



HACIA UNA ECONOMÍA CIRCULAR: CASO PRÁCTICO DE DIMENSIONADO DE UNIDAD DE ALMACENAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA PROCESO DE COMPOST

Apellidos, nombre	Fombuena Borràs, Vicent (vifombor@upv.es) Domínguez Candela, Iván (ivdocan@doctor.upv.es)
Departamento	Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (DIQN)
Centro	Escuela Politécnica Superior de Alcoy (EPSA) Universitat Politècnica de València (UPV)

1 Resumen de las ideas clave

En la actualidad, la revalorización de residuos es un movimiento que ha ido creciendo gradualmente debido a los múltiples beneficios que presenta, tanto económicos como sociales o medioambientales.

Una de las posibles medidas industriales existentes para la revalorización de residuos es la implantación de una unidad de compostaje. Este proceso se puede aplicar a cualquier industria donde se involucren residuos orgánicos: agrícolas, forestales, ganadera, alimentación, almazaras, envasadoras, etc, por lo que su conocimiento es importante para el alumno. Dada la importancia presente y futura de este proceso, es imprescindible que el alumno tenga nociones básicas para poder afrontar situaciones como el diseño de una unidad de compostaje.

La puesta en situación y el problema propuesto favorece a la mejor comprensión de este proceso de revalorización. Se responde las preguntas típicas que se haría el alumno en esta situación como pueden ser: ¿Qué espacio hace falta para el almacenaje de estos residuos orgánicos en una empresa?, ¿Puedo realizar una estimación real si tengo en cuenta ciertas limitaciones industriales?, ¿Cómo sé que longitud de filas de compostaje es necesaria? Mediante estas preguntas y su explicación mediante datos y figuras, el presente artículo docente proporciona información de ayuda para futuras situaciones que pueda presentar el alumno en su carrera profesional.

2 Introducción

La creciente problemática acerca de la acumulación de residuos en el medioambiente ha llevado a la utilización de diferentes métodos para su posible reaprovechamiento y/o revalorización. Un proceso como el compostaje, se encuentra dentro de las directrices marcadas por la unión europea en cuanto a procesos de revalorización de residuos orgánicos. De esta forma conseguimos: una mejor conservación del medio ambiente y recuperación de materia orgánica, y por otra parte el ahorra energético. Uno de los campos que presenta mayor materia orgánica residual es el sector agrícola, donde la revalorización de estos residuos es crucial para la obtención de abono orgánico para el suelo de cultivo, que pueda incluso sustituir el uso de abonos o fertilizantes químicos [1].

El compostaje se basa en una fermentación aerobia (en presencia de oxígeno) donde se transforma los residuos orgánicos que son biodegradables en productos que presentan una estabilidad llamados compost. Es decir, mediante la acción de varios microorganismos y seres vivos, se obtienen a partir de residuos de un proceso industrial, productos con una utilidad específica y un valor añadido. Los factores que intervienen en el compostaje son varios, siendo los más importantes: humedad, población microbiana, aireación, relación C/N, pH, entre otros [2].

La industria vinícola tiene aquí mucha importancia, debido a que es uno de los sectores que más cantidad de residuos orgánicos genera, una vez se ha obtenido el vino. Por ello, la revalorización de estos residuos es crucial para darle un valor añadido a los residuos que a priori no presentaban más utilidad. Los residuos orgánicos que se obtienen en este proceso son:

- **Las lías:** son sustancias sólidas, mayoritariamente restos de levaduras, que se acumulan en el fondo de los depósitos durante la propia fermentación del vino.



Figura 1. Imagen microscópica de las lías del vino.

- **El orujo:** es un residuo que se obtiene del prensado de la uva y de los restos de tallos y pieles.



Figura 2. Orujo del prensado de la uva

Aunque el orujo ha sido tradicionalmente usado como parte esencial de bebidas alcohólicas, el proceso de compost abre las puertas a un sencillo proceso de revalorización de residuos orgánicos generados por la industria vinícola, dando un producto pudiendo ser utilizado como abonos orgánicos, sustituyente de fertilizantes y creando un modelo de economía circular, aspecto a tener en cuenta dentro de las acciones futuras del márketing de las propias bodegas productoras de vino.

3 Objetivos

La lectura de dicho artículo tiene como objetivos otorgar al lector los siguientes ítems:

- Puesta en situación de los residuos generados en la industria vinícola.
- Enseñar y detallar como se puede diseñar una unidad de compostaje, tanto su área de almacenamiento como las dimensiones de las pilas necesarias para compostar.

