



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

PLANTAS DE COMPOSTAJE

Apellidos y nombre: Velázquez Martí, Borja (borvemar@dmta.upv.es)¹

Departamento/Centro: ¹Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria
Universitat Politècnica de València

Índice general

1. Resumen de las ideas clave	2
2. Introducción	2
3. Objetivos	3
4. Fases del proceso de compostaje	3
5. Factores que influyen en el compostaje	5
6. Instalaciones de las plantas de compostaje	6
7. Cierre	9
8. Ejercicio propuesto	10
9. Bibliografía	10

1 Resumen de las ideas clave

Las plantas de compostaje son instalaciones diseñadas para el tratamiento de residuos orgánicos para la obtención de un fertilizante natural o enmienda del suelo llamado compost, contribuyendo a la reducción de la cantidad de residuos sólidos que van a los vertederos y proporcionando un producto final valioso para la agricultura o jardinería. El proceso implica descomponer la materia orgánica mediante la acción microbiana en condiciones aerobias. Las necesidades de oxígeno hacen que en el procesamiento se apliquen distintas técnicas de aireación como el volteo o la inyección de aire. A su vez el proceso genera calor y, por lo tanto, también deben idearse sistemas de control de temperatura para optimizar la descomposición. Infraestructuras complementarias son sistemas de filtración y drenaje de lixiviados, que pueden generar impactos sobre agua y suelos. El tiempo necesario para completar el proceso de compostaje puede variar, pero generalmente se completa en varias semanas a meses, dependiendo de los materiales y las condiciones del compostaje. Es importante señalar que las plantas de compostaje pueden variar en escala, desde instalaciones a gran escala hasta sistemas más pequeños a nivel comunitario o doméstico. La elección del tipo de planta depende de diversos factores, como la cantidad de residuos a procesar y los recursos disponibles. En este capítulo vamos a describir el proceso y las bases de diseño de las plantas de compostaje.

Si estás listo, empezamos...

2 Introducción

El proceso de compostaje consiste en el control de un proceso natural de humificación de la materia orgánica mediante su oxidación y la acción de diversos microorganismos presentes en los propios residuos.

Dos aspectos muy influyentes en el proceso de compostaje es a biodegradabilidad de los materiales y la existencia de una adecuada población microbiana. De estos dos aspectos dependerá mucho la duración del proceso, que puede oscilar entre 3 y 6 meses.

La biodegradabilidad dependerá de la estructura molecular de los residuos. Por ejemplo, la presencia de materiales lignocelulósicos, tales como la madera o el cartón, dificultan el compostaje. Aunque la celulosa y la hemicelulosa son polisacáridos, y por tanto, una fuente de carbono para el metabolismo microbiano, la lignina en los materiales lignocelulósicos actúa como barrera física a la acción de los microorganismos, por tanto, su presencia relentiza el proceso. Por otra parte, lo mismo ocurre con la naturaleza cristalina de las fibras de celulosa y hemicelulosa, las cuales suponen un impedimento para que los microorganismos actúen sobre los enlaces de los monómeros. Técnicas para favorecer la biodegradabilidad de estos materiales pasa por realizar una preparación consistente, por un lado, en una trituración, molienda y humectación, que favorece la conversión de celulosa cristalina a celulosa amorfa, junto el aumento de la superficie específica del material; y por otro lado, mezcla con inóculos de microorganismos celulolíticos, por ejemplo purines, estiércoles, lodos, o inóculos de laboratorio, como por ejemplo, los basados en hongos de *Phanerochaete chysosporium* (que actúa sobre la lignina) y *Trichoderma reisei* o bacterias del género *Clostridium* sp. (que actúan sobre la celulosa).

Por otro lado, la presencia de jugos con monosacáridos libres favorece la cinética del proceso, por ejemplo, en los residuos de frutas o excrementos.

El humus resultante supone una enmienda que mejora las propiedades fisicoquímicas de los suelos dado que su carga electrostática favorece la formación de agregados, mejorando la aireación e infiltración y retención de agua. Favorece la penetrabilidad de la raíces y aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mejorando la capacidad de almacenamiento de nutrientes.



