

Compostaje de residuos vitivinícolas. Avanzando hacia una industria circular

Compost of vitiviniculture residues. Closing the loop of the wine industry

Rodrigo Morales-Vera¹, Alex Echeverría-Vega^{1,2}, Almendra Espinoza¹, Rosa Roa Roco³, Alvaro Gonzalez³, Doreen Schober⁴ y Sebastian Tramon⁴

¹Centro de Biotecnología de los Recursos Naturales (CENBIO), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Católica del Maule, Avda. San Miguel 3605, Talca, Chile

²Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Maule (CIEAM), Universidad Católica del Maule, Avda. San Miguel 3605, Talca, Chile

³Viña Concha y Toro S.A., Center for Research and Innovation, Fundo Pocoa s/n, Km10 Ruta K-650, Penciahue, Chile

⁴Emiliana Organic Vineyards, Research and Innovation, Nueva Tajamar 481, Las Condes, Chile

Resumen. En una vitivinicultura circular, mediante el compostaje de materia orgánica, se conservan los nutrientes, la estructura y la diversidad del suelo del viñedo, y se valorizan los residuos industriales. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue optimizar la eficiencia y calidad de la producción de compost. En un proyecto colaborativo entre 3 bodegas, se evaluó un compostaje de volteo tradicional en conjunto con una tecnología de cubierta permeable, sustratos alternativos como residuos de tomate y manzana, así como estiércol y urea como fuente adicional de nitrógeno, y además el efecto de organismos comerciales como aceleradores del compostaje de residuos vitivinícolas. El uso de una cubierta permeable redujo el requerimiento de agua en un 17%. La adición de orujo de manzana y tomate generó un compost más estable y rico en N, en comparación con los sistemas que utilizan solo orujo. La aplicación de estiércol avícola y urea aumentó principalmente en el contenido respectivo de P y N. La inoculación adicional con microorganismos comerciales no generó diferencias en el compost. En cuanto a las poblaciones de microorganismos naturales, no se encontraron diferencias entre los tratamientos en bacterias beneficiosas fijadoras de nitrógeno como *Nitrospira* y *Nitrosomas*.

Abstract. In a circular vitiviniculture, by composting organic materials, nutrients, structure and diversity of the vineyard soil are preserved, and industrial waste is valorized. The objective of this work was to optimize the efficiency and quality of compost production. In a collaborative project among 3 wineries, a traditional turning composting was evaluated in conjunction with a permeable cover technology, alternative substrates such as tomato and apple residues, as well as manure and urea as an additional source of nitrogen, and furthermore the effect of commercial organisms in the composting of wine residues were assessed. The use of permeable cover reduced the water requirement by 17%. The addition of apple and tomato pomace generated significant positive differences in pH and N content, and led to significantly more stable compost compared to systems using only wine pomace. The application of manure and urea increased mainly in the respective content of P and N. Additional inoculation with commercial microorganisms did not lead to differences in the compost. Regarding the populations of natural microorganisms, no differences were found among the treatments in beneficial nitrogen fixing bacteria such as *Nitrospira* and *Nitrosomas*.

1 Introducción

El vino de uva, *Vitis vinifera*, representa una de las bebidas alcohólicas más importantes del mundo, con una demanda en continuo crecimiento [1], produciéndose unos 26 mil millones de litros a nivel mundial, destacando por su nivel de producción Italia (18,7%), Francia (17%), España (15%), Estados Unidos (8%), Argentina (5%), Chile (4%) y Australia (4%) durante el año 2019 [2].

Durante los últimos años se ha observado una disminución en la calidad de los suelos de uso agronómico alrededor del mundo, generalmente se debe a un mal manejo de las tierras de uso agrícola, los monocultivos, la agricultura intensiva, una limitada aplicación de enmiendas orgánicas de suelo, la mínima introducción de cultivos de cobertura y el aumento del tráfico de maquinaria pesada entre otros [3,4,5].

Entre las opciones disponibles para la recuperación de

suelos degradados una de las más utilizada es el uso de enmiendas del suelo, de entre ellas destaca el compost [6]. El compostaje es un proceso aeróbico natural de biodegradación de materia orgánica desde materiales frescos a materia orgánica estable y madura, similar al humus [7]. Específicamente es un proceso biológico que consiste en una degradación controlada de sustratos orgánicos sólidos por la acción de microorganismos, este proceso presenta dos etapas importantes, una mesófila (40° a 45°C) y una termófila (>45°C) con una etapa final de estabilización [8]. En la gestión de residuos el compostaje cumple con diferentes propósitos como la estabilización del material, reducción de volumen y saneamiento por inactivación térmica de patógenos debido a las altas temperaturas [9]; el producto final de este proceso, el compost, es beneficioso para los suelos, ya que

proporciona nutrientes para el crecimiento de las plantas, materia orgánica para la mejora del suelo y agentes bioquímicos para la supresión de enfermedades [10].