- Interpretación de los resultados obtenidos del dimensionamiento de la unidad de compostaje.

4 Desarrollo

A continuación, se mostrará el enunciado de un problema típico mostrado por una bodega de vino:

Partimos de una bodega de vino cuya intención es la revalorización de los residuos generados por la propia industria. La bodega decide que, para darle un valor adicional a estos residuos, implementará una unidad de compostaje, aplicando así la economía circular. Los datos reportados por la propia bodega indica que, anualmente se genera 114.696 kg de orujos y 62.047 kg de lías. No obstante, esta producción anual de residuos se centra únicamente en los meses de prensado de la uva, lo que avara entre los meses de agosto y octubre, siendo por tanto los residuos generados en 3 meses. La densidad media del orujo es de 450 kg/m³ y de las lías 1018 kg/m³.

A partir de este volumen de residuos debemos resolver los siguientes aspectos claves para determinar la viabilidad técnica de la implantación de una unidad de compost.

- 1) **Cálculo de área almacenamiento:** El transporte de estos residuos en la bodega se realiza mediante el uso de una cinta transportadora de 7 metros de altura. En la acumulación de estos residuos se estima que se genera una pirámide de base cuadrada. Por tanto, se debe determinar el área necesaria para poder almacenar dicha pirámide de residuos (lías y orujos) para cada mes de producción.
- 2) **Longitud de las pilas dispuestas horizontalmente respecto al suelo para realizar proceso de compostaje:** Los residuos mensuales almacenados, se deben disponer en filas de compostaje para que se produzca el proceso de maduración/compostaje. La altura de las filas dependerá de la volteadora que tenga la empresa, elemento clave en el proceso y mostrado en la Figura 3. La altura máxima de pila por las limitaciones de la propia volteadora adquirida es de 1,35 m. Lo ideal sería que la altura de las filas fuera la mitad de la base siguiendo recomendaciones para tener un correcto volumen y menor oscilación térmica en los diferentes puntos de la fila del compost. Por tanto, se desea conocer la longitud de las pilas si se quiere colocar en tres largas filas los residuos de cada mes.



Ejemplo 3. de volteadora de compostaje.

4.1 Determinación del área de almacenaje de residuos.

Antes de comenzar con el ejercicio, tal vez uno se pregunte: ¿Cómo es posible que el almacenaje de los residuos se asemeje a una pirámide?

La acumulación de estos residuos se produce tras la acumulación sobre el suelo de estos, tras ser vertidos por el uso de una cinta transportadora elevada. Esto genera una acumulación de residuos de tal forma que la parte más cercana al suelo es más ancha que las sucesivas capas superiores. La forma más sencilla y clara es imaginarse que, si se coge un montón de arena de la playa y se va echando en una misma posición poco a poco, se genera un montón donde el inicio de este acaba en forma de pico. Muchas situaciones de la realidad se pueden asemejar a formas geométricas para facilitar la resolución, siempre siendo conscientes de que es una aproximación.

Para la resolución del primer apartado, se debe tener en cuenta que el cálculo del área de la pirámide es para cada mes de producción. Por ello, lo primero que se debe realizar es el cálculo de cuántos residuos se general mensualmente, conociendo los residuos totales durante los meses de recolección y elaboración del vino (3 meses).

Residuo Orujo Mensual (ROM)

$$ROM = \frac{\text{Residuo Orujo total}}{\text{Tiempo producción}} = \frac{114696 \text{ kg}}{3 \text{ meses}} = 38232 \text{ kg /mes}$$

Residuo Lías Mensual (RLM)

$$RLM = \frac{\text{Residuo Lías total}}{\text{Tiempo producción}} = \frac{62047 \text{ kg}}{3 \text{ meses}} = 20682 \text{ kg /mes}$$

Entonces, ¿Cómo se puede calcular la base de la pirámide y así conocer el área necesaria para almacenar estos residuos?

La respuesta es sencilla, y todo se remonta al volumen geométrico de una pirámide cualquiera. En la Figura 4 aparece la pirámide con su respectiva nomenclatura. Además, también se muestra la fórmula para el cálculo de su volumen, siendo Volumen (V), base (AB) y altura (H).