Figura 1: Compost de uso agrícola y jardinería

3 Objetivos

Una vez que el alumno se lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Describir el proceso de compostaje de residuos orgánicos.
- Analizar los factores que influyen en el proceso.
- Proponer el diseño de las plantas de compostaje.

4 Fases del proceso de compostaje

El compostaje pasa por varias fases, cada una con condiciones específicas que favorecen la descomposición de los materiales orgánicos. A continuación, se describen las fases típicas del compostaje:

1. Fase Mesofílica (Inicio)

En esta fase se produce la aclimatación de los microorganismos descomponedores y el inicio de su multiplicación, colonizando toda la masa residual. Comienza con la acción de microorganismos mesofílicos (bacterias y hongos) con la degradación de los elementos más biodegradables. Su metabolismo exotérmico hace que comience a elevarse lentamente la temperatura hasta que son sustituidos por las especies más termofílicas, superados los 35°C. La duración de esta etapa es aproximadamente entre 2 y 5 días.

Uno de los problemas que pueden darse en esta fase es su prolongación en el tiempo sin que empiece a aumentar la temperatura. Esto puede ser debido a la falta de biodegradabilidad de los materiales o falta de una población microbiana adecuada. En tal caso es necesario mezclar el residuo con el inóculo adecuado. También puede ser debido a una falta de humedad, la cual es necesaria para la buena reproducción microbiana. Otro aspecto clave es la excesiva compactación y poca oxigenación para el inicio del proceso.

La humedad recomendable en esta fase es del 50%. Regar con los microorganismos inoculados mejora el éxito en esta fase. Un técnica recomendable es regar con lixiviados de un lote compostado anterior. La relación C/H₂O y C/O deben aproximarse a la unidad. La relación C/N de los materiales debe estar comprendida entre 25 y 30.

2. Fase Termofílica (Calentamiento)

Los microorganismos termofílicos (bacterias) se vuelven dominantes. En esta etapa se degradan los materiales más resistentes como la celulosa y la lignina. La temperatura aumenta significa-

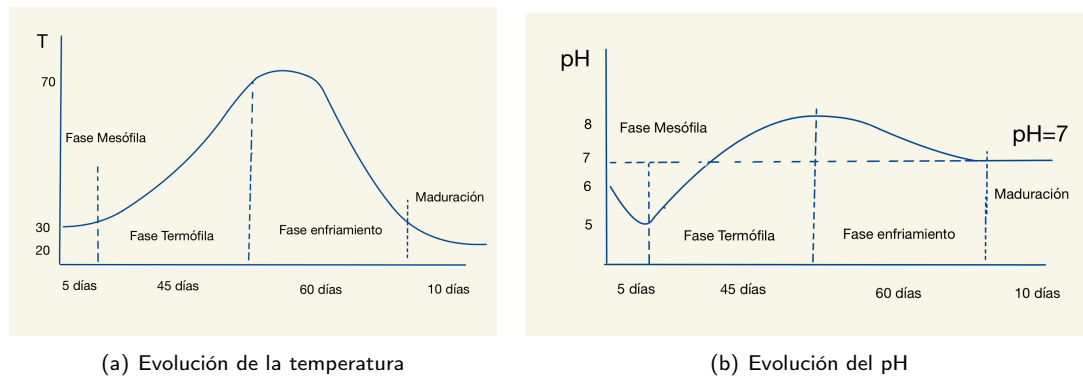


Figura 2: Etapas del compostaje

tivamente hasta alcanzar valores entre 50°C y 70°C. Alcanzada la temperatura máxima, ésta se mantiene constante entre 5 días a varias semanas. Alcanzar este rango de temperaturas es importante para destruir patógenos, garantizando de esta manera la inocuidad del producto final. Pero no es recomendable superar estos valores porque afectaría a la actividad de los microorganismos descomponedores, lo que provocaría compost de baja calidad. Cuando la temperatura sube en exceso se debe humedecer la compostera o realizar la aireación. El control de temperatura es recomendable hacerlo con termómetros sonda.

