

## ¿RESÍDUOS? PRODUCTOS CON OTRAS CALIDADES Y DISTINTAS APLICACIONES

Sevilla, A.; Domene, M. A.; Uceda, M.; Buendía, D.; Racero, J. L.  
Fundación Cajamar

### RESUMEN

La agricultura intensiva de invernadero funciona en un régimen parecido al de la producción industrial con un consumo constante de recursos varios, una producción regular de hortalizas y, como consecuencia, la formación de un producto de rechazo que incluye distintos materiales inorgánicos, tales como plásticos o metales y sobre todo una fracción orgánica que abarca las podas de plantas durante el cultivo, la planta cuando se arranca y hasta la parte de los frutos que no se haya comercializado. El listado de esas fracciones ha pasado de ser un residuo sin otro tratamiento que el traslado a vertedero al de un producto reciclable de forma que la práctica totalidad de los llamados residuos son ya parte de nuevos procesos que valorizan los rechazos y los devuelven al ciclo productivo en otro nivel. El artículo repasa el tipo de fracción que se genera en cada etapa y sintetiza las formas de revalorizar las distintas fracciones profundizando sobre la fracción orgánica y la solución a base del compostaje puesta en práctica en la Estación Experimental de la Fundación Cajamar.

### SUMMARY

*Greenhouse intensive farming works in a regime similar to industrial production with a constant consumption of several resources, a regular production of vegetables and, therefore, the formation of a product of rejection comprising different inorganic materials such as plastics or metals and, above all, an organic fraction that includes the pruning of plants during cultivation, the plant when its useful life has ended and until the fruit is not marketed.*

*The list of these fractions has gone from being a waste without treatment other than transfer to landfill, to a recyclable product, so that almost all of these so-called wastes is already part of new processes that add value to the rejection and return to production cycle to another level.*

*The article reviews the type of fraction that is generated at each stage and summarizes the ways to revalue, deepening on the organic and compost-based solution implementation at the Experimental Station Cajamar Foundation.*

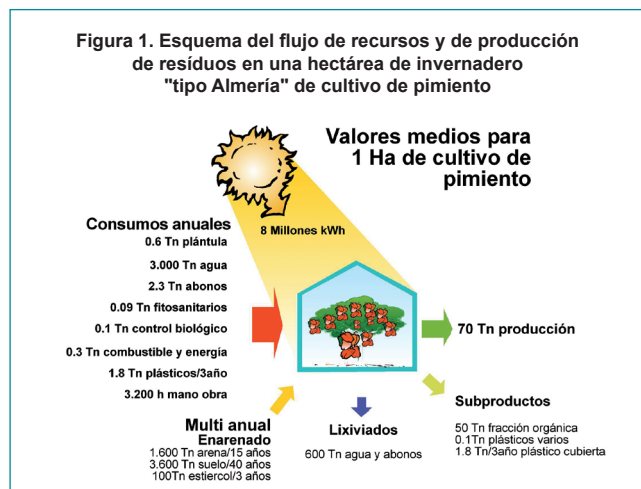
## 1. Desglose de los productos que genera un invernadero

La agricultura intensiva tiene un marco de trabajo asimilable al de un proceso industrial. Utiliza como materia prima un recurso renovable como es la radiación solar, otra serie de recursos naturales como el terreno y el agua y una cantidad de insumos (combustibles, abonos, fitosanitarios, plásticos, substratos, etc.) para producir un producto de consumo que son las hortalizas, los frutos o las flores.

El proceso lleva aparejado la producción de residuos en forma líquida (lixiviados, restos de abonos y fitosanitarios), otra sólida no orgánica (bandejas, contenedores, substratos, plásticos, tierra, pilas, material sanitario), y la fracción mas voluminosa que está compuesto por los restos orgánicos generados durante el crecimiento de la planta y el arranque de la cosecha.

A diferencia del proceso industrial, en este caso, el producto final puede pasar a ser parte del residuo. En función de cómo se desarrolle el cultivo, y cual sea la situación del mercado, se puede dar el caso de destruir parte o toda la producción aumentando de forma significativa el problema de la generación de residuos.

Si bien la Figura 1 da una idea global de lo que ocurre en un invernadero dedicado al cultivo del pimiento, a la hora de enmarcar la gestión de los residuos hay que llegar al detalle del día a día, ya que la acepción general de plástico o materia orgánica esconde tanta diversidad que varios productos del mismo capítulo pueden ser distintos, tanto en su composición química, como en su estado de degradación y necesitar, por tanto, soluciones muy diferenciadas.



