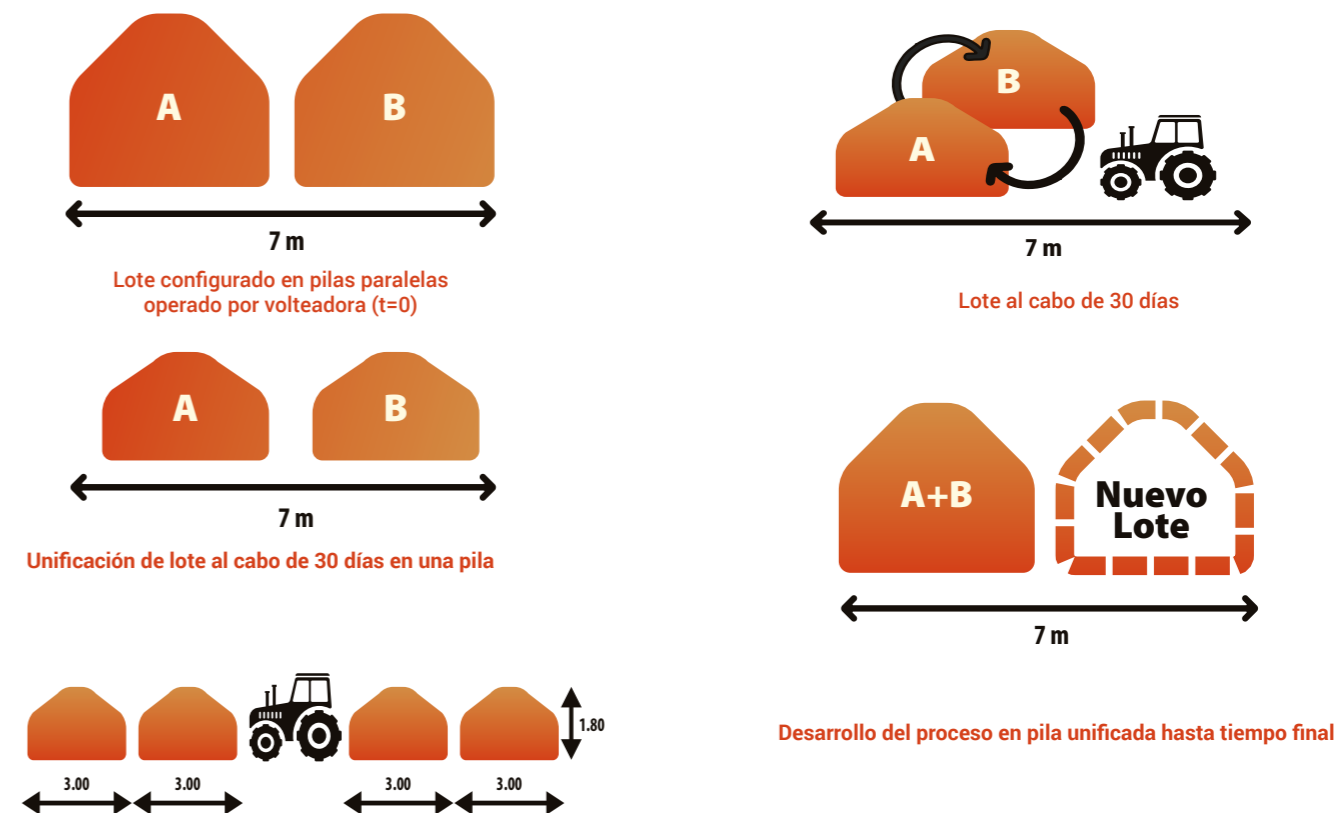


Tabla 8. Estimación de la capacidad de tratamiento por cada ciclo de agrocompostaje y su correlación con la superficie de la instalación.

Superficie de la planta (m ²)	Capacidad de producción (Tn/ciclo)	
	Parcela con geometría regular	Parcela con geometría irregular
500	175	125
1.000	350	250
1.500	525	375
2.000	700	500
2.500	875	625
3.000	1050	750
3.500	1225	875
4.000	1.400	1.000
4.500	1.575	1.125
5.000	1.750	1.250



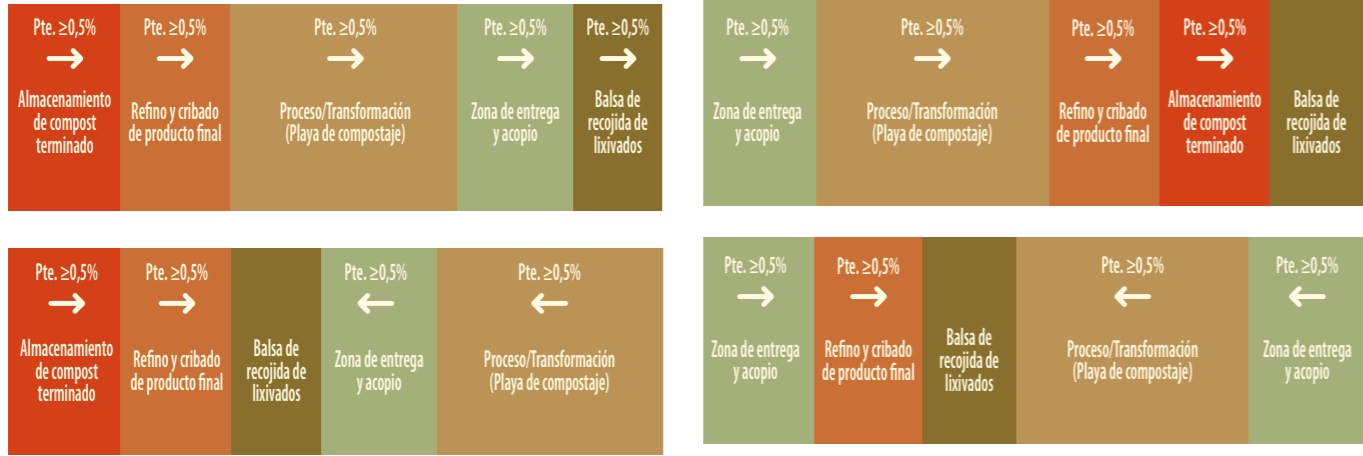
Aunque cada establecimiento cuenta con características propias, de forma orientativa podemos considerar y recomendar el siguiente esquema:

Tabla 9. Zonas de un establecimiento de agrocompostaje, operaciones asociadas y sus características técnicas

Zona	Operaciones	Ocupación orientativa acumulada (meses/año)	Comentarios y sinergias
Zona de acopio	Almacenamiento de materias primas	3-4	Puede ser la misma que zona de pretratamiento
Zona de pretratamiento	Triturado	3-6 eventos de trituración (1-2 días cada uno)	Puede ser la misma que zona de acopio o zona de mezcla
Zona de mezcla	Mezcla, volteo, riego	3-6 eventos de mezcla, equivalentes a los lotes (2-3 días cada uno)	Puede ser la misma que zona de compostaje
Zona de compostaje (fase biooxidativa)	Volteo, riego	10-11 meses	
Zona de maduración	Riego	3-6 meses (1 mes por ciclo/lote)	Dependiendo del nº ciclos puede ser la misma que la zona de compostaje
Zona de post-tratamiento	Cribado, trituración	3-6 eventos de cribado, trituración (2 días por evento)	Puede ser la misma que la zona de maduración
Zona de almacenamiento		Variable 0-6 meses (Depende de las necesidades de uso)	Puede ser la misma que la de maduración si se usa inmediatamente después
Balsa de lixiviados		12 meses	

En la figura 12 Se aporta a modo de recomendación un diseño de establecimiento y distribución de zonas de trabajo que permite el flujo de lixiviados adecuado

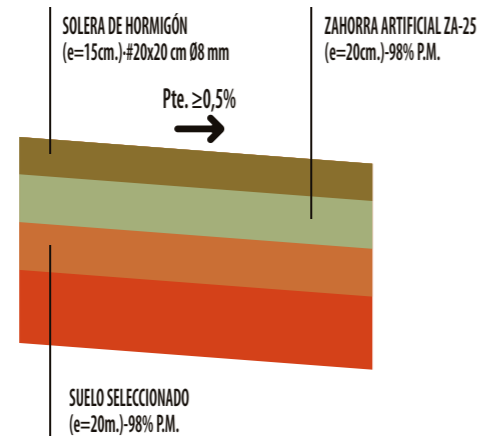
Figura 12. Recomendaciones de diseño para que el flujo de lixiviados discurra de forma adecuada (sin escala).



Evacuaciones de lixiviados correcta

Evacuación de lixiviados incorrecta

Las zonas destinadas a la recepción, el procesado y el almacenamiento de las materias primas, en el establecimiento que así se requiera, deberán disponer necesariamente de pavimentos impermeabilizados con formación de las pendientes adecuadas para conducir los lixiviados hacia el sistema de almacenamiento correspondiente. A continuación, en las figuras 13 y 14, se plantean a modo de recomendación 2 tipos de impermeabilización



A) IMPERMEABILIZACIÓN CON LÁMINA DE PEAD:

Terraplén de suelo seleccionado, de 20 cm de espesor compactada al 98% del P.M.
 Lámina de PEAD de 1,5 mm.
 Base de zahorra artificial, ZA-25, de 25 cm de espesor compactada al 98% del P.M.

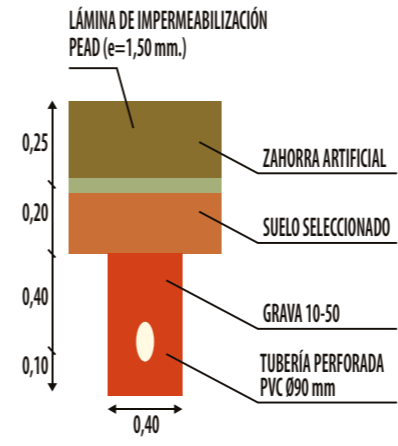


Figura 13. Detalle de impermeabilización con lámina de PEAD

B) IMPERMEABILIZACIÓN CON SOLERA DE HORMIGÓN:

Terraplén de suelo seleccionado, de 20 cm de espesor compactada al 98% del P.M.
 Base de zahorra artificial, ZA-25, de 20 cm de espesor compactada al 98% del P.M.
 Solera de hormigón de 15 cm de espesor con mallazo #20x20 cm y redondo de 8 mm.

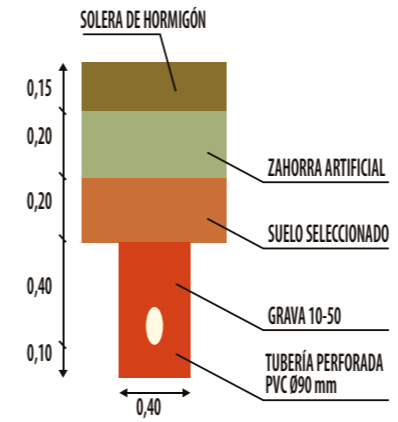


Figura 14. Detalle de impermeabilización con solera de hormigón



5 Duración del proceso de compostaje
y condiciones de finalización



El proceso de compostaje, como ya se ha visto, puede variar en su duración total fundamentalmente porque la duración de la fase biooxidativa o de descomposición varía en función de los ingredientes utilizados y su degradabilidad.