El pH fluctúa en un rango alcalino. Entre 8 y 9.

Durante esta etapa pueden aparecer malos olores intensos, como el olor a amoníaco. Esto puede ser contrarrestado mediante aireación o añadiendo cal o ceniza.

En el caso de que la compostera no aumente su temperatura, es probable que falte oxígeno y humedad para activar el proceso de descomposición. Para solucionarlo, se recomienda aplicar agua hasta alcanzar la saturación y así estimular la actividad microbiana.

3. Fase de Estabilización (Enfriamiento)

La actividad microbiana disminuye, y microorganismos mesófilos toman nuevamente el control. Se completa la descomposición de los materiales más resistentes. El compost maduro tiene un olor agradable y se parece al suelo. La duración oscila entre varias semanas a meses. La temperatura desciende gradualmente hasta una temperatura de 30 grados.

4. Fase de curación o maduración

La actividad microbiana baja hasta que los microorganismos terminen de descomponer los materiales restantes. Esto dura al menos 2 semanas. La temperatura se estabiliza equilibrándose con las del ambiente. Entonces se dice que el compost es maduro, estando listo para su uso en el suelo.

Durante todo el proceso, es importante controlar factores como la proporción de carbono a nitrógeno (relación C/N), la humedad, la aireación y el tamaño de los materiales para optimizar las condiciones para la descomposición microbiana.

5 Factores que influyen en el compostaje

De la descripción anterior del proceso se deducen los factores más influyentes. Éstos son:

- Biodegradabilidad de los materiales

La biodegradabilidad de los materiales se refiere a la capacidad que tienen para descomponerse mediante la acción de microorganismos, como bacterias u hongos, en sustancias más simples y naturales. Esto va a estar influido directamente por la estructura molecular y la composición química.

Los materiales altamente biodegradables se descomponen rápidamente en condiciones ambientales favorables, mientras que otros pueden ser más resistentes y tardar más en descomponerse. Éstos últimos pueden requerir pretratamientos o la acción de microorganismos específicos para su biodegradación.

- Temperatura

La evolución de la temperatura y el pH permiten el control y monitorización del proceso. Permite detectar el paso de las distintas etapas y las posibles incidencias que requerirían la aplicación de medidas correctoras. En general, un aumento bajo de la temperatura en la fase termófila está asociada a una inactividad microbiana. Esta puede ser debida a una baja carga de microorganismos en los materiales, lo que requerirá inoculación. También puede estar asociado a carencia de oxígeno o humedad lo que requerirá aireación o humectación. Pueden haber inhibidores en los materiales tales como sustancias antibióticas como metales. En este caso los materiales pueden mezclarse con otros no contaminados con la finalidad de reducir su concentración o someterlos a lavados con agua. El lavado requiere la recogida de lixiviados y su tratamiento.

Durante el proceso es importante alcanzar los 50-70°C para lograr la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas que pudieran tener los materiales a compostar. No obstante, a temperaturas extremadamente altas, se produce la muerte de muchos microorganismos beneficiosos para el proceso, y algunos de ellos pueden no estar activos debido a que se encuentran en estado de esporulación. Por ello, si la temperatura supera estos valores, se intenta reducir aumentando la aireación o mediante humectación. En a fase termófila es habitual observar la salida de vapor de la pila.

- pH

Durante el proceso de compostaje, se observa una evolución significativa en el pH. El valor inicial se sitúa generalmente en valores ligeramente ácidos, alrededor de 6, descendiendo en la fase mesófila debido a la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la materia orgánica. Este descenso puede llevar el pH a valores de 5.

Tras esta primera fase, a medida que avanzan las reacciones microbiológicas el pH experimenta un aumento gradual. Este aumento se atribuye a la neutralización de los ácidos previamente generados por la formación de bases como el amoniaco, haciendo que se alcance valores de 8.