**Tabla 1. Tipos de residuos producidos en un invernadero**

	Tipo de residuo	Comentario
Vegetal	Fruto de destrío	Reciclable, problemas de frecuencia y composición
	Destalle	Reciclable
	Resto vegetal de fin de campaña	Reciclable con problemas por llevar envuelto varias fracciones
Plásticos en lámina	Film plástico de cubierta	Reciclable
	Malla antiinsectos	Reciclable
	Malla de sombreo	Reciclable
	Atado de rafia	Reciclable con problemas de manejo
Plásticos en envase	Envases plástico fitosanitarios	Reciclable.
	Envases plásticos abonos	Reciclable
	Sacos plástico	Reciclable
Tuberías de riego	Goteros	Reciclable
Substrato	Fibra de vidrio	Difícilmente reciclable
	Fibra de coco	Reciclable
	Perlita	Difícilmente reciclable
Soportes plásticos de plantas	Bandejas poliestireno	Reciclable
	Bandejas de plantas	Reciclable
	Macetas	Reciclable
Varios	Alambres	Reciclable
	Pales de madera	Reciclable
	Trampas contra insectos	Reciclable
	Colmenas de polinización	Reciclable

Otro filtro que hay que usar a la hora de evaluar el residuo es el nivel de calidad o de contaminación con el que se recoge. En el apartado más voluminoso, que es el vegetal, encontramos situaciones bien diferenciadas. La poda de la planta que se hace durante el crecimiento (destalle) produce un material tierno y sin ningún tipo de contaminación que es distinto al generado durante el arranque del cultivo. En el primer caso, además de mucha mayor calidad se da una frecuencia y una cantidad más o menos constante durante el ciclo. En el segundo caso, el residuo se genera de una vez en un tiempo de días.

En el capítulo de plásticos la inmensa mayoría se corresponde con el plástico de cubierta que es polietileno y se retira una vez cada dos o tres años. Pero otros plásticos como la rafia de entutorado, los envases de abonos, los sacos o las bandejas se consumen a un ritmo anual. La composición química de estos últimos, suele ser distinta a la del plástico de cubierta y suele contener trazas de otros productos químicos.

## 2. El modelo de gestión en vigor

El residuo agrícola está englobado en el capítulo genérico de residuo urbano y pasa a ser responsabilidad de los Ayuntamientos tanto en lo que afecta a su recogida como al tratamiento que se canaliza por dos caminos distintos.

Aquellos municipios en los que la actividad agrícola intensiva (invernaderos) es minoritaria, dejan la gestión en manos de terceros que procesan aquellas fracciones que tengan salida de mercado y dejan el resto en manos del propio agricultor, que sigue entonces el camino de la incineración o el vertido en lugares preparados cuando las cooperativas o los ayuntamientos organizan alguna solución.

En aquellos ayuntamientos en los que los invernaderos tienen una incidencia significativa, el tratamiento no se dispersa y es el propio consistorio el que se encarga de la gestión, ya que previamente ha promulgado edictos y asignado tasas como las de las basuras domésticas a cada propietario de invernadero.

En este último supuesto, el Ayuntamiento suele ceder a una empresa privada la gestión y esta actúa con un perfil similar al de las empresas de tratamiento de residuos sólidos urbanos; es decir disponen de sus propios contenedores, camiones de recogida, planta de acopio, procesado y, en su caso, recuperación y valorización de las distintas fracciones.

El modelo de gestión y la eficacia de este último tipo de empresa es muy heterogéneo, probablemente porque hay pocas empresas y porque el marco de trabajo al que deben dar servicio es muy dispar. No es lo mismo el tipo de fracción y la frecuencia de la zona de cultivo fresero de Huelva que la del cultivo hortofrutícola de Almería o la producción de flores del Maresme en Cataluña.

En el caso de Almería, que es el de más entidad, existen dos modelos de empresas gestoras que cubren la totalidad de la zona productiva de la costa. Una de ellas está participada por el propio Ayuntamiento y se encarga de la gestión exclusiva de los residuos agrícolas que se generan en el término municipal de la capital.

La otra es de carácter privado y canaliza la gestión a través de una concesión de un consorcio de Ayuntamientos dentro de los que están el resto de municipios en los que se genera la actividad hortofrutícola de Almería.

Del análisis de ambas soluciones se deduce que la recogida centralizada está resuelta con más eficacia que lo que es el tratamiento propiamente dicho. En parte debido a lo voluminoso de la fracción orgánica y a las enormes diferencias que se dan tanto en la composición (plantas con más o menos contenido de agua, frutos, etc.) como en su calidad (producto recién cortado o almacenado durante semanas y en estado de fermentación) y en la frecuencia de producción (mantenimiento durante la recolección, arranque al final de la campaña y todo ello diferenciado para el tipo de producción).

La fracción no orgánica es también diversa, pero tiene más homogeneidad. Los tipos de plásticos de cubierta o de envases son más previsibles y los restos de substratos se reducen a dos o tres componentes y se generan después de varias campañas de uso.

En este contexto, las empresas abordan el problema de la gestión con las miras puestas en la solución prioritaria al tratamiento de la fracción orgánica, en la valorización de las fracciones para las que existe mercado y la inertización y disposición en vertedero autorizado del resto de los componentes.

La efectividad del sistema se puede resumir diciendo que la fracción orgánica tiene tanto volumen y tanta dispersión que es imposible garantizar un tratamiento en línea. Implica que siempre hay una cantidad acumulada pendiente de tratamiento y que el producto tratado no se distribuye con la misma velocidad que se genera y también acumula excedentes.