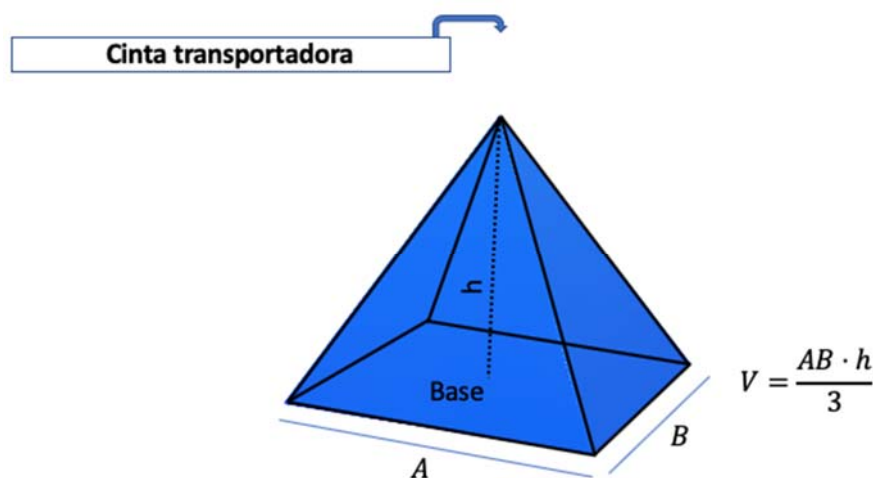


Figura 4. Geometría de almacenaje

El objetivo es conocer que área o base (AB), es necesaria para almacenar los residuos mensualmente. En este caso la altura (H) de la cinta transportadora es clave. Para ello habrá que determinar que posible altura posee la cinta de la que dispone la bodega de vino. En este caso la altura (H) entre la cinta transportadora y el suelo es de 7 m. No obstante, no conocemos en la ecuación ni el volumen de los residuos (V) ni la base de la pirámide.

¿Podemos determinar el volumen de residuos almacenados?

Este volumen es posible calcularlo con la densidad media de ambos residuos. Por tanto, conociendo la cantidad de residuos generados mensualmente y la densidad media, es posible calcular el volumen total.

Volumen Orujo Mensual (VOM)

$$VOM = \frac{\text{Residuo Orujo Mensual}}{\text{Densidad media Orujo}} = \frac{38232 \text{ kg/mes}}{450 \text{ kg/m}^3} = 84,96 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Volumen Lías Mensual (VLM)

$$VLM = \frac{\text{Residuo Orujo Mensual}}{\text{Densidad media Orujo}} = \frac{20682 \text{ kg}}{1018 \text{ kg/m}^3} = 20,32 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Por tanto, el volumen total de residuos generados al mes será:

Volumen Total Mensual (VTM)

$$VTM = VOM + VLM = 105,2 \text{ m}^3/\text{mes}$$

Ahora, teniendo en cuenta la ecuación de la Figura 4 y el VTM, se despeja la base (AB) en la formula, quedando:

$$A \cdot B = \frac{V \cdot 3}{h} = \frac{105,3 \text{ m}^3 \cdot 3}{7 \text{ m}} = 45,13 \text{ m}^2$$

Por tanto, necesitaremos una base o área de $45,13 \text{ m}^2$ para almacenar los residuos al mes. Además, realizando la raíz cuadrada del área, se conoce que cada lado de la zona reservada para almacenar debe medir $6,71 \text{ m}$, como se muestra en la Figura 5.

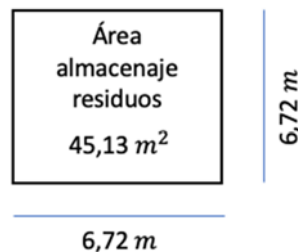


Figura 5. Área necesaria para el almacenamiento residuos

4.2 Determinación de la longitud de pilas de compostaje.

Una vez determinado el volumen que ocupan todos los residuos en la unidad de almacenaje, el siguiente apartado será determinar cuantos metros deben tener las pilas del propio proceso de compostaje.

Estas pilas se disponen horizontalmente respecto al suelo, y es necesario conocer la longitud de estas pilas para determinar las necesidades de espacio del sistema de compost en la propia empresa. En la figura 6 se puede observar de forma más esquemática la disposición de esta.

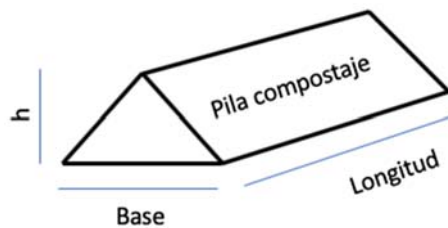


Figura 6. Esquema disposición pilas en compostaje

Como se ha mencionado en el apartado 2 del enunciado, las dimensiones ideales para que se obtenga un buen proceso de compostaje sería que la altura de la pila fuera la mitad de la base. Por tanto, si la altura (h) viene determinada en función de la volteadora adquirida con una altura máxima de 1,35 m, la base será:

$$\text{Altura pila} = \frac{\text{Base pila}}{2} \rightarrow \text{Base pila} = \text{Altura pila} \cdot 2 = 2,7 \text{ m}$$

Conociendo la altura de la pila y la base, ¿Cómo se calcula la longitud de la pila?