Generalmente la materia orgánica utilizada para este proceso proviene de residuos, en el caso de los residuos vitivinícolas estos se componen del orujo de uva, escobajo y borra; se estima que por cada tonelada de uva procesada se producen aproximadamente 30 kilogramos de escobajo, 120 kilogramos de orujo, 50 kilogramos de borra, unos 1,65 metros cúbicos de aguas residuales para finalmente obtener aproximadamente unos 0,75 metros cúbicos de vino [11]. Estimando una producción de desechos sólidos totales de 358 mil toneladas durante el año 2021 en Chile, esto según el reporte ejecutivo de producción de vinos entregado por el SAG [12]. Estos residuos presentan un elevado contenido de materia orgánica y macronutrientes, características importantes para mejorar la fertilidad de los suelos degradados [13], así mismo, el compostaje presenta diferentes ventajas desde el punto de vista medioambiental, agronómico y económico para la mayoría de las empresas de la industria vitivinícola, al convertir sus residuos en una enmienda orgánica para el crecimiento del mismo viñedo, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos, reduciendo los costes de tratamiento de los residuos y generando una disminución en la producción de residuos [7], fomentando la economía circular dentro de la industria vitivinícola.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue optimizar la eficiencia y calidad de la producción del compost. En un estudio de 12 meses en un proyecto colaborativo entre 3 viñas se determinó en compostaje tradicional con volteo, el efecto de una membrana permeable, sustratos alternativos como tomasa (residuos de la industria de salsa de tomate) y pomasa (residuos de la industria de manzana) como también las implicancias de la utilización de guano y urea como fuente adicional de nitrógeno en el compostaje de orujo y escobajo, y el efecto de la inoculación de organismos comerciales en el compost final. Los tratamientos se evaluaron por la cinética de temperatura, comunidades bacterianas, cantidad de nutrientes tales como N, P, K, nitrato, relación C/N y estabilidad según relación NH_4/NO_3 , tanto en el proceso como en el compost final.

2 Metodología

Los ensayos de esta primera temporada se ejecutaron entre mayo 2019 y enero de 2020. Para ello se realizaron protocolos basados en la norma TMECC [14] para análisis químicos, físicos y microbiológicos, los cuales fueron utilizados para realizar muestreo y posterior obtención de datos que permitieron evaluar los sistemas de compostaje de acuerdo a los objetivos planteados. Los ensayos fueron volteados y humectados para mantener las condiciones óptimas de oxigenación y contenido de humedad (CH) de las pilas de acuerdo a protocolos de manejo de pilas y muestreo CH realizados específicamente para este estudio utilizando como base la norma TMECC [14]. Para homogenizar el material a compostar, los distintos tipos de orujo tinto, fueron mezclados previamente a la formación de pilas experimentales. Las cantidades para cada mezcla

de sustratos a compostar se determinaron en base de sus propiedades físico-químicas para iniciar el ciclo de compostaje con los parámetros críticos como relación C/N, densidad aparente, porosidad y contenido de humedad dentro de los rangos óptimos (Tabla 1).

Tabla 1. Propiedades físico-químicas iniciales pilas compostaje.

Parámetro	Rango	Promedio
C/N	20-30	25
Densidad aparente (kg/m ³)	330-560	445
Porosidad (%)	50-60	55
Contenido humedad (%)	40-60	54

Para determinar el efecto de una cubierta semipermeable y la viabilidad de compostaje de otros tipos de sustrato diferentes al orujo, se desarrollaron experimentos con pomasa y tomasa para evaluar su comportamiento en el proceso de compostaje y su efecto en el producto terminado. Se realizaron cuatro tratamientos en triplicado en hileras de 27m³ bajo un sistema de compostaje en hileras con volteo. T1, compostaje de orujo. T2, compostaje de orujo con adición de pomasa y tomasa. T3, compostaje de residuos de pomasa y tomasa, y T4, compostaje de orujo con malla semipermeable. Las mezclas de cada sustrato utilizadas en los ensayos se determinaron de acuerdo a los parámetros ideales para sistemas de compostaje (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidades sustratos por tratamiento evaluación cubierta semipermeable y sustratos diferente al orujo.

Sustrato (m ³)	T1	T2	T3	T4
Orujo	20	14	-	20
Guano bovino	5	-	7	5
Rastrojo trigo	2	2	2	2
Tomasa	-	6	5	
Pomasa manzana	-	5	13	
Cubierta semipermeable	No	No	No	Si

Para determinar el efecto de la suplementación de N en el compostaje de orujo, se realizaron tres tratamientos en triplicado en hileras de 27m³ bajo un sistema de compostaje en hileras con volteo. T1, compostaje de orujo/escobajo. T2, compostaje de orujo/escobajo con adición de guano. T3, compostaje de orujo/escobajo con adición de urea (Tabla 3).

Tabla 3. Cantidades sustratos por tratamiento efecto de la suplementación de N en el compostaje de orujo.

Sustrato (m ³)	T1	T2	T3
Orujo	20	17	20
Escobajo	7	7	7
Guano avícola	-	3	-
Urea (kg)	-	-	230

Para determinar el efecto de inoculación de microorganismos en el compostaje de orujo, se realizaron cuatro tratamientos en triplicado en hileras manejadas con volteo de 18m³. T0, compostaje de orujo sin inoculación de microorganismos. T1, compostaje de orujo con inoculación de microorganismos, T2 compostaje de orujo con inoculación de microorganismos y adición de neutralizador de acidez (cal). Todos los tratamientos se realizaron mediante el sistema de hilera con volteo, utilizando 100% orujo como sustrato. Se utilizó como fuente de inóculo, una marca comercial que se utiliza como acelerador en procesos de compostaje. Se consideró, realizar un tratamiento, T3, para neutralizar el pH ácido del orujo (3-4).