La fracción plástica (cubierta y envases) sí se procesa en línea, de forma que todo lo que llega suele salir procesado para su posterior valorización. Los substratos se valorizan de forma más difusa, en su mayor parte se inertizan y depositan en vertedero.

### 3. Un marco teórico para reutilizar los subproductos

Los productos que entran a formar parte del ciclo del invernadero salen con otras propiedades y calidades que, si bien los retrae de volver a su uso inicial, no así de cualquier otro que pueda necesitar una calidad menos exigente. El estudio siguiente enmarca tanto el problema del producto como los nuevos usos posibles.

## 3.1. Plásticos

### 3.1.1. Rafia

La rafia es una cinta de polipropileno utilizada de forma universal para sustentar las plantas que crecen en altura y que no tienen resistencia natural para mantener la producción de frutos. La cualidad por la que se ha extendido su uso es la de la resistencia a la rotura.

Sin embargo, la radiación ultravioleta afecta de forma severa esta propiedad, lo que limita la opción del reciclaje para producir un producto con el mismo fin. Ahora bien, el polipropileno es un plástico con unas propiedades muy estudiadas como atrayentes de ciertos hidrocarburos o como refuerzo estructural de composites y en ese caso, el valor del producto es en el estado de microfibra lo que reduce el problema que genera la degradación de la rafia ya utilizada.

Entre las aplicaciones que han pasado a la fase de ensayos de laboratorio ya se puede mencionar el de la fabricación de aditivos para añadir al hormigón y mejorar algunas de sus propiedades, la fabricación de barreras de absorción y contención de derrames de crudo o la formulación de mezclas asfálticas en frío. En condiciones normales, esta solución para la pavimentación es una opción más barata pero de menos calidad que el proceso a alta temperatura. Sin embargo algunas pruebas en las que se añadía fibra de polipropileno a la mezcla en frío han mejorado las prestaciones de la misma.

El uso habitual de la rafia recuperada en cualquiera de las aplicaciones industriales tiene que pasar por disponer de un producto más limpio del que se dispone en la actualidad. Cuando el agricultor retira el cultivo, arranca la mata enredada en la rafia generando un producto híbrido entre rafia y materia orgánica inútil tanto si el uso se orienta hacia la aplicación de la rafia, como si se hace hacia el uso de la planta.

### 3.1.2. Macetas

Las macetas suelen estar fabricadas en polipropileno que tiene un discurso parecido al de la rafia salvo por el hecho de que no se presenta en cintas sino en láminas. La diferencia es importante por que la estructura en forma de cinta es muy compleja de procesar. Se suele enredar en todos los sistemas de corte o en los ejes y es habitual que termine parando maquinaria de lo mas poderosa.

Las macetas son por el contrario una forma con que tiene una trituración fácil y que permite sacar granza de polipropileno tan fina como se quiera. Una vez lavada y desinfectada, la granza se reutiliza para fabricar escobas, macetas, soportes de bicicletas y multitud de productos plásticos.

### 3.1.3. Plástico de cubierta

En su totalidad, el plástico es polietileno con aditivos para reducir la degradación de la radiación ultravioleta y alargar la vida útil. El polietileno se retira del invernadero cada dos o tres años y lleva su composición original más las trazas de los componentes químicos que se hubiesen aplicado durante el cultivo y que se hayan depositado en la parte interior, más los restos de la pintura blanca utilizada de forma general en verano como sistema de sombreado (blanqueo).

El lavado de estos plásticos no tiene ninguna dificultad y el producto resultante se pica hasta conseguir una granza de polietileno de similares características a la granza con la que se produce el material original.

La granza de polietileno reciclado se utiliza de forma generalizada en la producción de muchos de los plásticos de polietileno que no tienen un uso alimentario como contenedores, ruedas, vallados de jardinería o conglomerados.

## 3.2. Metales

Terminada la vida útil de al rededor de quince años, la estructura del invernadero que es en su inmensa mayoría un perfil redondo o cuadrado de acero galvanizado en caliente, se recicla en su totalidad como chatarra y vuelve al ciclo de la producción del acero.

## 3.3. Incineración

La mejor situación que podemos esperar es la de reintroducir el plástico o el producto orgánico en otro proceso que genere un producto de interés y evite el consumo de materias primas.

Pero aún en el contexto de ese modelo óptimo, una parte de esas fracciones no podrá procesarse y pasará a ser un residuo. Los plásticos usados en todos los envases y la rafia son derivados del petróleo y por tanto un combustible con muy buenas propiedades cuando se usa de forma aislada. Mejoran las condiciones de ciertas mezclas cuando se añaden a otra materia orgánica también empobrecida.

En un caso u otro, la incineración tiene la ventaja substancial de producir electricidad pero la contrapartida de ser un foco potencial de emisiones nocivas. Todos los productos plásticos de desecho tienen algún tipo de contaminación, así que la incineración se tiene que plantear bajo las máximas medidas de control.

Afortunadamente, tanto la incineración como la gasificación, son procesos muy avanzados y se tiene que aceptar que es del todo posible realizar la separación y limpieza del producto de forma previa al igual que la del control del hogar y limpieza de los gases de escape con total garantía.