En esta guía se ha recomendado una duración de la fase biooxidativa de, al menos, 90 días y 4 volteos seguidos de una duración de la fase de maduración de 30 días. Si consideramos el final de la fase biooxidativa de un lote como el punto a partir del cual la masa no puede mantener de forma sostenida en el tiempo (más de 10 días como criterio estimado) la temperatura de 40°C, **podemos definir como criterios para el paso a la etapa de maduración si se verifica que:**

• la temperatura promedio de la pila es menor de 40 grados centígrados después del último volteo y después de pasar 90 días de proceso y al menos 4 volteos ó

• Si después de 90 días de proceso y 4 volteos, la temperatura promedio de la pila se sitúa después de 7 días del último volteo entre 40 y 45°C, pasa a etapa de maduración;

• Si después de 90 días de proceso y 4 volteos, la temperatura promedio de la pila después de 7 días del último volteo se sitúa entre 45 y 55°C, se debería prolongar otras dos semanas más la fase biooxidativa del proceso y proceder de nuevo a voltear y verificar criterios de final de fase.

• Si después de 90 días de proceso y 4 volteos, la temperatura promedio de la pila después de 7 días del último volteo es superior a 55°C, se debería prolongar otras 4 semanas más la fase biooxidativa del proceso y proceder de nuevo a voltear y verificar criterios de final de fase.

A efectos de esta guía técnica se considera como proceso típico de agrocompostaje el que dura en torno a 120 días en total, desglosado en 90 días (aprox. 3 meses) de fase biooxidativa si verifica las condiciones anteriores junto a 1 mes (aprox. 4 semanas) de maduración. Sin embargo, existen procesos de agrocompostaje que, por la naturaleza de sus ingredientes, poseen mayor duración, como aquellos que incluyen una mezcla con una relación C/N elevada (mayor de 30) o aquellos que incluyen materiales con contenidos de polifenoles elevados (ej. Alperujos).





6 Calidad del compost final

La calidad del producto final, asimilable a enmienda orgánica-compost, depende en gran medida del proceso llevado a cabo, así como de los materiales de partida. Por ello en esta guía técnica se describen claramente tanto los insumos que se pueden utilizar como el proceso de agrocompostaje, con el fin de alcanzar un compost de máxima calidad, bien estabilizado, equilibrado en nutrientes y con elevada humificación. Como ya se ha comentado, el control y seguimiento del proceso de agrocompostaje es el primer paso para asegurar que el compost obtenido ha sido realmente higienizado evolucionando a través de diferentes perfiles térmicos exigidos en el Reglamento UE 1009/2019 y que ya se han mencionado en esta guía.

• La calidad viene determinada por la suma de diferentes propiedades y características de los compost obtenidos. Dentro de estas características deben establecerse diferentes exigencias para usos diversos, pero a la vez definir mínimos a cumplir para cualquier aplicación. Puede hablarse de calidad en 3 vertientes:

• Calidad física: granulometría, humedad, olor, presencia de partículas extrañas.

• Calidad química: Contenido y estabilidad de la materia orgánica, contenido en nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y sustancias de valor agronómico, presencia de contaminantes inorgánicos u orgánicos.

• Calidad biológica: presencia de semillas de malas hierbas y patógenos primarios.

De esta clasificación se desprenden diferentes parámetros cuyos límites se establecen en el RD 506/2013 sobre fertilizantes y a nivel europeo en el Reglamento UE 1009/2019 que entra en vigor el 16/07/2022. Así, la calidad de un producto acabado se mide con varios parámetros como la tasa de impropios físicos (plástico, piedras...), la concentración en metales pesados, la concentración de contaminantes orgánicos, la presencia de agentes patógenos, de malas hierbas, la estabilidad del producto y su riqueza en materia orgánica, la madurez del producto (capacidad de favorecer el crecimiento de los vegetales) y la fitotoxicidad y presencia de polifenoles, (efectos nocivos potenciales del compost sobre el crecimiento de los vegetales).

Respecto a la madurez y estabilidad del producto, en ocasiones se confunden ambos términos considerándolos sinónimos, sin embargo, la estabilidad se refiere al grado de descomposición biológica, mientras que la madurez es una característica que incluye la estabilidad biológica, el grado de humificación y el grado de fitotoxicidad derivado de compuestos como el amoníaco, ácidos orgánicos de cadena corta, compuestos fenólicos hidrosolubles, etc. En este sentido, se recomienda verificar la madurez y estabilidad del compost además de su calidad agronómica y normativa. De esta forma, se incluye en esta Guía el Anexo 05: Evaluación de la estabilidad del compost final, que pretende recomendar una adaptación metodológica, de forma informativa.

El Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes establece diferentes tipos de compost atendiendo al origen de sus materias primas y establece diferentes contenidos mínimos de nutrientes a garantizar en cada uno de ellos y diferentes exigencias en polifenoles, granulometría y materia orgánica total

6.02: Compost (compost en general): materiales orgánicos biodegradables del Anexo IV del RD 506/2013.

6.03: Compost vegetal: exclusivamente de hojas, hierbas cortadas y restos vegetales o de pasto,

6.04: Compost de estiércol: exclusivamente de estiércol

6.05: Vermicompost: materiales orgánicos digeridos por lombrices

6.09: Compost de alperujo: materia orgánica procedente del alperujo

Tabla 10. Contenidos mínimos de los composts definidos por la legislación de fertilizantes (RD 999/2017)

Contenidos mínimos	6.02	6.03	6.04	6.05	6.09
Materia orgánica total (%)	35	40	35	30	45
Humedad máxima (%)	40	40	35	30	45
C/N	<20	<15	<20	<20	<20
Contenido en impurezas e inertes	0	0	0	exento	0
Granulometría, donde el 90% de las partículas pasan por malla de:	25mm	exento	exento	25mm	exento
Contenido máximo en polifenoles	exento	exento	exento	exento	0,8%

Por otro lado, el Real Decreto 503/2013 y 999/2017 sobre fertilizantes, también establece tres categorías de compost según los umbrales límite de concentraciones en metales pesados. Los compost Clase C no podrán ser utilizados en agricultura.