El diseño experimental fue 3 o 4 tratamientos y 3 repeticiones cada uno, haciendo un total de 9 o 12 unidades experimentales según los diferentes objetivos del estudio.

Con el fin de mantener rangos de humedad adecuados, se aplicó riego por medio de un camión cisterna y sistemas de regadío, dependiendo de la disponibilidad de equipos en cada viña. Con el fin de aportar oxígeno, se realizaron volteos por medio de una volteadora de compost modelo sT-300 arrastrada por maquinaria agrícola denominada tractor. Los parámetros para realizar los volteos fueron: altos índices de humedad, altas temperaturas y la oxigenación del sistema. En los primeros meses se realizaron 2 volteos cada dos semanas, hasta la estabilización térmica del sistema.

Se registraron y evaluaron las temperaturas, humedad, pH durante el desarrollo del compostaje, con el fin de mantener estables las variables críticas del proceso y monitorear su desarrollo. Se analizaron las propiedades fisicoquímicas de cada pila en 3 puntos críticos del proceso, establecidos como inicio del proceso (proceso mesófilo inicial), etapa media (proceso activo termófilo) y etapa final (proceso mesófilo tardío), según lo descrito en la Tabla 4, con el fin de caracterizar y comparar su evolución. Al final del proceso se evaluó la calidad de los compost obtenidos, según lo descrito en TMECC y NCh2880 [14-15].

Tabla 4. Análisis realizados a los tratamientos en los 3 puntos críticos del proceso.

Análisis químico
pH (PH)
Conductividad (Cond)
Materia Orgánica (OM)
Carbono Total (C)
Nitrógeno Total (N)
Relación C/N (Rel. C/N)
Fosforo Total(P)
Potasio Total (K)
Amonio y Nitrato (NH ₄ y NO ₃)
Relación NH ₄ /NO ₃ (Rate A/N)

Se analizaron los parámetros obtenidos en 3 puntos críticos del proceso, definidos como inicio, mediados y final, a través de un análisis de la varianza (ANOVA) con un con una significancia del 95% mediante el software Rstudio versión 1.4.1103-2017. Acto seguido se utilizó la prueba de Tukey con una significancia del 95% para

determinar cuál o cuáles de las medias de los parámetros fueron las diferentes para cada tratamiento. Para determinar la relación entre las variables ambientales y la composición de la comunidad microbiana, se analizaron las muestras obtenidas en los procesos etapa media (proceso activo termófilo) y etapa final (proceso mesófilo tardío), para ello, se utilizó un Análisis Canónico de Coordenadas Principales (CAP). Las gráficas muestran la distribución de las muestras en un mapa de coordenadas, basado en una matriz de comparación de las similitudes en la composición de sus comunidades microbianas. Se muestran como vectores las variables ambientales y su direccionalidad y longitud, indican la correlación de esta variable con la composición microbiana de las muestras y el grado de esta correlación respectivamente. Estos mismos análisis permiten mostrar por medio de burbujas, el número de representantes de un género bacteriano específico que puedan ser de interés. Se utilizó también Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS), para mostrar relaciones entre las comunidades encontradas en las diferentes muestras, se incluye en estas figuras los vectores correspondientes a indicadores de biodiversidad Número de especies (S), Índice de diversidad (entropía) de Shannon (H'), Índice de dominancia de Pielou (J) e Índice de dominancia-diversidad de Simpson (1-λ).

La extracción de ADN se realizó siguiendo el protocolo del kit comercial (Dneasy Powersoil Pro, Qiagen). El ADN extraído fue almacenado a 4°C y posteriormente secuenciada mediante Illumina Miseq System. Las secuencias corresponden a la región V3-V4 del gen ribosomal 16S usando partidores: Forward, 5'-ACTCCTACGGGAGGCAGCA-3'; y reverse, 5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3'.

Para el análisis bioinformático, se utilizó el software QIIME II para la limpieza y análisis de las secuencias generadas, la identificación de las secuencias se hizo a través de comparación con la base de datos Silva como referencia. Los análisis estadísticos multivariados y de biodiversidad se realizaron mediante el software Primer7 (Primer-e).

