

RESTOS VEGETALES DE CÍTRICOS

para elaborar compost de calidad agronómica

Este estudio evalúa la influencia de la adición de restos de cítricos en la calidad agronómica del compost, utilizando fertilizantes nitrogenados como única fuente adicional de nitrógeno para obtener una relación C/N óptimo. Los resultados sugieren un compost de calidad que contribuye a una mayor biodiversidad microbiana y una mejor retención de nutrientes, representando una opción respetuosa con el medio ambiente.

MANUEL GARCÍA-INFANTE, ROCÍO CALERO-VELÁZQUEZ, ÁUREA HERVALEJO,
ESTEFANÍA ROMERO-RODRÍGUEZ, FRANCISCO JOSÉ ARENAS-ARENAS
Instituto Andaluz de Investigación Agraria y Pesquera (IFAPA), Centro Las Torres. Sevilla

La actividad agrícola genera anualmente grandes cantidades de residuos vegetales, estimados en 343 millones de toneladas a nivel nacional (Bares Benlloch, 2013). En cultivos leñosos como cítricos y frutales, estos residuos se producen regularmente de los aclareos, podas y destríos de frutas. Su gestión recae en los agricultores, siguiendo la directiva comunitaria 2008/98, que impone el principio de "el que contamina paga" (Unión Europea, 2008). Esto supone un coste adicional y un desafío continuo para las explotaciones agrícolas. Tradicionalmente, gran parte de los restos vegetales se destinaban a la alimentación animal. Sin embargo, la intensificación y deslocalización de la ganadería han llevado a los agricultores a recurrir a otras prácticas como la quema, actualmente prohibida por normativa. Alternativas como enterrar los residuos en el suelo presentan riesgos, como el conocido como "hambre de nitrógeno" producido por el aumento de actividad microbiana en el suelo o la propagación de patógenos al

cultivo (Cao *et al.*, 2021; Noble *et al.*, 2009). Por lo tanto, para aprovechar al máximo el potencial agronómico de estos residuos es importante explorar alternativas que minimicen sus impactos negativos y promuevan una gestión más sostenible.

Hacia una gestión de residuos con principios de economía circular

En la actualidad, los residuos agrícolas, han dejado de considerarse simples desechos para ser reconocidos como subproductos agrícolas (Unión Europea, 2018). Bajo la perspectiva de los principios de la economía circular, los subproductos pasan a ser materias primas potencialmente reutilizables cuyo correcto tratamiento les aporta valor añadido. Entre los tratamientos más destacados se encuentra el compostaje, un proceso controlado de descomposición biológica por parte de microorganismos que convierte los restos orgánicos en un abono de alta calidad agronómica, ideal para mejorar los suelos y promover una agricultura más sostenible (Bohacz, 2019).

Elaboración del compost a partir de restos vegetales de la explotación citrícola

Para obtener un compost de calidad, es fundamental proporcionar un ambiente adecuado para la flora microbiana. Para ello, es necesario equilibrar el carbono, el nitrógeno, el oxígeno y la humedad de los restos vegetales a compostar. Los restos vegetales, como son el heno, la madera de poda y los frutos, suelen presentar una relación C/N más elevada que la deseable. No obstante, este desequilibrio puede corregirse mezclando residuos complementarios ricos en N (Zhu, 2007). En la actualidad, debido a las dificultades y limitaciones existentes en la gestión de restos animales, las explotaciones agrícolas sin ganadería asociada requieren de formulaciones de residuos compostables exclusivamente de origen vegetal.

El compostaje de restos cítricos tiene un gran potencial debido a su alto contenido de polifenoles. Aunque inicialmente pueden ser fitotóxicos (Pinho *et al.*, 2017), durante el proceso de compostaje se desnaturalizan y se

convierten en importantes agentes clave para la síntesis de sustancias húmicas, que mejoran significativamente la calidad del compost como fertilizante (Ait Baddi *et al.*, 2009). Sin embargo, la mezcla de restos cítricos no alcanza la relación C/N ideal de 25, lo que requiere la adición de una fuente de nitrógeno. Por ello, el objetivo de este estudio fue lograr un compost maduro de alta calidad agronómica sin restos animales, con la adición de nitrato amónico (NH_4NO_3) como fuente de nitrógeno como alternativa para equilibrar la relación C/N inicial.