La lista de países que han adoptado la incineración como práctica habitual de gestión de los productos agrícolas incluye a la mayoría del llamado núcleo Europeo. Holanda, Francia o Alemania, por ejemplo, usan la incineración tanto para la gestión de los residuos sólidos urbanos como para los agrícolas.



## 4. El caso práctico de la fracción orgánica: producción de compost

### 4.1. Introducción al proceso de compostaje

La definición más aceptada de compostaje es la “descomposición biológica aeróbica de residuos orgánicos de distinta procedencia bajo condiciones controladas en un estado en el que se puede manejar, almacenar y aplicar con sencillez y seguridad al terreno sin afectar adversamente al medio ambiente.

Se denomina descomposición y no estabilización porque no siempre se puede asegurar que la estabilización de la materia orgánica sea total. Se dice que la descomposición es de tipo biológico-microbiológico para diferenciarla de las descomposiciones físicas y químicas. Se indica que es aeróbica porque permite el acceso de oxígeno al material en descomposición.

Por todo lo anterior se continúa que, el proceso:

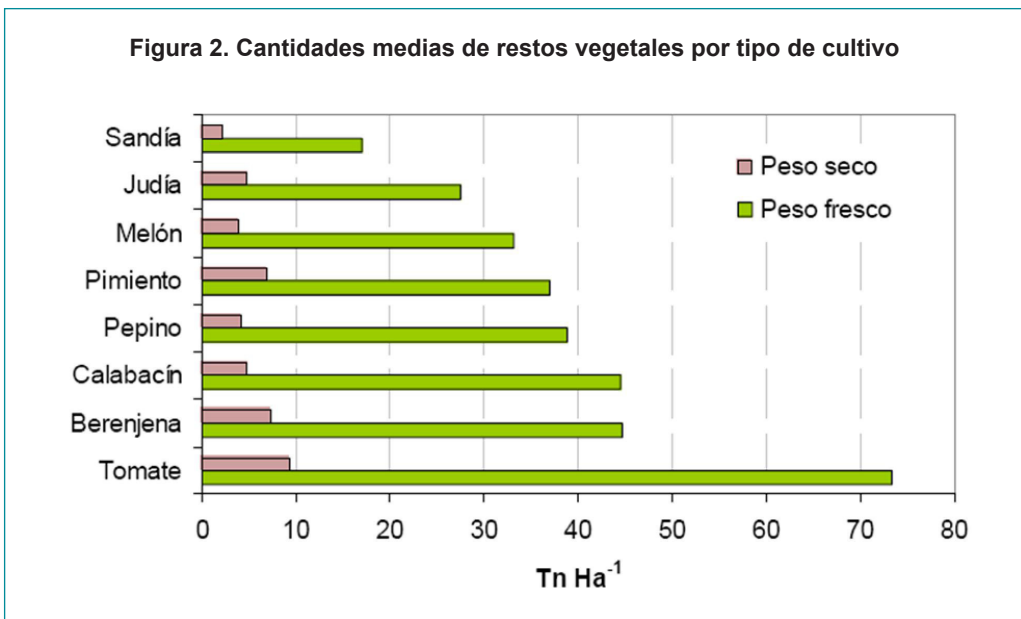
- Es biooxidativo, por tanto biológico, lo que diferencia al compostaje de otros tratamientos de tipo físico o químico, desarrollándose una actividad eminentemente aeróbica.
- Es controlado, lo que indica la necesidad de una monitorización y control de parámetros durante el desarrollo del mismo, diferenciándolo de los procesos naturales no controlados. los parámetros a controlar son, la temperatura, la humedad y oxigenación.
- Tiene lugar sobre sustratos orgánicos en fase sólida, generalmente heterogéneos, que actúan como soporte físico y matriz de intercambio, así como fuente de nutrientes y agua necesarios para el metabolismo microbiano, aportan microorganismos endógenos, retienen los residuos metabólicos generados durante su desarrollo y actúa como aislante térmico del sistema

En principio cualquier material orgánico es susceptible de compostarse. Podemos tener restos de cultivos hortícolas, restos de poda tanto de frutales como de jardinería, subproductos de manipulación y de elaboración de cosechas e incluso podríamos considerar los residuos generados en industrias agrarias diversas como almazaras, bodegas, etc.

## 4.2. Tipo de residuo de un cultivo, frecuencias, cantidades, calidades o problemas

La cantidad de resto vegetal que produce un invernadero está ligada al producto cultivado y a las rotaciones que se apliquen en la campaña.

De acuerdo a los datos del equipo de la Estación Experimental de la Fundación Cajamar, la estrategia del agricultor medio es cortar la planta de raíz y dejarla secar algún tiempo de forma que la humedad inicial se reduzca a casi la mitad. Los extremos posibles entre la máxima humedad en el momento de la retirada del invernadero y el secado de la planta en estufa indican un margen muy importante en peso.