3 Resultados y Discusión

La Figura 1 indica la evolución de la temperatura de los tratamientos para evaluar el efecto de la cubierta semipermeable y los sustratos alternativos. Al analizar las temperaturas podemos observar un patrón de comportamiento típico de este tipo de compostaje. Las temperaturas máximas alcanzadas en las pilas fueron similares a otros estudios con residuos de bodega [16- 17]. Sin embargo, la ausencia de orujo genera un rápido incremento de temperatura. De forma inmediata T3 (pomazas) muestra una temperatura de activación (>45°C), seguido por T2 que sobrepasa los 45°C (etapa termófila) a los 23 días, y luego T1 y T4 a los 40 días (Fig. 1). Considerando la presencia de material lignocelulósico recalcitrante como la semilla del orujo, este efecto se asocia a la biodisponibilidad de los nutrientes para los microorganismos asociados al proceso de activación de los tratamientos [18, 19]. En términos estructurales, las semillas de uva, están compuesta principalmente por hidratos de carbono en forma de celulosa y hemicelulosas

(37%), y lignina (44%) [20]. La semilla de uva presenta los niveles más altos de contenido de lignina en comparación con otros tipos de biomasa lignocelulósica, convirtiéndola en un tipo de biomasa altamente recalcitrante a la biodegradación microbiana [21,22]. Para determinar la biodisponibilidad de las semillas en el orujo se realizan ensayos que se encuentran en desarrollo durante esta temporada. En cuanto al efecto de la cubierta permeable en la temperatura del proceso, T1 y T4, no existen diferencias en el perfil térmico de ambos tratamientos. Similar comportamiento fue exhibido en sistemas de compostaje de estiércol, césped fresco y chips [23].

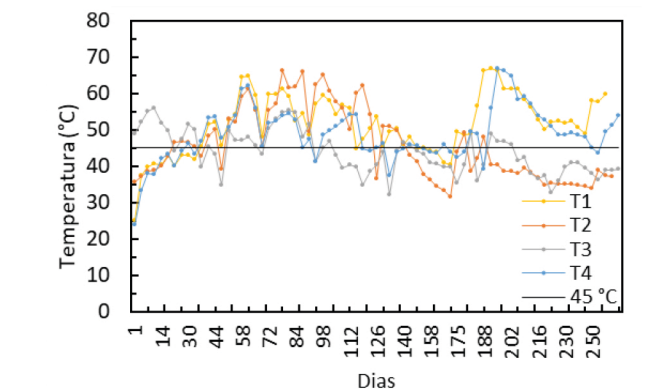


Figura 1. Comportamiento de la temperatura de cada tratamiento a lo largo del proceso de compostaje. Cada punto representa el promedio de triplicados cuya desviación estándar tuvo un rango entre 0 y 3,9.

En las propiedades químicas del compost producido, en términos de ausencia de orujo, el T3, muestra los niveles de estabilización significativamente ($p<0,05$) más evidentes ($\text{NH}_4/\text{NO}_3 < 3$). Este tratamiento fue el único que genero un compost completamente estabilizado cumpliendo en promedio con la NCH en todos los parámetros evaluados (Tabla 5). El tratamiento con adición de tecnología del tipo cubierta impermeable (T4) generan un compost significativamente ($p<0,05$) más estable en comparación al sistema de volteo tradicional, T1, obteniendo valores de acuerdo con la norma chilena 2880 (Tabla 5) [15]. El aporte de NO_3 es 2-3 veces mayor ($p < 0,05$) en los compost producidos vía incorporación de tecnología, además permite utilizar un 18% menos agua en comparación que el mismo tratamiento sin cubierta (T1). Considerando parámetros como las relaciones C/N, y NH_4/NO_3 como indicadores de estabilización del compost, el tratamiento con pomasa y con cubierta generaron un compost significativamente ($p<0,05$) más estable en comparación a los sistemas utilizando orujo y sin cubierta, T1 y T2, obteniendo valores de acuerdo con la norma chilena 2880 (Tabla 5) [15]. Por lo tanto, residuos de tomate y manzana son sustratos factibles para ser compostados, generando un producto con buenos índices nutricionales e índices de estabilidad ($\text{NPK}>1\%$), NO_3 (732 mg/Kg), ($\text{NH}_4/\text{NO}_3 < 0,7$).

La Figura 2 muestra un Análisis Canónico de Coordenadas Principales (CAP) que permite estudiar la interrelación entre las comunidades bacterianas presentes en los distintos tratamientos y la composición química de

cada uno de los compost. Respecto al sustrato, las diferencias respecto a las comunidades bacterianas en etapas termófila y mesófila muestran diferencias significativas respecto al tiempo y los tratamientos, las cuales son más marcadas que las diferencias en cuanto a composición química. El efecto de la no-adición de orujo es nuevamente observado con claridad (tratamiento 3). Se observa además que el principal componente modulador de las comunidades bacterianas en el tratamiento 3 es la mayor presencia de NO_3 , y Fósforo. La comparación entre los tiempos muestra una convergencia en cuanto a sus componentes biológicos, indicador de que las comunidades microbianas se van a desarrollar dependiendo de las condiciones del sistema, por lo tanto, si la composición química y características físicas convergen, también lo harán las comunidades presentes.

Tabla 5. Resultados de los análisis químicos de los tratamientos en su fase final. Evaluación cubierta semipermeable y sustratos alternativos.