Tabla 11. Clasificación de los compost en función del contenido en metales pesados

Metal pesado	Límites de concentración (mg/kg de materia seca)		
	CLASE A	CLASE B	CLASE C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)	0	0	0



Respecto a la presencia de patógenos el mismo RD establece también unos **límites máximos de microorganismos** establecidos como indicadores (tabla 12):

Tabla 12. Límites máximos para verificar a nivel de microorganismos patógenos

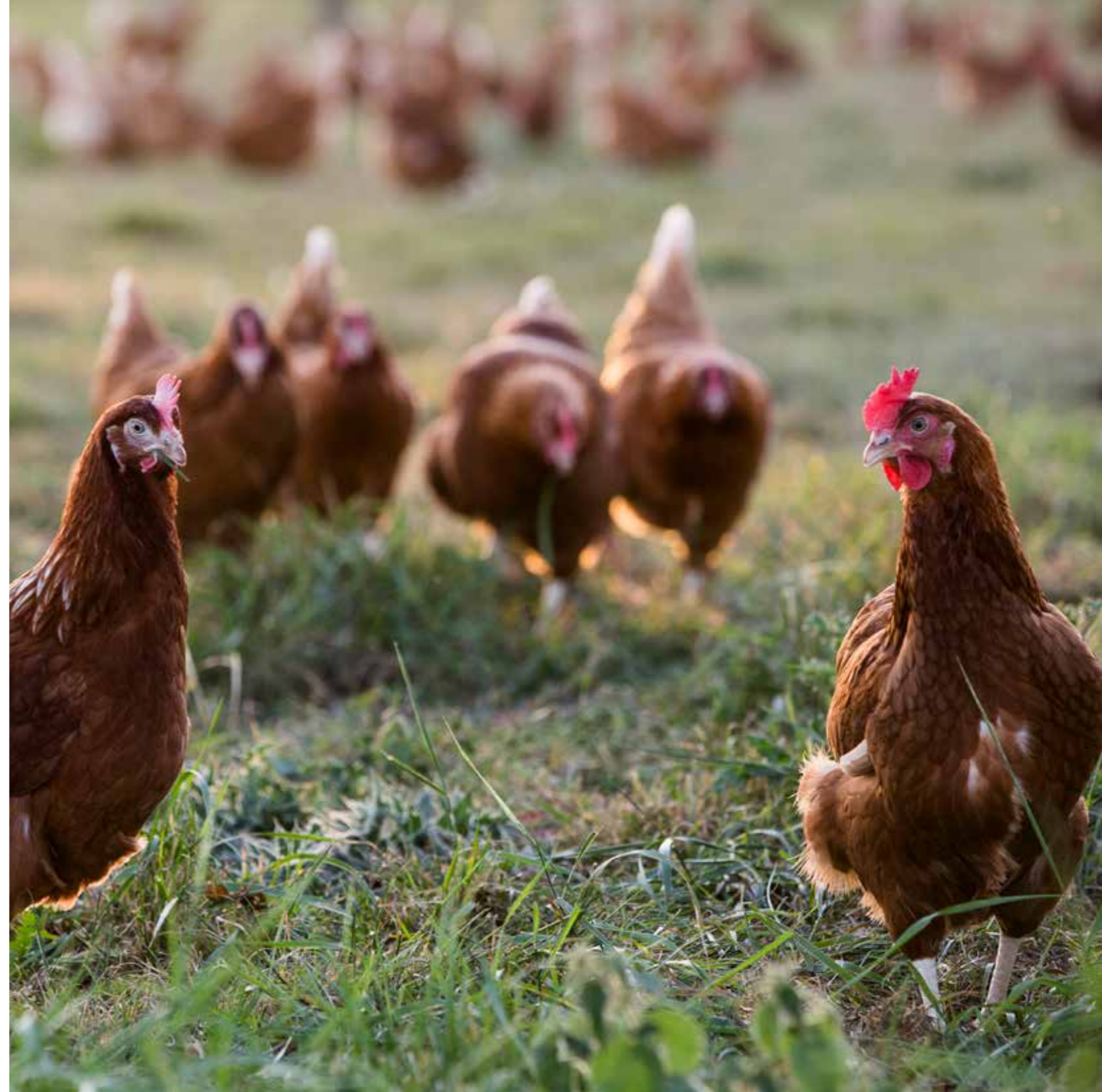
Tipo de microorganismo	Requisito
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente en 25 g de producto elaborado
<i>Escherichia coli</i>	<1000 NMP por g de producto elaborado

Aunque el objetivo del agrocompostaje es el autoconsumo por parte del agricultor, en esta guía técnica incluimos como información adicional el marco normativo europeo, a través del Reglamento (UE) 2019/1009, que establece condiciones armonizadas para la puesta a disposición en el mercado de los fertilizantes producidos a partir de materiales reciclados u orgánicos en todo el mercado interior. Los criterios generales establecidos son:

Tabla 13. Condiciones armonizadas para fertilizantes reciclados u orgánicos en la UE

Parámetro	Valor
C orgánico (% sobre m.s.)	>7,5
Materia seca (%)	>20
Metales pesados (mg/kg m.s.)	
Cadmio	2
Cromo (VI)	2
Cobre	300
Mercurio	1
Níquel	50
Plomo	120
Zinc	800
Arsénico inorgánico	40
Microorganismos patógenos	
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente en 25 g o 25 mL
<i>Escherichia coli</i>	1000 en 1 g o 1 mL