El calendario para la generación de los residuos está ligado a los ciclos de producción de los diferentes cultivos. Los cultivos de tomate, pimiento y berenjena se consideran de ciclo largo, mientras que los cultivos de pepino, calabacín, judía verde, melón y sandía son cultivos de ciclo corto. En caso de cultivar especies de ciclo corto en invernadero es común la práctica de llevar a cabo rotaciones en la misma campaña, de éstas son representativas la rotación pimiento-sandía, pimiento-melón, pepino-sandía y pepino-melón.

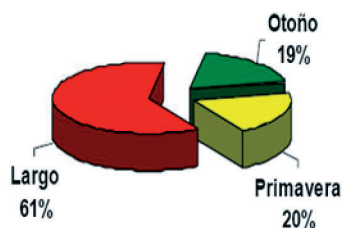


Figura 3. Distribución temporal de los desechos de cultivo

El proceso de cultivo produce desechos durante todo el año en forma de destalles, deshojes o eliminación de frutos de destrío y con picos en Enero-Febrero, y Mayo-Junio. El primer pico corresponde con el final de los cultivos de otoño (judía, calabacín y pepino principalmente) y supone un 19 % de los residuos vegetales. En Mayo-Junio coincide con la finalización de los cultivos de primavera (melón y sandía principalmente) y los cultivos de ciclo largo o únicos como el tomate, pimiento y berenjena, representando el 81 % de los residuos (61 % de los cultivos de ciclo largo y 20 % de los de primavera).

### 4.3. Soluciones para realizar el compostaje

El compostaje en contenedor es aquel sistema en el que la materia orgánica que se desea compostar se introduce en un contenedor, silo o recipiente similar capaz de homogeneizar las condiciones necesarias de humedad, aireación y mezcla de los componentes.

En los sistemas confinados, el proceso de compostaje se puede mantener controlado: se mantienen las condiciones aeróbicas en valores óptimos, se gestiona mejor la temperatura de la pila, se recuperan los lixiviados, se regula la humedad y en último extremo se pueden canalizar los gases que se emiten eliminando aquellos que generan malos olores y, en su caso, confinando el CO<sub>2</sub> para evitar su dispersión a la atmósfera.

Normalmente, estos sistemas se asocian al uso de unos cilindros rotatorios diseñados para que el material entre por una de las bocas y vaya avanzando hacia la de la salida a un ritmo tal que se sea justo el que necesita la fase termófila para desarrollar la primera etapa del compostaje.

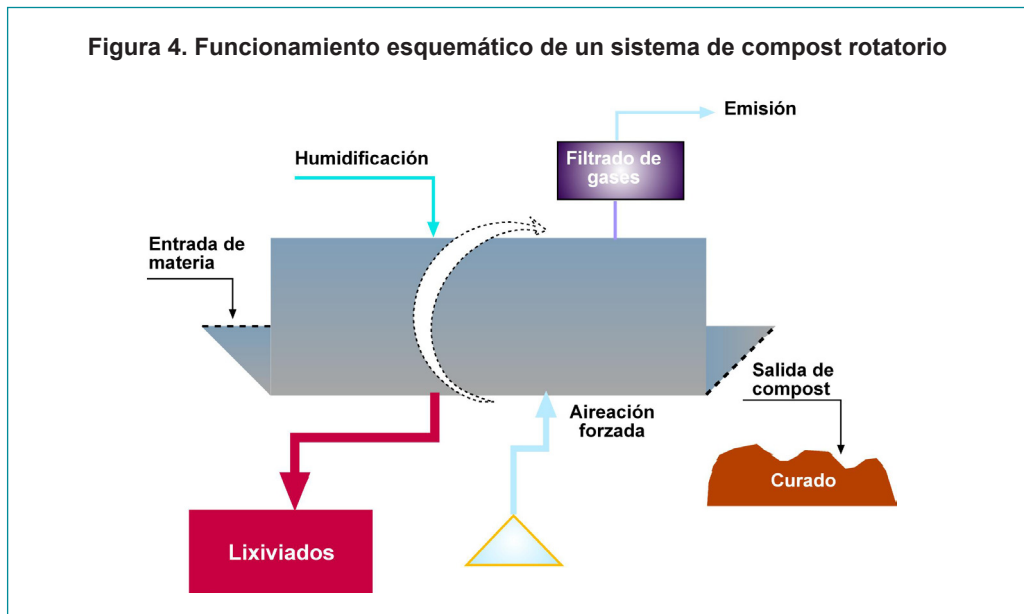
En su avance a través del cilindro, el material va rotando lo que hace que se oxigene y se mezcle. Al estar confinado la humedad no se pierde y se puede garantizar que todo el volumen a compostar se mantiene en idénticas condiciones. Como el cilindro puede estar aislado térmicamente o ubicado en el interior de un edificio, el clima exterior no le afecta de forma directa y el proceso de compostaje se acelera hasta el máximo que

permite la biología del sistema. Adicionalmente, el producto sale mucho más mezclado y con ello más homogeneizado que el conseguido de forma tradicional y se puede plantear la gestión de un volumen enorme de forma continuada y produciendo compost en tiempos conocidos y con calidades bien controladas.

Las ventajas de este proceso hay que compensarlas con su penalización económica. Es un proceso que necesita un capital inicial relevante, que consume energía y con un coste de operación y mantenimiento a considerar.