Parámetro	T1	T2	T3	T4
Nitrógeno Total (%)	1,6	2,1	1,7	1,7
Relación C/N	19,4	20,3	11,6	20,1
Fosforo Total (%)	2,2	1,8	2,7	2,4
Potasio Total (%)	2,3	3,5	1,1	2,5
Amonio (mg/kg)	675	728	470,0	272
Nitrato (mg/kg)	207	319	732,0	550
Relación NH_4/NO_3	3,3	2,6	0,7	0,5

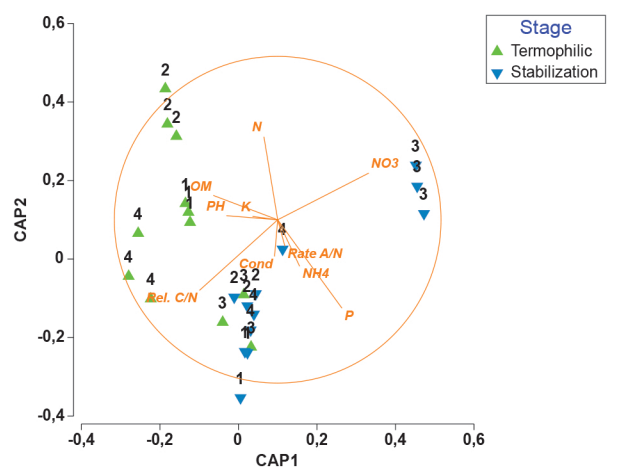


Figura 2. Análisis Canónico de Coordenadas Principales (CAP) que considera los muestreos replicados en la etapa termófila (verde) y mesófila final (azul). Vectores indican correlación de la composición de las comunidades bacterianas con la composición química de los distintos tratamientos.

Respecto a la biodiversidad, se observa en el Escalamiento Multidimensional no Métrico (nMDS) (Fig. 3), que las muestras con mejores índices de diversidad en la etapa mesófila final (extrapolables a ser considerados como aquellas con una mayor estabilización biológica) corresponden al tratamiento 3 (pomasa-tomasa). Como hipótesis de este fenómeno, se plantea que el azúcar y otros nutrientes aportados por el sustrato son

más fáciles de metabolizar, por lo que hacia el final del proceso se generó un compost más estabilizado. Por otro lado, a pesar que el efecto del Toptex (Tratamiento 4) genera un compost con buenos índices de estabilidad, en general, el diagrama nMDS no muestra diferencias significativas hacia el final del proceso al compararse con el tratamiento control.

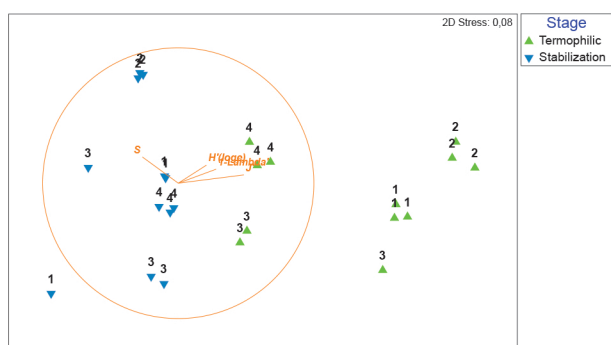


Figura 3. nMDS que muestra la distribución de las muestras tomando solo en consideración la composición de las comunidades microbianas. Los vectores indican correlación con los índices de diversidad: Número de especies (S), Índice de diversidad (entropía) de Shannon (H'), Índice de dominancia de Pielou (J) e Índice de dominancia-diversidad de Simpson (1-Lambda).

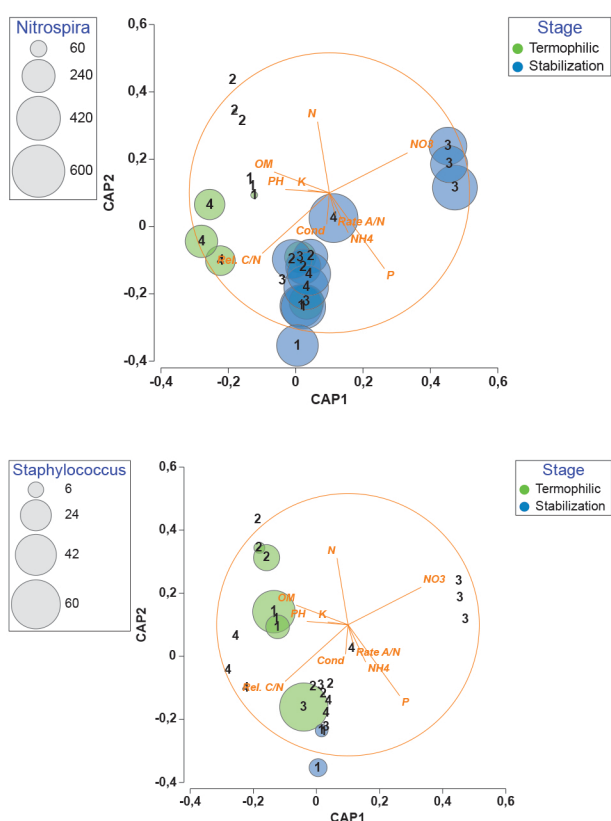


Figura 4. Análisis canónico de coordenadas principales (CAP) que considera los muestreos replicados en la etapa termófila (verdes) y mesófila final (azules). Se ilustran dos ejemplos de dinámica de microorganismos fijadores de nitrógeno (Género Nitrospira) y otros patógenos (Familia Staphylococcaceae). El tamaño de los círculos verdes es proporcional a su número relativo.