Finalmente durante la fase de maduración el material alcanza un equilibrio considerándose que el proceso termina cuando el pH alcanza valores cercanos a la neutralidad o ligeramente alcalinos. La evolución del pH en el compostaje es un indicador importante de la madurez y estabilidad del compost resultante.

-Humedad

En el compostaje, resulta crucial que la humedad se mantenga dentro de un rango óptimo del 40-60 %.

Cuando el nivel de humedad es elevado, el agua tiende a llenar todos los poros, convirtiendo el proceso en uno anaeróbico, bajando el pH y disminuyendo la temperatura. Por otro lado, si la humedad es excesivamente baja, la actividad de los microorganismos disminuye, ralentizando el proceso. El exceso de humedad se corrige mediante drenaje y secado. El defecto de humedad se corregirá mediante riego de humectación.

- Oxígeno y relación C/N

El oxígeno, carbono y el nitrógeno son los nutrientes básicos para el desarrollo metabólico de los microorganismos. Por ello que para la reproducción de los mismos es imprescindible que exista una relación equilibrada entre estos elementos.

Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja afecta al pH, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compost equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el serrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales verdes, las deyecciones animales y los residuos de matadero. Una relación C/N adecuada debe alcanzar valores entre 25 y 35.

El compostaje opera como un proceso aeróbico, lo que implica que la presencia de oxígeno resulta fundamental. La cantidad de oxígeno disponible se ve afectada por diversos factores, tales como el tipo de material, su textura, el nivel de humedad, la frecuencia con la que se voltean los componentes y la presencia o ausencia de sistemas de aireación forzada.

- Presencia de inhibidores

Cuando el tratamiento de compostaje se realiza a residuos urbanos, suele haber presencia de materiales sintéticos como plásticos, vidrios, cartón, y metales. La presencia de plásticos y vidrios no supone en general un perjuicio en el proceso, pero es indeseable que se acumulen en los suelos agrícolas o jardines donde sea aplicado el compost. Sin embargo, los metales si pueden suponer un inhibidor microbiano y contaminante. Es por ello que la separación de los materiales en los residuos es muy importante para facilitar el proceso y garantizar la calidad del producto final.

6 Instalaciones de las plantas de compostaje

Las plantas de compostaje a gran escala deben poseer un área de recepción de materiales. Un tratamiento generalizado tras la recepción es la trituración y/o molienda de los residuos. La trituración consiste en una fragmentación de los residuos obteniendo partículas de entre 3 y 5 cm. La molienda obtiene partículas de unos 3 a 5 mm.

Tras la trituración, de acuerdo a la naturaleza de los residuos se mezclan con materiales que mejoran la biodegradabilidad, al mejorar la flora microbiana y la relación C/N. Por ejemplo, los materiales lignocelulósicos se mezclan con purines, lodos u otros materiales vegetales como residuos de fruta o cama animal. Una vez mezclados éstos pasan al área de proceso.

El proceso de compostaje puede realizarse en:

- Pilas de compostaje
- Fosos de compostaje
- Contenedores de compostaje
- Compostaje en tromel
- Canales de compostaje

Cualquiera de las soluciones debe de disponer de sistema de aireación, sistema de riego, y sistema de drenaje de lixiviados.

El sistema de aireación puede consistir en un volteo mecánico, o en la inyección de aire a través de tuberías perforadas dispuestas en la base de cada tipo de instalación, en las que el aire es impulsado por un ventilador o un compresor. En algunas instalaciones el aire se introduce aspirando desde la base, es decir, generando una presión negativa.

El riego para la humectación puede realizarse con mangueras dirigidas por operarios o por sistemas fijos de aspersión, los cuales suelen estar dispuestos en barras en la parte superior de la instalación. Una técnica conveniente es aprovechar la humectación para la incorporación de inóculos microbianos. Éstos pueden venir de laboratorio, de lixiviados de compostajes anteriores, o de lodos o purines.