m.s.: materia seca



7 Usos del compost final

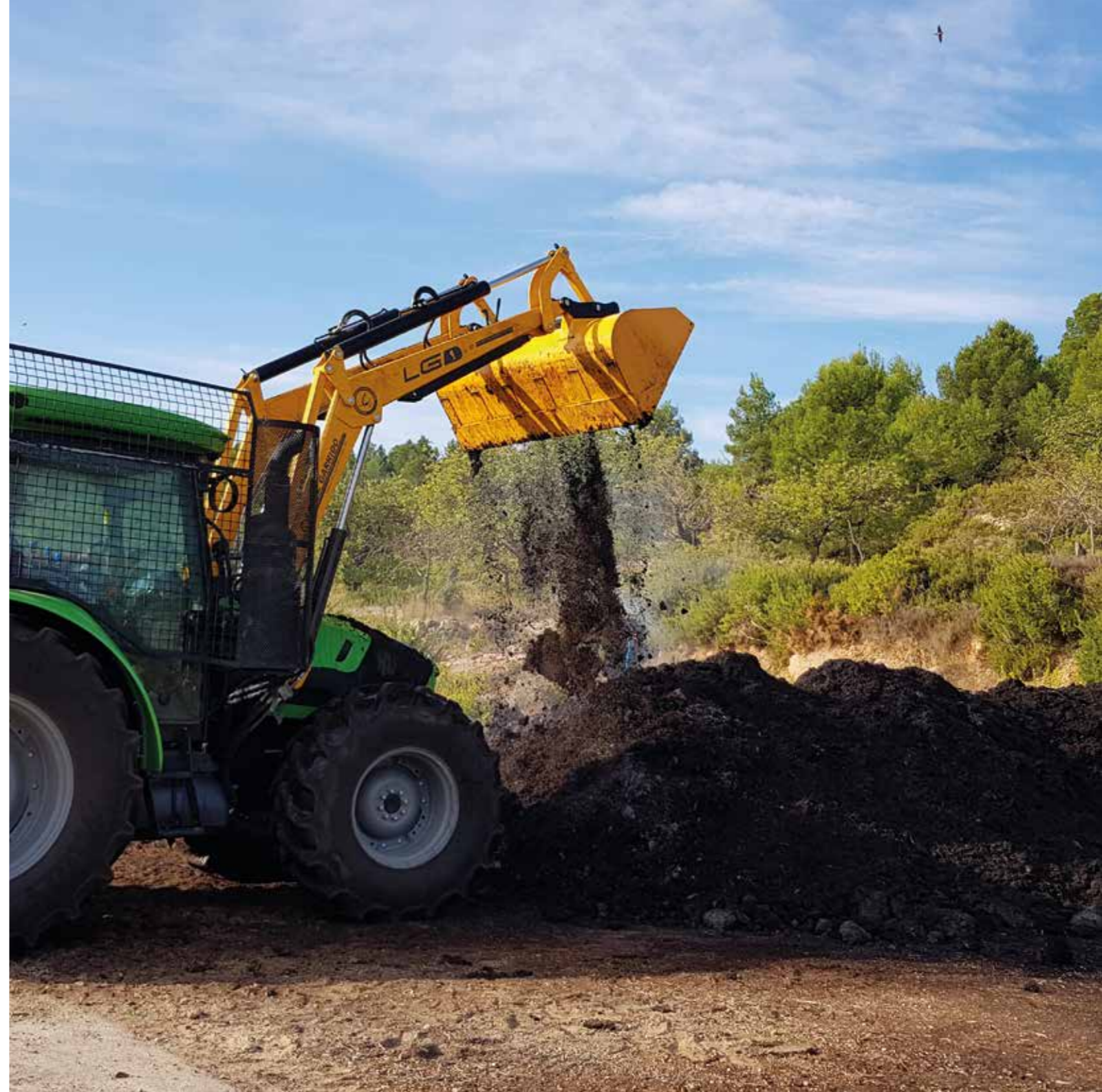
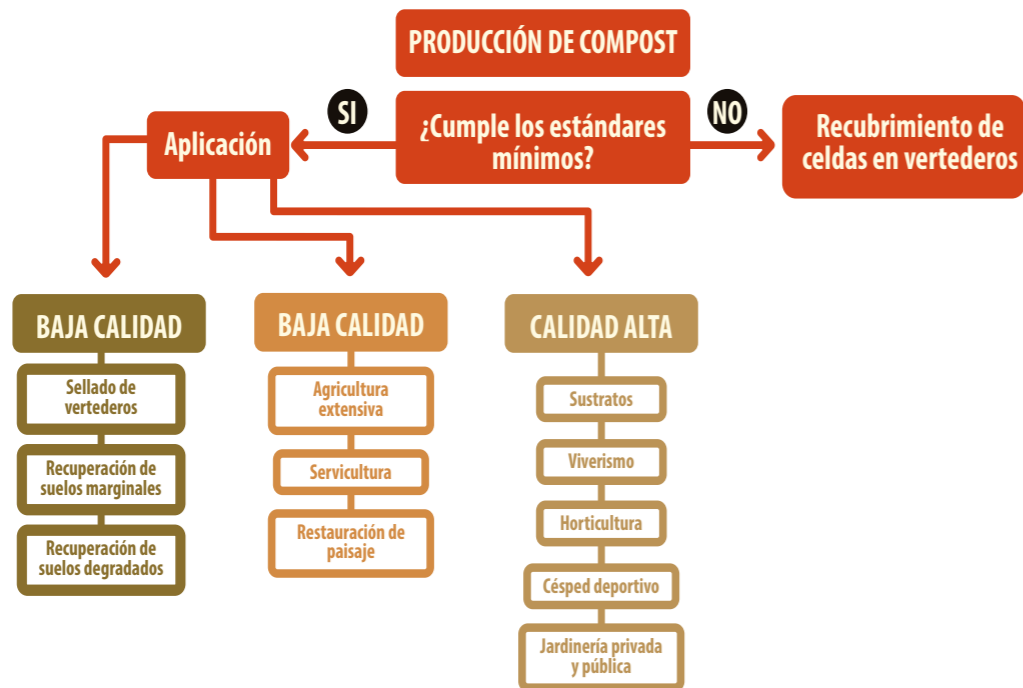


La demanda de materiales compostados para su uso en los suelos europeos, españoles y valencianos es creciente debido a su acción decisiva tanto en la recuperación de la fertilidad orgánica como en aspectos medioambientales y en servicios ecosistémicos. Está claro que dicha demanda es muy superior a la oferta y esta diferencia se acentuará en el futuro. Tal como se ha descrito en el apartado 6, los compost se clasifican en función de su calidad. En la figura 15 se muestran los usos tradicionales de los compost en función de su calidad y el sector objetivo asociado. El compost de elevada calidad puede utilizarse bien como abono (fuente de aporte de nitrógeno o de fósforo), bien como enmienda de suelo (transferencia de propiedades físicas específicas), o bien como sustrato de cultivo en tierras agrícolas, zonas verdes, forestales, y en horticultura como complemento a la utilización de otros sustratos potencialmente más contaminantes y menos sostenibles y por último en jardinería doméstica o de ocio. Este material compostado de calidad debe ir dirigido a las actividades agrícolas de mayor valor añadido, entre las que destaca la agricultura ecológica y en general la agricultura sostenible.