La Figura 4 muestra un ejemplo de presencia de microorganismos benéficos y patógenos, representados con dos bacterias Nitrospira (genero bacteriano de fijadores de nitrógeno) y Staphylococcaceae (familia de bacterias generalmente patógenas). Se observa que, para todos los tratamientos, Nitrospira tiende a aumentar lo que significa que los compost generados en general tienen un buen aporte de microorganismos benéficos. De igual manera, para la familia Staphylococcaceae donde la disminución se observa en todos los tratamientos lo que indica que todos los tratamientos tuvieron temperaturas suficientemente altas para eliminar a este tipo de patógeno.

En la Figura 5, se observa los efectos en la temperatura de la suplementación de nitrógeno. Existen diferencias significativas con la adición de fuentes nitrogenadas como guano avícola y urea. La suplementación de N mediante guano (T1) y urea (T2) mantiene por 6 semanas adicionales temperaturas más elevadas (>45°C) en comparación que el tratamiento testigo (T0).

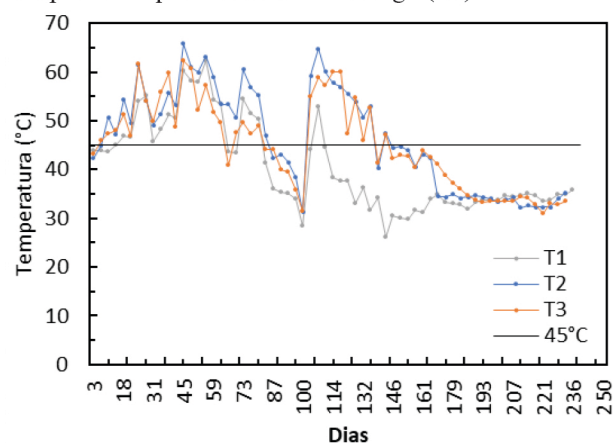


Figura 5. Comportamiento de la temperatura de cada tratamiento a lo largo del proceso de compostaje. Cada punto representa el promedio de triplicados cuya desviación estándar tuvo un rango entre 0 y 3,9.

En las propiedades químicas del compost producido se observan diferencias importantes entre los tratamientos con adición de fuentes nitrogenadas como guano avícola y urea en el contenido de macronutrientes. La utilización de guano genera un compost significativamente rico en P. La adición urea, genera un compost rico principalmente en N (>2.5%), por lo anterior, se evidencia una relación C/N significativamente menor en este tratamiento ($p < 0,05$) (Tabla 6). De forma similar un estudio realizado para evaluar el efecto de suplementación de nitrógeno, reportó que una disminución significativa en la relación C/N como también la disponibilidad de fósforo, especialmente con la suplementación de guano avícola [24]. La suplementación inicial con urea durante el proceso de compost, al igual que el presente estudio, generó un aumento significativo de 100% al final del proceso en la cantidad de nitrógeno [25].

Considerando parámetros como NH_4 , NO_3 y su relación como indicadores de estabilización del compost, los tratamientos con adición de fuentes de N mediante guano y urea, T2 y T3 respectivamente, generan un compost significativamente ($p < 0,05$) más estable en comparación al sistema utilizando 100% orujo, T0, obteniendo valores de acuerdo con la norma chilena 2880 (Tabla 6) [15].

La Figura 6 muestra un análisis canónico de coordenadas principales (CAP) que permite estudiar la interrelación entre las comunidades bacterianas presentes en los distintos tratamientos y la composición química de cada uno de los compost. Respecto al sustrato, las diferencias respecto a las comunidades bacterianas en etapas termófila y mesófila muestran diferencias significativas respecto al tiempo y los tratamientos, las cuales son más marcadas que las diferencias en cuanto a composición química. Las comunidades microbianas muestran además claras diferencias respecto a los tratamientos, destacándose que la marcada diferencia en la composición de las comunidades microbianas del tratamiento 2 (guano), respecto al control y tratamiento 3 (urea) está altamente correlacionado con el mayor contenido en fósforo y nitrógeno del producto final, respectivamente.

Tabla 6. Resultados de los análisis químicos de los tratamientos en su fase final. Evaluación suplementación fuentes nitrogenadas.

Parámetro	T1	T2	T3
Nitrógeno Total (%)	2,3	2,0	2,7
Relación C/N	20,3	21,2	17,3
Fosforo Total (%)	1,2	2,2	1,1
Potasio Total (%)	3,2	2,4	3,0
Amonio (mg/kg)	641	475	358
Nitrato (mg/kg)	234	223	362
Relación NH ₄ /NO ₃	3,8	2,2	1,0

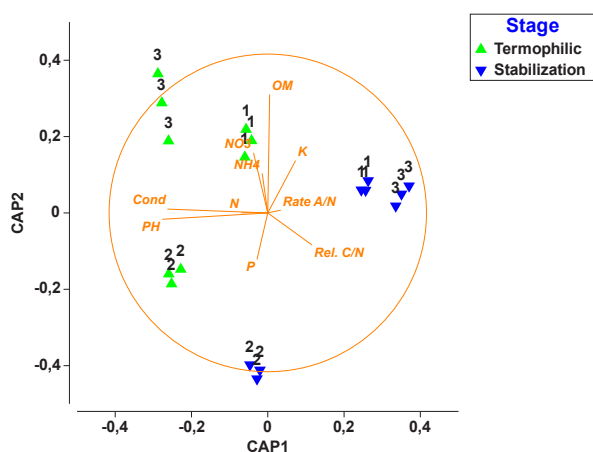


Figura 6. Análisis canónico de coordenadas principales (CAP) que considera los muestreos replicados en la etapa termófila (verde) y mesófila final (azul). Vectores indican correlación de la composición de las comunidades bacterianas con la composición química de los distintos tratamientos.