Al fin y al cabo, todo se intenta asemejar a geometrías para poder realizar un cálculo aproximado. En este caso, conociendo la geometría que presenta la pila horizontal, se puede calcular la longitud necesaria.

Primero se calcula el volumen de residuo que se puede almacenar por cada metro lineal (V).

$$V = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h = \frac{1}{2} \cdot 2,7 \text{ m} \cdot 1,35 \text{ m} = 1,82 \frac{\text{m}^3}{\text{m lineal}}$$

Una vez que se conoce este dato importante, se calcula la longitud total necesaria de estas pilas para el correcto compostaje. Teniendo en cuenta el volumen total de residuos generados mensualmente (VTM), se obtiene:

$$\frac{VTM}{V} = \frac{105,2 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}}{1,82 \frac{\text{m}^3}{\text{m lineal}}} = 57,8 \frac{\text{m lineales}}{\text{mes}}$$

Entonces es necesario una longitud de 57,8 m lineales/mes para tener un correcto compostaje de los residuos. De esta forma se garantiza el correcto trabajo por parte de la volteadora adquirida y una correcta distribución del calor durante las diferentes etapas del proceso de compostaje/maduración. Dado que una única fila de una

longitud aproximada de casi 60 metros, puede ser incómodo en la vida real por las necesidades de espacio, estos residuos mensuales se pueden disponer, por ejemplo, en tres filas, por lo que únicamente se debe dividir el resultado entre tres, obteniendo:

$$\text{Metros por fila} = \frac{57,8 \text{ m lineales}}{3 \text{ filas}} = 19,3 \frac{\text{m lineales}}{\text{fila}}$$

Por tanto, de forma esquemática se obtendría la distribución de las pilas de compostaje mensualmente como se muestra en la Figura 7:

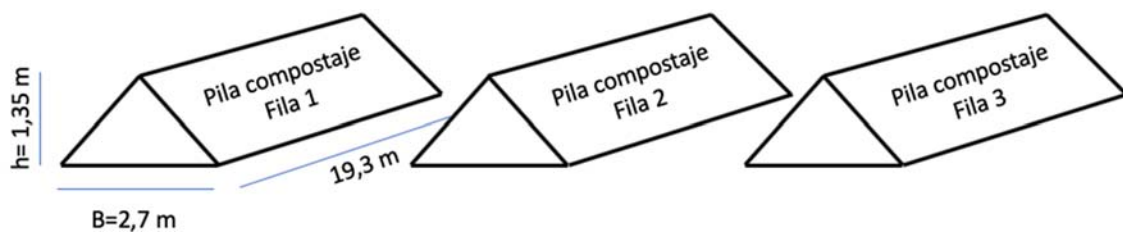


Figura 7. Dimensiones necesarias de las unidades de compostaje para los residuos mensuales

5 Conclusiones

La industria vinícola ha presentado y presenta volúmenes de producción muy elevados, generando, por tanto, una gran cantidad de residuos. Los residuos obtenidos son al fin y al cabo materia orgánica, y mediante el uso de una unidad de compostaje se le puede dar valor a estos residuos. En este caso, mediante el buen compostaje de estos residuos, se puede utilizar el producto final como abono orgánico, cerrando así el ciclo de la economía circular y creando un valor añadido tanto de marca como de modelo empresarial. Mediante el presente ejercicio, se ha mostrado de una forma sencilla y clara como se puede dimensionar unidades de compostaje. Las dimensiones calculadas han sido desde el área necesaria para el almacenaje de los residuos recién obtenidos, como el dimensionamiento de las pilas para que se produzca el compostaje. La tarea de dimensionamiento de una unidad de compostaje puede ser utilizadas en otros sectores donde se generen residuos orgánicos. Por ello, el artículo explica y da solución a un proceso que puede ser aplicado en muchos sectores en la industria dada la creciente conciencia medioambiental y la necesidad de implantación de un modelo de economía circular.

6 Bibliografía

- [1] Pujolà Cunill, Montserrat, Jiménez, J, and Universitat Politècnica De Catalunya. Departament D'Enginyeria Agroalimentària I Biotecnologia. n.d. "Compostaje: Obtención de un producto útil como abono para la agricultura."
- [2] Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>