Los compost elaborados al amparo de la Orden de Agrocompostaje de Proximidad están orientados a la obtención de la máxima calidad para su uso en agricultura sostenible desde un enfoque claro de autoconsumo.

Los compost de calidad inferior se deben utilizar preferiblemente con precaución como enmienda orgánica en usos como la restauración de canteras y vertederos y otras restauraciones de obra civil.

Figura 15. Diferentes recomendaciones de uso del compost según niveles de calidad.
Adaptado de M. Soliva y M. López (2004)





8 Dosificación

De cara a establecer la aplicación de estos recursos, contamos con la Orden 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana (DOGV núm. 8249 de 07.03.2018) que incluye información muy útil y adaptada a cada escenario (cultivo, material fertilizante, etc.). En el Anexo II de dicha orden, apartado C, se recomienda respecto a aportes de nitrógeno a los cultivos, que cuando se aplique estiércol (sin transformar o transformado-compost de estiércol) no aportar al suelo por hectárea y año una cantidad de producto que contenga más de 170 kilogramos de nitrógeno, pudiéndose complementar el abonado con otro nitrógeno mineral u orgánico por encima de esta cantidad hasta completar las necesidades del cultivo. Dicha adición complementaria debe establecerse ajustando bien el momento y la forma de aplicación según el estado fenológico y ciclo de cultivo y con una elección adecuada de la fuente nitrogenada.

Por tanto, consideramos como recomendación general de esta guía no sobrepasar los 170 kg N/ha y año en la dosificación de los compost elaborados dentro de la Orden de Agrocompostaje.

Así mismo, en la ORDEN 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana, ANEXO II, Apartado b), tabla 1, aparece una tabla que muestra las características de diferentes materias fertilizantes nitrogenadas y se facilita a continuación:



Tabla 14. Características de los compost establecidas en el ANEXO II de la orden 10/2018 de 27 de febrero de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural.

	Riqueza % sobre materia seca	% N disponible 1º año	% N disponible 2º año
ESTIÉRCOLES SÓLIDOS NO TRANSFORMADOS			
Bovino	1-2	25	12
Équidos	1-2	45	22
Conejo	2-2,5	45	22
Ovino-Caprino	2-2,5	45	22
Porcino	1,5-2	60	25
Aves (gallinaza)	2-5	70	20
ESTIÉRCOLES LÍQUIDOS NO TRANSFORMADOS			
Purín de porcino		70 (2)	0
OTRAS MATERIAS DE ORIGEN ANIMAL			
Compost gallinaza	2-4	30	15
Compost de otros estiércoles	1,2-2,2	20	10
Vermicompost	1-3	20	10
Abono orgánico nitrogenado de origen animal	6-10	50	25
MATERIAS DE ORIGEN URBANO O ASIMILADO			
Compost de residuos sólidos urbanos (RSU)	1-1,8	18	10
Compost de la fracción orgánica de los residuos municipales (FORM)	1,6	18	10
Compost de lodos de depuración	2-3	20	10
Lodos de depuración tratados aeróbicos	2-7	30	15
Lodos de depuración tratados anaeróbicos	2-7	25	12
MATERIAS DE ORIGEN VEGETAL			
Efluentes de almazara	0,1-0,4	0	10
Alperujo desecado	0,9-1,3	0	10
Compost de alperujo	2,2-2,8	0	10
Compost de residuos vitivinícolas	1,8-2,7	10	5
Compost vegetal	1-1,2	10	5
Emienda orgánica húmica	1-4	20	10
Abono orgánico nitrogenado de origen vegetal	2-12	30	15

(1) Porcentaje en materia húmeda (2) % asimilación de N aportado. En los purines el nitrógeno está mayoritariamente en forma mineral: urea y amonio

El nitrógeno a aportar mediante la fertilización nitrogenada a un determinado cultivo se establece como diferencia entre las necesidades del cultivo a lo largo de su ciclo vegetativo y el nitrógeno disponible en el suelo y aportado, cuando proceda, por el agua de riego. Debe considerarse por tanto que las dosis aquí recomendadas deberán corregirse posteriormente teniendo en cuenta las condiciones específicas de cada parcela de cultivo como la concentración de nitratos del agua de riego, el contenido de nitrógeno disponible en el suelo, así como la mineralización neta de la materia orgánica (humus) disponible, por lo que resulta necesario una analítica de suelo y agua previa a la fertilización con el fin de ajustar las dosificaciones. Del mismo modo, debe tenerse en cuenta el porcentaje de mineralización del nitrógeno presente en cada uno de los compost durante el primer y segundo año tras su aplicación (Tabla I de la ORDEN 10/2018, de 27 de febrero). Por tanto, durante el primer año de la aplicación del compost, el nitrógeno disponible por el cultivo será la suma del nitrógeno mineral contenido en el compost, y la fracción de nitrógeno mineralizada durante el primer año.