Respecto a la biodiversidad, se observa en el Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) (Fig. 7), que las muestras con mejores índices de diversidad en la etapa mesófila final (extrapolables a ser considerados como aquellas con una mayor estabilización biológica) corresponden a los tratamientos 2 y 3, los que se diferencian del tratamiento control (T1). En consecuencia, tanto la adición de guano como de urea, generan efectos significativos en la composición de las

comunidades bacterianas favoreciendo la generación de un compost con mejores características.

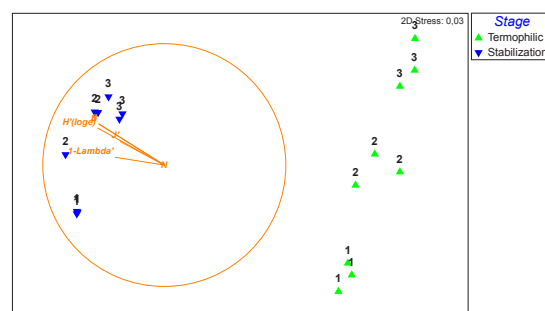


Figura 7. nMDS que muestra la distribución de las muestras tomando solo en consideración la composición de las comunidades microbianas. Los vectores indican correlación con los índices de diversidad: número de especies (S), Índice de diversidad (entropía) de Shannon (H'), Índice de dominancia de Pielou (J) e Índice de dominancia-diversidad de Simpson (1-Lambda).

La Figura 8 muestra un ejemplo de presencia de microorganismos benéficos y patógenos, representados con dos bacterias Nitrospira (genero bacteriano de fijadores de nitrógeno) y Caldicoprobacteraceae (familia de bacterias potencialmente patógenas). Se observa que, para todos los tratamientos, Nitrospira tiende a aumentar lo que significa que los compost generados en general tienen un buen aporte de microorganismos benéficos. Para la familia Caldicoprobacteraceae en cambio, se observa una desaparición casi completa para todos los tratamientos, esto indica que en general los tres tratamientos poseen un buen control de patógenos.

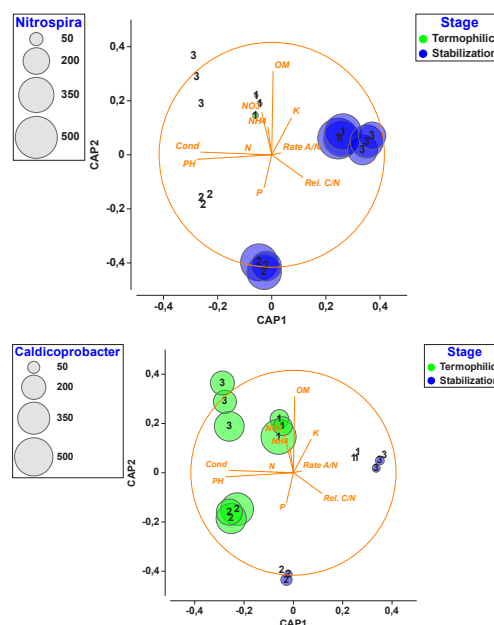


Figura 8. Análisis Canónico de Coordenadas Principales (CAP) que considera los muestreos replicados en la etapa termófila (verdes) y mesófila final (azules). Se ilustran dos ejemplos de dinámica de microorganismos fijadores de nitrógeno (Género Nitrospira) y otros patógenos potenciales (Familia Caldicoprobacteraceae). El tamaño de los círculos verdes es proporcional a su número relativo.

Para hacer que el compost contenga las concentraciones de nitrógeno adecuadas para el crecimiento de las plantas, en agricultura tradicional se puede complementar con fertilizantes químicos nitrogenados. En general, para mejorar la relación C/N de la materia prima, la adición de los compuestos nitrogenados se realiza al inicio del proceso de compostaje [24, 26]. Los tiempos de compostaje para la suplementación con urea son muy variables y dependen de la escala del proceso, la tecnología de cultivo y el tipo de materia prima. Por ejemplo, Pandey y colaboradores llevaron a cabo un proceso de compostaje durante 60 días usando alrededor de 40 kg de materia prima con suplemento de urea [24] mientras que Bannick y Joergensen compostaron 400 g de paja de trigo durante 23 días con suplemento de urea también [26], todos los ensayos, reportaron un aumento importante en el nitrógeno al final del proceso. En el presente estudio, la utilización de guano avícola y urea como fuentes adicionales de N en el proceso de compostaje de orujo permiten generar un compost de calidad en términos nutricionales, como también de estabilización, características fundamentales para su aplicación en campo.