Metodología empleada

A partir de restos de poda de naranjos, de fruta de destrío y heno de paja de cereal se realizó una mezcla con una relación inicial de C/N de 25 y una humedad del 65%. La mezcla se suplementó con NH_4NO_3 y se amontonó en una pila de forma trapezoidal con una altura aproximada de 1,5 m. Se utilizó como control una pila de las mismas dimensiones formulada exclusivamente con restos de paja y NH_4NO_3 . Los pesos y el tipo de materia prima empleado se presentan en la **Tabla 1**. Las pilas se situaron bajo la cubierta de una planta de compostaje con el suelo impermeabilizado, riego automatizado y sistema de recirculación de lixiviados. Las pilas se voltearon periódicamente con el objetivo de airearlas y favorecer la actividad microbiana. La **Foto 1** muestra la planta de compostaje utilizada en este ensayo.

TABLA 1
Composición de las diferentes pilas de compostaje analizadas.

| PILA | COMPOSICIÓN | PESO (KG) | RELACIÓN C/N INICIAL | HUMEDAD INICIAL |
|------|---|------------------------|----------------------|-----------------|
| HPF | Heno Restos de poda Fruta NH_4NO_3 | 200 200 800 9 | 25,5 | 65% |
| H | Heno NH_4NO_3 | 500 25 | 23,5 | 30% |



FOTO 1
Planta de compostaje con cubierta y suelo impermeabilizado.

Se midieron diferentes parámetros dos veces por semana para poder decidir tanto el volteo como el riego de cada una de las pilas. Se midió la temperatura, el pH, la humedad y la cantidad de CO_2 con diferentes sondas en tres zonas de las pilas. La madurez del compost se evaluó mediante un

análisis físico-químico y biológico una vez que los parámetros de control se habían estabilizado.

Resultados y discusión

La evolución de la temperatura de las pilas de compost fue desigual. La pila HPF alcanzó los 50°C en los primeros

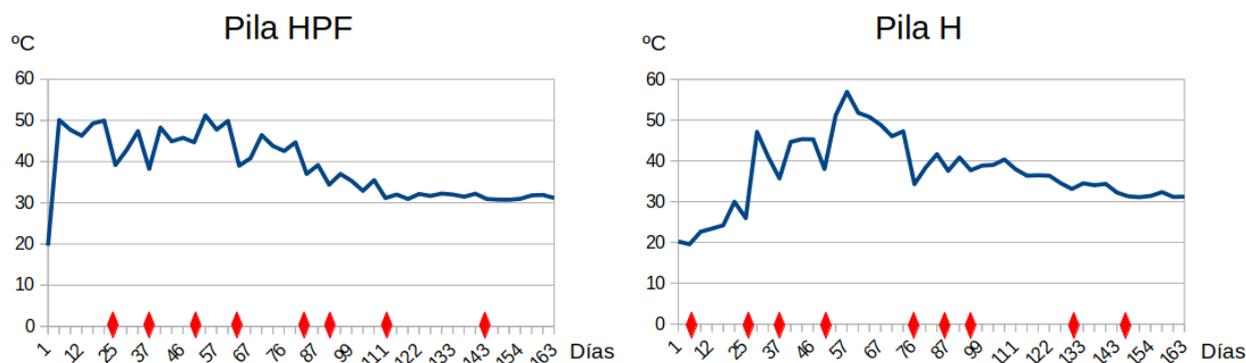


FIGURA 1
Evolución de la temperatura en las diferentes observaciones realizadas. Marcas en rojo indican volteo realizado.

3 días, mientras que la pila H tardó 30 días, evidenciando que la adición de restos de poda y frutos acelera la transición a la fase termófila. Esto puede ser debido a una mayor humedad inicial mantenida en la Pila HPF respecto a la Pila H debido a la diferencia de densidad entre las pilas. Ambas pilas presentaron un patrón de temperatura típico del compostaje (**Figura 1**): una subida inicial de temperaturas por encima de 40°C durante aproximadamente dos meses, seguida de un enfriamiento gradual durante el tercer mes, como ocurre con otras materias primas como puede ser corteza de madera (J. Hoitink, 1977), lodos de depuradora (Nakasaki *et al.*, 1985), o pulpa de uva (Faure & Deschamps, 1990). Durante la fase termófila, la temperatura de las pilas aumentó con los volteos, debido a que la aireación potencia la actividad microbiana aeróbica propia del proceso de compostaje, mientras que en la fase de maduración no se elevó la temperatura de manera significativa tras el volteo (**Figura 1**). Esta observación puede considerarse como un indicador de la madurez del compost (Fourti, 2013).