EJEMPLOS DE DOSIFICACIÓN:

Los composts asociados a procesos de agrocompostaje son por definición muy variables en ingredientes, proporciones y composición final por lo que su dosificación es compleja y resulta difícil pre-establecer cuantas toneladas por hectárea son recomendables hasta que no se dispone de la analítica final del lote. Sin embargo, una vez establecido un proceso en concreto, la repetitividad en lotes similares será cada vez mayor y por tanto la capacidad del actor de manejar eficazmente este recurso autogenerado en su instalación. A través de proyecto Agrocompost se ha podido establecer una composición promedio de diferentes procesos de agrocompostaje asociados a los diferentes sectores productivos en la Comunidad Valenciana:

Partiendo de estas tres tipologías de agrocompost, vitivinícola-oleícola-urbano proponemos tres escenarios agronómicos asociados:

Tabla 15. Composición promedio, sobre materia seca de compost sectorizados obtenidos en Agrocompostaje.

Composts		N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	Sust. Húmicas (%)
Vitivinícolas	Rango	1,31-2,26	0,6-2,2	1,9-2,9	2,6-7,6
(n=8)	<i>Promedio</i>	<i>1,9</i>	<i>1,2</i>	<i>2,5</i>	<i>5,0</i>
Oleícolas	Rango	1,4-3,1	0,4-3,0	1,6-4,2	7,0-11,0
(n=9)	<i>Promedio</i>	<i>2,3</i>	<i>1,4</i>	<i>3,3</i>	<i>9,2</i>
Urbanos*	Rango	1,8-2,7	0,9-3,7	1,3-2,6	4,5-8,7
(n=7)	<i>Promedio</i>	<i>2,4</i>	<i>2,0</i>	<i>2,0</i>	<i>6,7</i>

a) Dosificación en el entorno vitivinícola para realizar la fertilización nitrogenada de un viñedo para vinificación.

b) Dosificación en el entorno oleícola para abastecer las necesidades de fertilización nitrogenada en un olivar en producción con marco convencional.

c) Dosificación en el entorno de cultivos hortícolas de alta demanda nitrogenada como alcachofa y poco demandante como las habas, usando compost urbano de recogida selectiva

De forma orientativa, en la tabla 16 se indican las cantidades de nitrógeno que se consideran adecuadas para cubrir las necesidades de los cultivos citados anteriormente, con el objetivo de obtener una producción óptima. Los intervalos de valores se deben a la variabilidad generada por el manejo del cultivo, diferentes variedades y densidades de plantación:

Tabla 16. Necesidades de nitrógeno de diferentes cultivos según se encuentren en secano o tipos de regadío.
(Fuente: Adaptado de tablas V y VIII de la ORDEN 10/2018, de 27 de febrero)

		NECESIDADES DE NITRÓGENO (kg N/ha y año)		
CULTIVO		SECANO	RIEGO INUNDACION	RIEGO LOCALIZADO
Hortícolas	Alcachofa	-	250-300	200-240
Hortícolas	Coliflor	-	260-300	210-250
Hortícolas	Espinaca	-	180-200	150-180
Hortícolas	Habas	-	50-80	40-70
Hortícolas	Melón	-	200-250	160-200
Hortícolas	Sandía	-	200-250	160-200
Hortícolas	Tomate	-	200-250	160-200
Hortícolas	Patata	-	250-300	200-240
Hortícolas	Pimiento	-	220-280	170-220
Herbáceos	Alfalfa	-	30-50	-
Herbáceos	Cereal	50-70	100-180	-
Herbáceos	Oleaginosas	60-80	100-120	-
Leñosos	Algarrobo	50-60	-	-
Leñosos	Almendro	50-80	-	80-100
Leñosos	Cítrico (1)	-	200-250	180-220
Leñosos	Frutal extensivo (2)	-	120-160	100-130
Leñosos	Frutal intensivo (2)	-	200-240	160-190
Leñosos	Olivar	50-80	100-150	75-100
Leñosos	Olivar intensivo (3)	-	-	150-200
Leñosos	Viñedo vinificación	30-50	-	80-100

(1) CÍTRICOS: Plantaciones adultas en plena producción (2) FRUTALES: Extensivo: <300 árboles/ha; Intensivo: >500 árboles/ha (3) OLIVAR: Intensivo: >500 árboles/ha

Con estos datos y requisitos de cálculo se incluye de forma orientativa tres tablas de dosificación considerando los 3 tipos de compost sectorizados, suponiendo una humedad (contenido de agua) del 35% y 3 escenarios distintos de fertilización (1-5 y 10 t/ha).

Tabla 17. Aportes de macronutrientes de un compost tipo del sector vitivinícola

Dosis compost vitivinícola (t/h)	Kg NT	Kg P ₂ O ₅	Kg K ₂ O
1	12	8	16
5	62	39	81
10	124	78	163

Tabla 19. Aportes de macronutrientes de un compost tipo del sector urbano

Dosis compost vitivinícola (t/h)	Kg NT	Kg P ₂ O ₅	Kg K ₂ O
1	13	6	15
5	66	30	75
10	132	60	150

Tabla 18. Aportes de macronutrientes de un compost tipo del sector oleícola

Dosis compost vitivinícola (t/h)	Kg NT	Kg P ₂ O ₅	Kg K ₂ O
1	164	100	236
5	75	46	107
10	150	91	215



Como ejemplo, en la tabla 16 se puede observar que una dosis de 5 t/ha de un compost tipo producido en el sector vitivinícola aportaría las necesidades de nitrógeno (kg NT/ha) para el desarrollo de un viñedo de vinificación en seco.

Se observa, además, que la aplicación de estos compost al suelo comporta la aplicación de nitrógeno, pero también de otros nutrientes considerados esenciales como el fósforo y el potasio, así como ácidos húmicos y fúlvicos, por lo que se debe procurar que las cantidades de elementos fertilizantes aportadas con nuestros composts no exceda las necesidades de los cultivos para evitar situaciones de contaminación medioambiental, fitotoxicidades e interacciones no deseadas entre macro y micronutrientes, con el consiguiente desequilibrio nutricional de los cultivos. Para ello cabe destacar que la eficacia del fósforo contenido en el compost durante el primer año es más baja que la de fertilizantes fosfatados minerales, pero en un periodo de varios años el fósforo aportado con el compost presenta una eficacia similar a la de los fertilizantes minerales. Para el caso del potasio, en el compost, el potasio se encuentra principalmente en forma mineral (sales de cloruro y sulfato), por lo que presenta una disponibilidad para las plantas similar a la de los fertilizantes minerales.