Los sistemas de compostaje confinados se van abriendo camino sobre todo cuando el problema que se quiere gestionar es muy complejo y de mucho volumen. Existen sistemas diseñados para gestionar todo el residuo sólido de toda una ciudad (Edmonton, Canadá), o de hospitales y centros sociales, por poner ejemplos de entornos en los que la eficacia tiene que estar por encima de otras consideraciones.

Pero la historia del compostaje se ha hecho a base de la gestión de pilas al aire libre con unos requisitos tecnológicos más que moderados. Una vez troceado o preparado el material a compostar, el sistema no hace otra cosa que apilar el material en una forma de toblorone de unos dos metros en la base por uno o dos metros de altura.



Con esta geometría se puede usar maquinaria tipo tractores que pasan por encima de las pilas y las pueden voltear para airearlas o regar para mantener la humedad. Una vez se forma la pila, el gestor tiene que tener en cuenta que habrá que mantenerla por un periodo de entre cuatro y ocho meses, por lo que la simplicidad de este sistema se compensa con la necesidad de terreno. No sólo las pilas ocupan espacio sino que si se tienen que voltear el material pasa de un sitio a otro y la maquinaria que tiene que circular necesita de una red de accesos nada despreciables.

El control de la humedad necesario se puede hacer sólo a base de regar la pila en el caso de que se quede seca, pero si en un momento dado se presenta una lluvia que paraliza el proceso de compostaje, el modelo al aire libre no tiene forma de controlarlo. La falta de control sobre la humedad y sobre el oxígeno, hace que el proceso sea más lento y que se consiga menos homogeneidad. En una pila, los productos se van descomponiendo poco a poco pero difícilmente se van mezclando entre ellos y mientras el interior de la pila consigue mantener unas condiciones óptimas, los bordes no. Al no poder mezclar el material, el proceso del compostaje no se realiza por igual en todo el volumen de la pila.

Estas incertidumbres han formado parte de la discusión sobre el compostaje y en ese marco el proceso se ha desarrollado a lo largo de las pasadas tres o cuatro décadas y ha conseguido alcanzar los niveles de calidad exigidos tanto por los usuarios de abono orgánico como por las autoridades, que deben velar por que los productos cumplan con normas de calidad e higiene.

#### 4.4. Ejemplos

Existen muchísimos ejemplos de compostaje a pequeña escala y otros muchos de plantas de compostaje a gran escala. La mayoría se alimentan de una mezcla de residuo sólido urbano, de restos de granjas o de la fracción doméstica. Instalaciones que se dediquen a gestionar el residuo de la agricultura intensiva de los invernaderos son menos frecuentes, pero hay agricultores que compostan su propio residuo a la vez que plantas que centralizan la labor de toda una zona.

El ejemplo que presentamos es el desarrollado por la Fundación Cajamar y lo hacemos tanto por la cercanía como por que está diseñado para acometer la gestión de los residuos que se pueden producir en una explotación de entre una y dos hectáreas.

El modelo de compostera rotativa utiliza un cilindro de 3 m de longitud y 1 m de diámetro con una carga inicial de unos 200 Kg. El cilindro tiene unas palas en el interior y un motor accionado por energía solar que lo hace girar a una velocidad de 1rpm.

La compostera se carga hasta su límite de capacidad, se equilibra la relación carbono/nitrógeno añadiendo serrín y se añade un poco de agua en una cantidad que fija el estado de la materia en su inicio. Productos como el tomate suelen estar más verdes y húmedos que el pimiento o la berenjena que son más leñosos y dan un aspecto mas seco a la masa.

Una vez arranca el proceso de compostaje, la masa alcanza una temperatura de entre 60 y 70 °C y disminuye el volumen, de forma que para garantizar que no se pare el proceso, se añade mas materia a un ritmo de una vez por semana durante las dos o tres semanas siguientes a haber comenzado la fase termófila.

El motor se pone en marcha durante las horas centrales del día durante las primeras etapas y una vez el compost ya se ha enfriado, se para y se usa para voltear la masa una vez o dos a la semana.

Al cabo de cuatro o seis semanas del comienzo, la pila baja su temperatura a unos 40 °C y entonces la masa se saca de la compostera y se apila. El ciclo de la compostera comienza de nuevo y a lo largo de una campaña se repite el proceso de entre tres a seis veces apilando en el mismo sitio todas las extracciones de la compostera y dejando que el material madure.



Figura 5. Compostera rotativa diseñada por la Fundación Cajamar

La ventaja de este equipo frente a la pila es la de poder hacer compost con relativamente poca cantidad de producto, lo que lo habilita para fincas pequeñas, o para gestionar el compost durante la época del destalle o el aclareo, cuando una explotación produce de forma continua pero en poca cantidad.

El compostaje de una finca grande, incluyendo la fracción de retirada del cultivo a final de campaña, se ha llevado a cabo por primera vez en el año 2010 en pila estática. La razón más evidente es que en cuestión de semanas, una finca produce muchas decenas de toneladas de materia orgánica con una vida útil para poder hacer un buen compost de no más de dos semanas lo que induce a usar una pila estática porque es un sistema rápido que puede gestionar de forma económica mucho volumen.