Durante el compostaje, el pH de las pilas varió entre 4,8 de la pila HPF y 7,3 de la pila H. Al final del proceso se estabilizó en valores de 6,2 y 7,3 respectivamente. Los valores de este ensayo son más bajos que en otros estudios de compost de restos cítricos en los que el pH se neutralizó con hidróxido de calcio (Van Heerden *et al.*, 2002). No obstante, son umbrales adecuados para la elaboración del compost y una posterior utilización en suelos calizos, que son comunes en España.

La temperatura y los niveles de CO₂ fueron indicadores clave para planificar los volteos. Durante la fase termófila, el CO₂ alcanzó valores entre 6% y 18%, reflejando una alta actividad microbiana. En la fase de maduración, estos valores disminuyeron a menos del 1%, indicando una menor actividad metabólica, por lo que puede considerarse como otro indicador de la estabilización del compost (Wu *et al.*, 2000).

TABLA 2

Familias de bacterias más abundantes (% de la población total) en el compost maduro.

| FAMILIA | PILA HPF | PILA H | FUNCIÓN BIOLÓGICA |
|-----------------------|----------|--------|---|
| Esfingobacteriáceas | 8,21 | 0,17 | Degradación de polímeros y materia orgánica compleja. |
| Nitrososferáceas | 7,51 | 1,40 | Oxidan el amonio, mejorando la disponibilidad de nitrógeno. |
| Pseudonocardiáceas | 6,83 | 6,19 | Degradación de materiales lignocelulósicos. Control de patógenos. |
| Baciláceas | 6,56 | 5,01 | Producen enzimas beneficiosas para el crecimiento vegetal, solubilización de fósforo. |
| Micromonosporáceas | 5,04 | 2,33 | Asociadas a la descomposición de materia orgánica y procesos de biocontrol. |
| Estreptomicetáceas | 4,08 | 2,74 | Degradan celulosa y lignina. Control de patógenos. |
| Termoactinomycetáceas | 4,40 | 7,65 | Bacterias termófilas que descomponen lignina y celulosa. |
| Termomonosporáceas | 3,71 | 6,01 | Bacterias termófilas que contribuyen a la degradación de materia orgánica compleja. |
| Microsciláceas | 3,67 | 0,38 | Relacionadas con el metabolismo de compuestos complejos. |
| Rizobiáceas | 3,23 | 7,74 | Fijan nitrógeno en simbiosis. |

PF: heno + restos de poda + fruta; H: heno

TABLA 3

Familias de hongos más abundantes (% de la población total) en el compost maduro.

| FAMILIA | PILA HPF | PILA H | FUNCIÓN BIOLÓGICA |
|---------------|----------|--------|---|
| Thermomyces | 38,95 | 14,82 | Hongos termófilos que descomponen lignina y celulosa, fundamentales en la fase termófila. |
| Aspergillus | 32,01 | 54,37 | Productores de enzimas como amilasas y proteasas, útiles para la degradación de materia orgánica. |
| Talaromyces | 6,40 | 17,83 | Descomponen compuestos orgánicos y contribuyen al control biológico de patógenos. |
| Chrysosporium | 3,76 | 0,60 | Involucrados en la degradación de queratina y compuestos complejos. |
| Mortierella | 3,64 | 0,76 | Relacionados con el ciclo del carbono y producción de lípidos beneficiosos. |

HPF: heno + restos de poda + fruta; H: heno

Análisis de microorganismos

Es sabido que el compost mejora la actividad microbiana del suelo e incrementa su fertilidad y calidad biológica (Insam & de Bertoldi, 2007). Al analizar el compost elaborado con restos cítricos (mezcla de heno, poda y fruta), se observó una mayor diversidad microbiana respecto al compost realizado exclusivamente con heno. Se identificaron 642 y 437 especies microbianas

respectivamente. En ambos casos, las bacterias fueron predominantes con una población del 85% del total, mientras que los hongos representaron 15% en ambas pilas. Las **Tablas 2 y 3** recogen las familias de microorganismos más abundantes y las diferencias existentes en los dos tipos de compost elaborados.