9 Aspectos medioambientales del agrocompostaje



Por un lado, como ya se ha comentado en esta guía, los compost elaborados al amparo de la Orden de Agrocompostaje están orientados a la obtención de la máxima calidad para su uso en agricultura sostenible desde un enfoque claro de autoconsumo. Por otro lado, el establecimiento donde se desarrolla el agrocompostaje es, por definición, una instalación sostenible que favorece el tránsito desde residuo a recurso, organizando las actividades tradicionales de compostaje en el territorio valenciano y favoreciendo el autoconsumo del compost en el entorno. Todo en su diseño y operación está orientado a salvaguardar la calidad del producto final (el compost) y el medioambiente.

El agrocompostaje es, en resumen, una actividad realizada en la propia explotación agropecuaria y llevada a cabo por el propio agricultor o ganadero a través de operaciones sencillas con la maquinaria usual agrícola. Se pretende así evitar la generación del residuo valorizándolo y transformándolo en origen, utilizando otros subproductos o residuos de proximidad disponibles en los sectores agrícolas, ganaderos y forestales de proximidad. De esta forma se minimizan los transportes y se reciclan las materias primas a través de un sistema de economía de medios. El compost obtenido se dirige prioritariamente al autoconsumo incrementando la fertilidad orgánica y la reserva de carbono en los suelos de cultivo mediterráneos

En esta línea existen una serie de aspectos ambientales que debemos considerar en esta guía que se han ido incluyendo en todo o parte en los diferentes apartados y que a continuación sintetizamos:

INTERACCIÓN CON EL SUELO:

El suelo donde se realizan las operaciones estará impermeabilizado de forma que se evite la transferencia desde el material a compostar al suelo y diseñado de forma que no se produzcan derrames fuera de la zona de agrocompostaje. En la Instrucción técnica se concretan los requisitos técnicos necesarios para garantizar que no se produce interacción con el suelo.

INTERACCIÓN CON LA HIDROSFERA:

Los potenciales lixiviados deben ser dirigidos y acogidos en una balsa o arqueta diseñada a tal efecto, y dimensionada de forma adecuada. Adicionalmente y, si así se requiere en la Instrucción técnica, toda la zona de operación debe configurar una depresión impermeabilizada que permita la acumulación de aguas pluviales asociadas a eventos extraordinarios de forma que actúe como una balsa estanca y sin contacto con el medio circundante.

INTERACCIÓN CON LA ATMOSFERA:

Los procesos de agrocompostaje incluso desarrollados de forma óptima emiten gases a la atmosfera, fundamentalmente vapor de agua y CO₂. Si, de manera puntual se producen condiciones anaeróbicas tras una lluvia, podrían emitirse otros gases como N₂O y CH₄ poco significativos y con escasa incidencia.

Dadas las dimensiones de los establecimientos de agrocompostaje, la definición de los lotes y el manejo de los procesos orientado a la calidad, otros riesgos que pueden presentarse de forma minoritaria son la emisión de partículas finas a la atmosfera ligadas a trasiego de maquinaria o al vuelo desde las pilas de compostaje que no será necesario considerar.

RIESGOS SANITARIOS:

Los procesos de higienización se encuentran asociados a la exotermia del proceso de compostaje. Estas condiciones se encuentran controladas y verificadas por el registro de temperaturas durante el proceso y los criterios de final de proceso. Adicionalmente se acredita higienización del material final mediante la analítica de *Salmonella* y *Escherichia coli* como indicadores patogénicos en la legislación, en cumplimiento del Real Decreto 999/2017, de 24 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.

CARGA TÉRMICA:

Considerando la caracterización de una planta de agrocompostaje como asimilable a un establecimiento industrial, la evaluación de su riesgo de incendio se realizará desde el punto de vista del RD 2267/2004 por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI), así como aquéllas del documento básico DB SI del Código Técnico de la Edificación (CTE) referidas en el RSCIEI.

El establecimiento constituido por una planta de agrocompostaje de sistema abierto puede caracterizarse en relación con la seguridad contra incendios, por su configuración y su ubicación con respecto al entorno, como una ubicación de TIPO E (ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto - hasta un 50 % de su superficie-, alguna de cuyas fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral). El área de incendio única que constituye la totalidad de la planta tendrá, en aplicación del método del apartado 3.2 del Anexo I del RSCIEI, una densidad de carga de fuego inferior a 100 Mcal/m², de la que se deduce un nivel de riesgo intrínseco BAJO de grado 1.

Al tratarse de una configuración de tipo E con un nivel de riesgo intrínseco BAJO de grado 1, el área de incendio que integra la totalidad de la superficie de la planta no requiere disponer ni tan siquiera de extintores de incendio según el apartado 8.5 del Anexo III del RSCIEI.

Se recomienda que los viales de aproximación al establecimiento tengan una anchura libre superior a 3,5 m y una altura mínima libre (gálibo) superior a 4,5 m, siendo la capacidad portante de los mismos superior a 20 kN/m². Así mismo, cuando el establecimiento se ubique en terrenos colindantes con el bosque se dispondrá preferentemente de dos vías de acceso alternativas, cada una de las cuales debe cumplir las condiciones de aproximación al establecimiento indicadas en el párrafo precedente (anchura libre, altura mínima libre y capacidad portante de viales). Cuando no se pueda disponer de las dos vías alternativas indicadas, el acceso único debe finalizar en un fondo de saco, con forma circular de 12,5 m de radio.





Raul Moral Herrero
& Ana García-Rández

Universidad Miguel Hernández de Elche



<https://agrocompostaje.umh.es/>



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Conselleria de Agricultura,
Ganadería y Pesca



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Conselleria de Medio Ambiente,
Agua, Infraestructuras y Territorio