Para garantizar la calidad y rapidez del compost, procedemos a triturar la masa vegetal con un rotovator acoplado a un tractor. En ese proceso el volumen disminuye en cerca de un 70 % lo que permite preparar pilas de alrededor de 2 x 3 m con una altura inicial de 1,5 m. Al igual que en el caso de la compostera rotativa, la pila se equilibra con serrín, restos de papel o de hojas para fijar la cantidad apropiada de carbono y se riega.

**Figura 6. Progreso del compostaje en pila realizado en el verano del año 2011**





A diferencia del sistema en la compostera, la pila pierde humedad de forma más rápida y hay que mantener la humedad con riegos muy habituales durante la fase termófila. En nuestro caso, las pilas de compost están en un cobertizo que tiene un sistema de riego por aspersión automatizado que en verano se activa casi a diario.

A diferencia de la experiencia con la compostera rotativa, la gestión en pilas ha permitido tratar todo el residuo producido por las mas de 4 Ha de cultivo que dispone la Estación Experimental de forma que se empezó a recoger material en el mes de mayo y se concluyó en junio, con la retirada de los últimos cultivos.

#### 4.5. Formas de medir la calidad y lo apropiado del producto

Los requerimientos de calidad del compost están dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables; higienización correcta; impurezas y contaminantes a nivel de trazas; nivel conocido de componentes agrónomicamente útiles y características homogéneas y uniformes que permitan el almacenamiento sin experimentar alteraciones posteriores. Los organismos reguladores no tienen tanta sintonía como lo puedan tener los que regulan el tráfico y no hay una sola definición universal mas allá de los aspectos relacionados con la garantía de salubridad.

Dando por sentado que el control de patógenos se ajusta, por lo menos, al Real Decreto 824/2005 de 8 de julio sobre productos fertilizantes; Orden APA/863/2008, de 25 de marzo (*Salmonella: Ausente/25g producto, Escherichia coli: < 1000 NMP/g producto, Aquellos contenidos en el RD 2071/1993 de 26 nov en la Ley 43/02 de Sanidad Vegetal y en la Orden 776/02 del MAPA*), las medidas de calidad presentadas en la siguiente tabla son una síntesis de los requisitos publicados por algunas de las asociaciones internacionales dedicadas al compost o por los consiguientes organismos reguladores dedicados en exclusiva al compostaje.



En general las medidas se agrupan en tres tipos de parámetros:

PARAMETRO	VALOR IDEAL	COMENTARIO
<b>Físicos</b>		
Distribución del tamaño de partículas	Pasa el tamiz 8 mm	
Densidad aparente	600 Kg/m <sup>3</sup>	Puede oscilar un 25 % según sea el producto inicial o el estado de madurez.
Material inerte	< 8 %	Puede incluir hasta: • 5 % de piedra/arena • 3 % de plástico y metales
% Humedad	40–50 %	Siempre mayor al 30 %, incluso en Compost muy maduros.
<b>Químicos</b>		
pH	6,8–8	Condicionado por el material de origen. Suele ser básico si se trata de hojas y más ácido si lo mezclamos con estiércol.
Conductividad eléctrica	3,5–6,4 mS/m	Indica la cantidad de sales solubles. Entre las que se encuentran cloruros y sulfatos que son perjudiciales para las plantas. El límite óptimo lo fijará el uso al que se destine. Plantas delicadas o de semilleros no aceptan valores superiores a 2,5 mientras que muchas otras prosperan con valores de 6.
C/N	10–14 %	
% materia orgánica	35–70 %	
<b>% A. Húmicos</b>		
% N (total)	1–2,5 %	Es la suma del nitrógeno inorgánico en forma de nitratos y del orgánico incrustado en los organismos presentes. No todo es directamente asimilable por las plantas.
% P (P2O5)	1,5 – 2 %	
% K	1,5	
% Ca	2	
% Mg	1 – 1,3 %	
<b>Metales pesados (mg/kg de suelo)</b>		
Arsénico	41	Muchas plantas pueden ser tolerantes a los metales pesados, por lo tanto, los límites se establecen tanto para evitar los problemas en la planta como para evitar su transmisión a la cadena alimentaria. Estos valores pueden reducirse si el material de origen es rico en alguno de estos elementos.
Cadmio	2	
Cobre	300	
Níquel	90	
Plomo	150	
Zinc	500	
Mercurio	1,5	
Selenio	100	
Cromo (total )	250	
<b>Biológicos (UFC/g)</b>		
Bacterias totales	133·10 <sup>7</sup>	
Actinomicetos	41·10 <sup>4</sup>	
Hongos	48·10 <sup>3</sup>	
Nematodos	Ausentes	
Índice de madurez	> 95 % germinación	De los distintos sistemas de medida mencionamos la germinación de semillas (rábano o césped).