1. Compostaje en pilas

Sobre una solera se amontona el material en pilas de unos 3 o 4 metros de ancho, 10 a 25 m de largo y con altura entre 1,5 m a 2,5 m. La aireación se puede realizar con volteo, a través de máquinas autopropulsadas con hojas de vertedera o con grúas con cazo retro; o disponer de un sistema de inyección de aire por tuberías en la parte inferior de la pila de compostaje. Las tuberías de inyección pueden disponerse longitudinalmente o transversalmente a la pila, generalmente separadas entre 40 o 50 cm. En caso de que las pilas se aireen por inyección se pueden diseñar compartimentos que separan unas pilas de otras.

Cada pila dispondrá de su canaleta de drenaje. Si el área de compostaje no está cubierta, para el dimensionado del sistema de drenaje debe considerarse la pluviometría de la zona. En otro caso, sólo se drenaría el exceso de agua del riego. Los canales de drenaje conducen el lixiviado a una o varias arquetas, donde una bomba impulsa el líquido hacia una balsa de almacenamiento, donde permanece hasta su uso como agua de humectación en el proceso, riego agrícola o vertido previa depuración si fuera necesario.



(a) Pilas con aireación por inyección



(b) Pilas en compartimentos



(c) Compostaje bajo cubierta

Figura 3: Compostaje en pilas

El compostaje en pilas puede realizarse sin cubierta o bajo cubierta. La cubierta impide la acción erosiva de la lluvia que puede desmoronar la pila, además de disminuir la temperatura, arrastrar nutrientes y flora microbiana. También es beneficiosa porque permite mejor control de los posibles gases malolientes emanados durante el proceso. Por tanto, la cubierta siempre es conveniente.

Una opción, cuando se desean compostar restos vegetales lignificados es formar la pila colocando una capa de 20 a 30 cm de alto bien troceados (con una granulometría entre 3 y 5 cm). Posteriormente se incorpora una capa de 10 cm de alto de estiércol fresco de bovino, purín mezclado con cama animal o gallinaza. Si el estiércol estuviera demasiado seco, se humedece con un poco de agua. Para evitar el olor se pueden colocar de 5 cm de una capa de tierra o

carbón vegetal y aplicar sobre ella una capa de 1 mm de cal agrícola, roca fosfórica o ceniza vegetal. Esta secuencia se repite 3 o 4 veces formando pilas de altura adecuada.

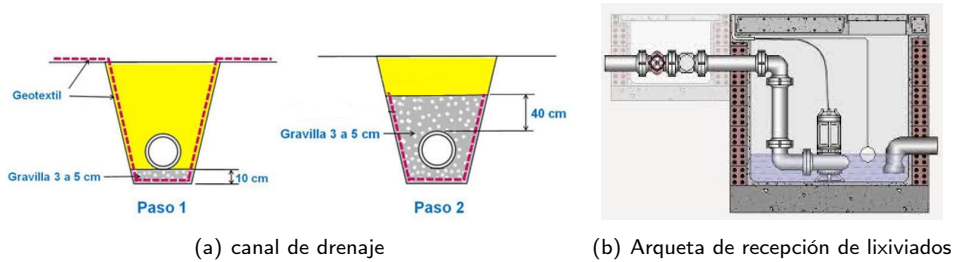


Figura 4: Sistema de construcción de las canaletas de drenaje

2. Fosos de compostaje

Los fosos de compostaje consisten en depósitos a nivel inferior del suelo. Su carga es cómoda dado que pueden ser cargados desde la camiones volquete o mediante empuje de los materiales desde la zona de recepción a través de tractores con palas frontales.

La aireación de los fosos se realiza desde la base inferior a través de tuberías perforadas por donde el aire se introduce a presión. Otra opción es realizar volteos con agitadores helicoidales de eje desplazable horizontal o vertical. El sistema de humectación se realiza desde aspersores dispuestos en la zona superior. La descarga puede realizarse con grúa de pinzas dispuesta sobre una estructura, o mediante un sistema de cangilones.

3. Compostaje en contenedores

Tanto a nivel doméstico, como a gran escala, existen diseños en el que el compostaje se realiza en recipientes en los cuales una abertura inferior permite la entrada de aire, saliendo por la parte superior. El sistema de aire puede tener o no sistema de impulsión.