En el compost de restos cítricos y heno (HPF) sobresale la presencia de es-

Pila HPF



Pila H



FIGURA 2
Pilas de compost maduro antes de ser tamizadas.

fungobacteriáceas (8,21%) y pseudonocardiáceas (6,83%), conocidas por la capacidad de degradar polímeros complejos. Las pseudonocardiáceas, y otras bacterias estreptomicetáceas, adicionalmente tienen la capacidad de producir compuestos antibióticos inhibidores del crecimiento de microorganismos patógenos, como los del género *Fusarium* (Neelu *et al.*, 2014; Xue *et al.*, 2015). Por otra parte, las pseudonocardiáceas generan metabolitos secundarios con propiedades beneficiosas como son promotores del crecimiento vegetal y enzimas. Estos compuestos no solo mejoran el desarrollo de las plantas, sino que también incrementan su resistencia frente a condiciones de estrés ambiental (Qin *et al.*, 2011). Otras bacterias presentes en cantidades relevantes son las nitrososferáceas (7,51%). Estas bacterias contribuyen a transformar el nitrógeno de la materia orgánica en formas fácilmente asimilables por las plantas.

Por otro lado, el compost de heno (H) mostró mayor presencia de termomonosporáceas, especializadas en descomponer materia orgánica compleja a altas temperaturas (Anderson *et al.*, 2011), y de rizobíaceas, clave en la fijación biológica de nitrógeno en simbiosis con las plantas (Lindström & Mousavi, 2020). Estas características indican que, aunque la diversidad microbiana es menor, el compost de heno puede ser particularmente útil en suelos que necesiten un aporte de

nitrógeno biológicamente fijado o en aquellos donde se requiera un manejo de residuos lignocelulósicos.

El análisis de los hongos en las pilas de compost revela diferencias en la composición de las comunidades fúngicas, influenciadas por la materia prima utilizada. En la pila HPF (compost de restos cítricos), se detectó una mayor diversidad de hongos capaces de degradar compuestos orgánicos complejos como celulosa y lignina, lo que favorece un proceso de compostaje más eficiente. En contraste, la pila de heno presentó una menor diversidad, dominada por especies especializadas en condiciones específicas, como la termofilia, lo que limita

la descomposición a ciertos sustratos. Estas diferencias microbianas, tanto en bacterias como en hongos, evidencian que la materia prima no solo determina la diversidad del compost, sino también su funcionalidad y los beneficios que aporta al suelo, adaptándose a necesidades específicas como la mejora de la estructura, la fertilidad o la disponibilidad de nutrientes.

Calidad agronómica del compost a partir de restos de cítricos

Es bien sabido que el compost es un recurso muy valorado para mejorar la calidad del suelo y para reducir la

TABLA 4
Principales características físicas y químicas del compost de restos de cítricos maduro.

| PARÁMETRO | UNIDAD | PILA HPF | PILA H | ÓPTIMO ¹ |
|------------------------------------|--------|----------|--------|---------------------|
| <i>Características físicas</i> | | | | |
| Granulometría (partículas < 25 mm) | % | 100 | 100 | > 90 |
| Humedad | % | 20,0 | 52,7 | máx: 40 |
| Conductividad eléctrica a 25°C | dS/m | 2,86 | 11,8 | < 4 |
| <i>Características químicas</i> | | | | |
| Materia orgánica total | % | 20,5 | 30,5 | > 20 |
| Relación C/N | | 11,5 | 9,51 | 10-15 |
| Ác Húmicos/Ác. Fúlvicos | | 0,51 | 1,02 | 1,6-2,8 |
| N | % | 1,0 | 1,9 | > 1 |
| P | % | 0,31 | 0,25 | 0,1-1,1 |
| K | % | 1,2 | 0,83 | 0,3-1,0 |
| Relación Ca/Mg | | 7,12 | 5,61 | 2-5 |
| Relación Mg/K | | 1,22 | 0,55 | 3 |
| pH a 25°C | | 7,9 | 5,8 | 7-8 |

¹ Valores óptimos para su aplicación en agricultura.
HPF: heno + restos de poda + fruta; H: heno.