## Referencias bibliográfica

- Allen, E. R. y Ming, D. W. (1995): "Recent progress in the use of natural zeolites in agronomy and horticulture"; Ming, D. W. y Mumpton, F. A. (eds.): *Natural Zeolites'93 Occurrence, Properties, Use*. Int'l Comm Natural Zeolites, Brockport, New York; pp. 477-490.
- Barbarick, K. A. y Pirela, H. J. (1984): "Agronomic and horticultural uses of zeolites: A review"; Pond, W. G. y Mumpton, F. A. (eds.): *Zeo-Agriculture: Use of Natural Zeolites in Agriculture and Aquaculture*. Westview Press, Boulder, Colorado; pp. 93-103.
- BOE 131/1998. 12731. "Orden de 28 de mayo de 1998 sobre fertilizantes y afines"; pp. 18.028-18.078.
- Bremner, J. M. y Mulvaney, C. S. (1982): "Nitrogen total"; *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, page, A. L. et al. (eds.): *American Society of Agronomy*, Inc Madison, Wisconsin; pp. 595-624.
- Brown, K. H.; Bouwkamp, J. C. y Gouin, F. R. (1998): "The influence of C:P ratio on the biological degradation of municipal solid waste"; *Compost Science and Utilization*, 6(1); pp. 53-58.
- Dickson, N.; Richard, T. L. y Kozlowski, R. E. (1991): "Composting to Reduce the Waste Stream: A Guide to Small Scale Food and Yard Waste Composting"; *Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES)*, Ithaca, New York.
- Federación Agroalimentaria de CCOO (2000): "Formación para valoración de residuos agrícolas"; p. 75.
- Fistein, M. S. y Hogan, J. A. (1993): "Integration of composting process microbiology, facility structure and decision-making"; Hoitink, H. A. J. y Keener, H. M. (eds.): *Science and Engineering of Compositing: design, environmental, microbiological and utilization aspects*. Renaissance Publications. Ohio.
- Golueke, C. G. (1977): "Biological Reclamation of Solid Wstes"; Rodale Press, Emmaus, Pennsylvania; p.9.

- Hamoda, M. F.; Abu Qdais, H. A. y Newham, J. (1998): "Evaluation of municipal solid waste composting Kinetics"; *Resources, Conservation and Recycling*, (23); pp. 209-223.
- Inbar, Y.; Chen, Y. y Hoitink, H. A. J. (1993): "Properties for establishing standards for utilization of compost in container media"; Hoitink, H. A. J. y Keener, H. M. (eds.): *Science and Engineering of Composting: Design, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance Publications, Wothington, Ohio: pp. 668-694.
- Kayhanian, M. & G. Tchobanoglous. 1993. Characteristics of humus produced from the anaerobic composting of the biodegradable organic fraction of municipal solid waste. *Environmental Technology*, (14); pp. 815-829.
- Keener, H. M.; Marugg, C.; Hansen, R. C. y Hoitink, H. A. J. (1993): "Optimizing the efficiency of the composting: design, environmental, microbiological and utilization aspects"; (eds.): Harry, A.; Hoitink, J. y Keener, H. M. Renaissance Publications. Ohio.
- Leggo, P. J. (2000): "An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance"; *Plant and Soil*, (219); pp.135-146.
- Madrid, F.; Lopez, R.; Cabrera, F. y Murillo, J. M. (2001): "Caracterización de los compost de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva)"; *Investigación Agr.: Prod. Prot. Veg.*, 16(1); pp. 105-117.
- Mathur, S. P. (1991): "Composting processes"; Martin, A. M. (eds.): *Bioconversion of waste materials to industrial products*. Elsevier Applied Science, New York; pp. 147-183.
- McGaughey, P. H. y Gotass, H. B. (1973): "Stabilisation of municipal refuse by composting"; *American Society of Civil Engineers Transactions. Proceedings-Separate*, 302(2767); p.897-920.
- Minato, H. (1968): "Characteristics and uses of natural zeolites"; *Koatsugasu*, (5); pp. 536-547.

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España (1986): "Métodos Oficiales de Análisis"; Vol. III. Madrid.
- Morisaki, N.; Phae, C. G.; NakasaKi, K.; Shoda, M. y Kubota, H. (1989): "Nitrogen transformation during thermophilic composting"; *Journal of Fermentation and Bioengineering*, (1); pp. 57-61.
- Pérez-Parra, J. J. y Céspedes López, A. J. (2001): "Análisis de la demanda de inputs para la producción en le sector de cultivos protegidos de Almería"; *Estudio de la demanda de inputs auxiliares: producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense*. Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (FIAPA), Almería; pp. 1-102.
- Richard, T. L. (1992): "Municipal solid waste composting: physical and biological processing"; *Biomass and Bioenergy*, 3(3-4); pp. 163-180.
- Sullivan, D. M. y Millar, R. O. (2005): "Propiedades cualitativas, medición y variabilidad de los compost"; *Utilización de Compost en los Sistemas de Cultivo Hortícola*. Ediciones Mundi Prensa; pp. 95-119.
- U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA) (1992): "Sampling procedures and analytical methods"; *Environmental Regulations and Technology. Control of Pathogens and vector Attraction in Sewage Sludge*. EPA/626/R-95/013. USEPA, Office of Research and Development, Washington, D.C.; pp. 41-47.