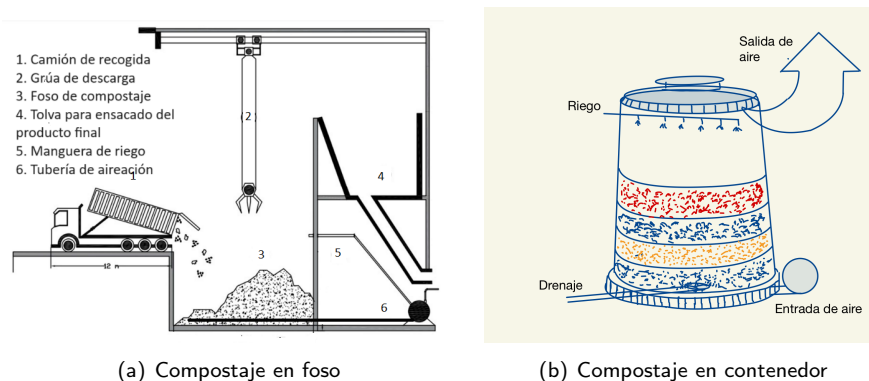


Figura 5: Instalaciones de compostaje

4. Compostaje en trómel

El trómel consiste en un cilindro horizontal ligeramente inclinado, donde se introducen los residuos orgánicos para que al girar reciban la aireación necesaria para el proceso de compostaje. El giro se realiza periódicamente, aproximadamente cada 5 días con velocidad lenta (entre 10 a 30 rev/min) durante un minuto. El cilindro posee en el interior pestañas metálicas dispuestas helicoidalmente a lo largo de su longitud para obligar al avance de los residuos durante el giro.

La entrada de aire se realiza mediante orificios de sección menor al tamaño de partícula. Estos mismos orificios también actúan como drenaje de lixiviados.

La carga del trómel se realiza por el extremo más alto con el material a la humedad adecuada, y la descarga por la parte más baja.

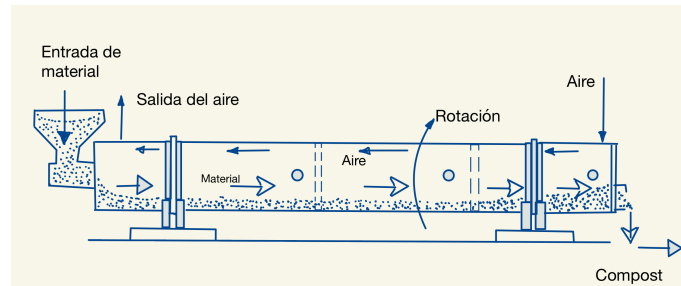


Figura 6: Compostaje en trómel.

5. Canales de compostaje

Estos sistemas consisten en depositar los residuos en compartimentos rectangulares con 4 a 5 m de ancho, de 15 a 25 m de largo y entre 1,5 y 3 m de altura. La aireación se realiza a través del volteo del material por el desplazamiento de un eje con barras o palas giratorias. El accionamiento del eje se realiza desde un motor desplazable por unos carriles. La transmisión de giro desde el eje del motor al eje giratorio se realiza mediante correas.

El drenaje se realiza mediante orificios en la base del canal, donde existe una cámara con pendiente, lo que permite conducir el agua a una auqueta de recepción.

7 Cierre

Diseñar una planta de compostaje implica considerar diversos aspectos para asegurar un proceso eficiente y sostenible. El proceso de diseño implica seleccionar la ubicación y sitio, debido a que pueden emanarse olores desagradables. Deben planificarse los accesos y la movilidad de maquinaria y materiales dentro de la instalación. Debe realizarse la zonificación de las distintas áreas (área de recepción, área de pretratamiento, área de proceso, área de almacenamiento), calculando la cantidad de espacio necesario según la escala de las operaciones planificadas. Deben dimensionarse los sistemas de riego y drenaje.