dependencia de fertilizantes químicos (Celik *et al.*, 2004). Las características físicas, químicas y los contenidos de micronutrientes y metales pesados de las pilas estudiadas se muestran en las **Tablas 4 y 5**. Respecto a las características físicas (**Tabla 4**), el compost de heno y restos cítricos (HPF) poseen propiedades agronómicas óptimas. Antes de realizar el tamizado, se observan tamaños de partículas mayores en la pila H que en la pila HPF (**Figura 2**). Respecto a las propiedades químicas, el compost de heno (H) mostró una ligera salinidad debido a la mayor cantidad de NH_4NO_3 utilizado para iniciar el proceso de compostaje. Dado que esta salinidad no proviene de cloruros ni sodio, no representa una limitación para su uso en agricultura, aunque debe ser tenida en cuenta a la hora de ser aplicado al suelo, principalmente si se va a utilizar en cultivos sensibles a la salinidad. La materia orgánica y relación C/N de la pila HPF se encontró dentro de los valores óptimos para uso agronómico. Sin embargo, la Pila H mostró una relación C/N ligeramente subóptima (9,51 frente al rango ideal de 10-15), lo que podría provocar una liberación rápida de nitrógeno, aumentando el riesgo de lixiviación en suelos de baja retención.

Respecto a los nutrientes principales (N, P y K), ambos compost mostraron niveles adecuados. No obstante, la relación Ca/Mg en la Pila HPF (7,12) excede el rango recomendado (2-5), lo que podría dificultar la absorción de magnesio por el efecto antagonista del calcio. Esto podría comprometer funciones esenciales de la planta como la fotosíntesis, aunque el impacto dependerá del tipo de suelo, su biología y su pH (Kopittke & Menzies, 2007). En cuanto a la relación Mg/K, la Pila HPF presenta un valor de 1,22, mientras que la Pila H muestra un valor de 0,55, ambos por debajo del rango óptimo recomendado de 3. Esta descompensación podría tener implicaciones en la absorción de potasio y magnesio por las plantas, ya que ambos nutrientes compiten entre sí en el proceso de absorción radicular que se debe tener

TABLA 5
Contenido en micronutrientes del compost de restos de cítricos maduro.

| ELEMENTO | UNIDAD | PILA HPF | PILA H |
|--------------------------|--------|----------|---------|
| Cloruros | % | 0,012 | 0,015 |
| Trióxido de Azufre total | % | 0,31 | 0,51 |
| Óxido de Calcio total | % | 10,4 | 2,58 |
| Óxido de Magnesio total | % | 1,46 | 0,46 |
| Óxido de Sodio total | % | 0,12 | 0,12 |
| Boro | % | 0,0042 | 0,0015 |
| Hierro | mg/Kg | 10,5 | 2,29 |
| Cobre | mg/Kg | 18,8 | 14,3 |
| Molibdeno | % | 0,00021 | 0,00017 |
| Manganeso | % | 0,026 | 0,0085 |
| Zinc | mg/Kg | 62,4 | 52,5 |

HPF: heno + restos de poda + fruta; H: heno

El compostaje de restos cítricos tiene un gran potencial debido a su alto contenido de polifenoles

en cuenta en los cálculos de las dosis de fertilizante.

La **Tabla 5** refleja diferencias marcadas en el contenido de micronutrientes entre las pilas de compost HPF y H. La Pila HPF destaca por tener mayores niveles de nutrientes esenciales como el hierro, el manganeso, el zinc y el cobre, que son importantes para el metabolismo vegetal. Asimismo, presenta mayores concentraciones de óxidos de calcio y magnesio, lo que indica un mayor potencial para mejorar la estructura y fertilidad del suelo. Ambos compost tienen niveles bajos de cloruros y sodio, lo que minimiza el riesgo de salinidad.

Conclusiones

A pesar del reto de obtener un compost sin utilizar restos animales para

su elaboración, la adición de NH_4NO_3 como aporte de nitrógeno a la mezcla de restos vegetales ha mostrado ser un ingrediente eficaz para equilibrar la relación inicial de C/N de la mezcla de restos vegetales. Como alternativa para la agricultura ecológica cabe la posibilidad de utilizar otras fuentes de nitrógeno autorizadas para la elaboración del compost. El compost con restos cítricos muestra una mejor calidad agronómica que el compost elaborado únicamente con heno y es muy adecuado como enmienda en suelos pobres de nutrientes y tiene un alto potencial para mejorar la biodiversidad microbiana del suelo con una flora de alto valor e interés agronómico.

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el proyecto "CompostAnd. Experimentación y Transferencia sobre la Reutilización y el Compostaje de Residuos Orgánicos de los Cultivos Extensivos y Frutales más Representativos de Andalucía Occidental" (PR.RSRR2.RSRR2300.004.02-1), cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEADER).

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com