Las instalaciones pueden incorporar equipos mecánicos de separación, trituración y mezclado de materiales.

Debe diseñarse el sistema de aireación, en su caso, por volteo, o a través de un sistema por inyección.

En el proyecto deben considerarse los sistemas de monitoreo, definiendo los sistemas de sensorización de la temperatura, humedad y otros parámetros clave.

Así mismo deben planificarse sistemas para evitar olores y la gestión de residuos tales como los lixiviados.

La realización del compostaje sobre cubierta es muy conveniente para evitar los efectos de la lluvia, y permite mejor control de los gases indeseables productores de olores.

En el proyecto deben recogerse los requerimientos de seguridad y marco normativo. Debe asegurarse de cumplir con todas las regulaciones ambientales y sanitarias. Debe realizarse una

evaluación de impacto ambiental para identificar riesgos y mitigar posibles impactos negativos, así como especificar las medidas preventivas.

Todas las plantas deben tener implementado un sistema de registro para documentar las operaciones diarias.

En la Figura 7 se muestran los aspectos clave.

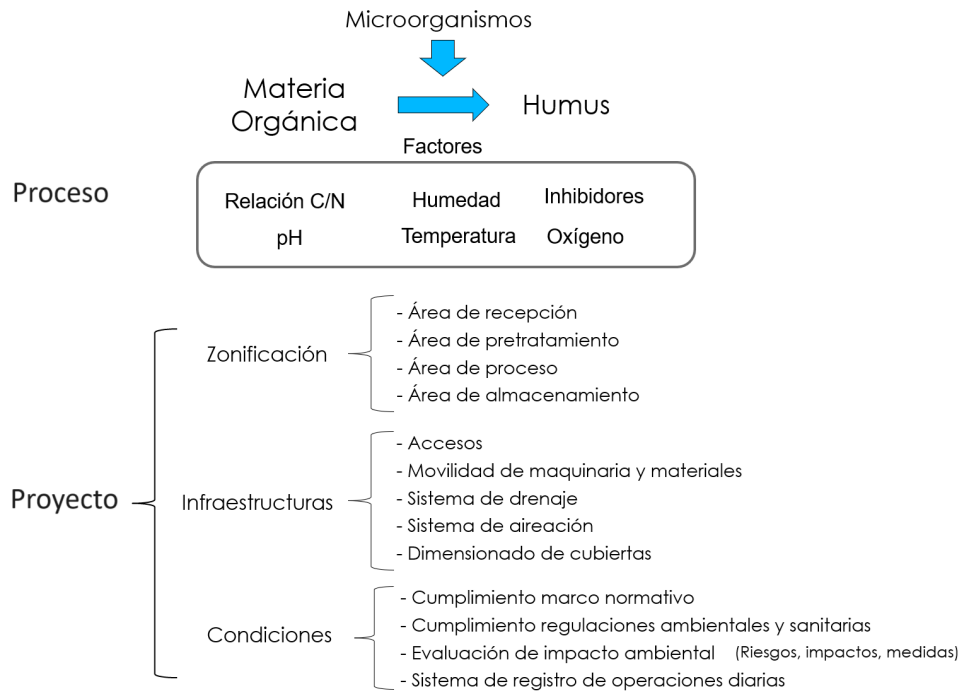


Figura 7: Proceso de diseño de las plantas de compostaje.

8 Ejercicio propuesto

Propóngase una distribución en planta de una instalación de compostaje indicando la zona de recepción, en su caso sistema de separación y clasificación de residuos, trituración, zona de compostaje, instalación de los canales de drenaje y localización de la balsa de lixiviados.

Si quieres ver una posible solución pincha [aquí](#)

Si has descrito las fases elementales ¡Objetivo conseguido!

9 Bibliografía

Elias X.(2009) Reciclaje de residuos industriales. 2ª Ed. Ed. Diaz de Santos. 1320pp. ISBN: 978-8479788353

George Tchobanoglous, Hilary Theisen, Samuel Vigil (1994). Gestión Integral de Residuos Sólidos. Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A. 1120pp.