En cuanto al efecto de adición de inóculo comercial al inicio del proceso de compostaje, en términos de temperatura del proceso, no se observa un efecto en este parámetro de ninguno de los tratamientos. Todos los tratamientos inician una etapa mesófila, alcanzan una etapa termófila y se estabilizan de forma muy similar (Fig. 9).

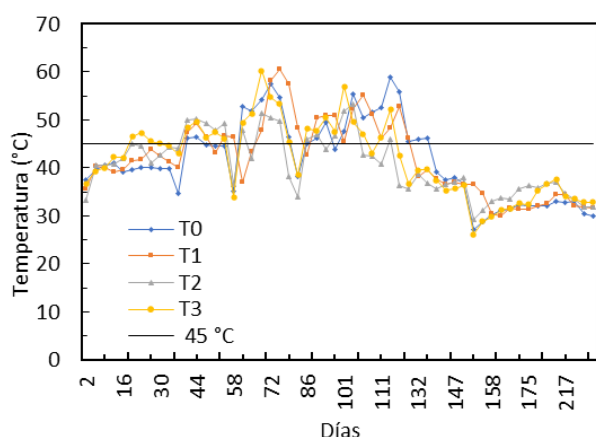


Figura 9. Comportamiento de la temperatura de cada tratamiento a lo largo del proceso de compostaje. Cada punto representa el promedio de triplicados cuya desviación estándar tuvo un rango entre 0 y 3,9.

El aporte nutricional del compost producido es similar entre los diferentes tratamientos. Todos los tratamientos, generan un compost estabilizado con aportes de NPK que exceden los valores establecidos por la norma chilena 2880 (Tabla 7) [15]. Considerando parámetros como NH_4 , NO_3 y su relación como indicadores de estabilización del compost, todos los tratamientos, generan un compost estable obteniendo valores de acuerdo con la norma chilena 2880 [15]. No se observa un efecto en el producto final de la inoculación de microorganismos, el suplemento de cal, ni su interacción. Por lo tanto, la inoculación de microorganismos comerciales, no genera ningún efecto

significativo durante el proceso de compostaje como también en el compost final producido. Sin embargo, todos los tratamientos cumplen los parámetros establecidos por la norma chilena 2880 [15].

Tabla 7. Resultados de los análisis químicos de los tratamientos en su fase final. Evaluación inoculación microorganismos.

Parámetro	T1	T2	T3	T4
Nitrógeno Total (%)	2,2	2,4	2,3	2,3
Relación C/N	22,0	20,6	20,0	20,5
Fosforo Total (%)	1,0	0,9	1,1	1,0
Potasio Total (%)	3,0	3,1	2,9	2,9
Amonio (mg/kg)	403	439	417	411
Nitrato (mg/kg)	243	274	196	292
Relación NH_4/NO_3	1,7	1,6	2,2	1,4

La Figura 10 muestra un análisis canónico de coordenadas principales (CAP) que permite estudiar la interrelación entre las comunidades bacterianas presentes en los distintos tratamientos y la composición química de cada uno de los compost. Respecto a la adición de inóculo y/o cal, no se evidencia un efecto claro respecto a la composición de las comunidades bacterianas presentes. Por otro lado, tampoco se observa una correlación entre la composición química de las muestras y la composición de sus comunidades bacterianas.

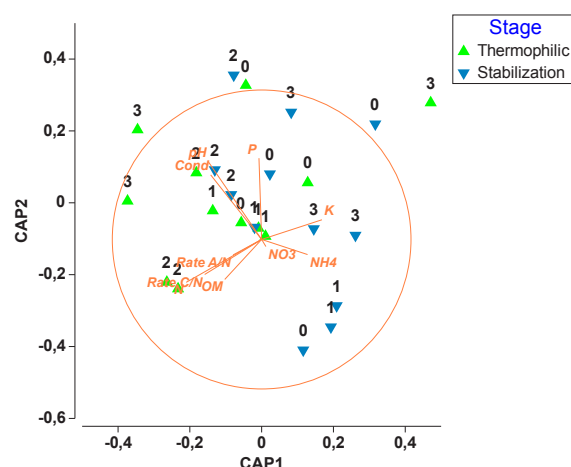


Figura 10. Análisis Canónico de Coordenadas Principales (CAP) que considera los muestreos replicados en la etapa termófila (verde) y mesófila final (azul). Vectores indican correlación de la composición de las comunidades bacterianas con la composición química de los distintos tratamientos.

Respecto a la biodiversidad, se observa en el Escalamiento Multidimensional No Métrico (nMDS) (Fig. 11), que todas las muestras obtienen mejores índices de diversidad en la etapa mesófila final (azul), sin embargo, no existe una diferencia entre los índices de diversidad que se pueda atribuir a los tratamientos. Por lo tanto, la adición de cal agrícola como la adición de inóculo comercial y su interacción, no generan un efecto significativo sobre la composición de las comunidades bacterianas durante las diferentes etapas térmicas evaluadas, como en el producto final.

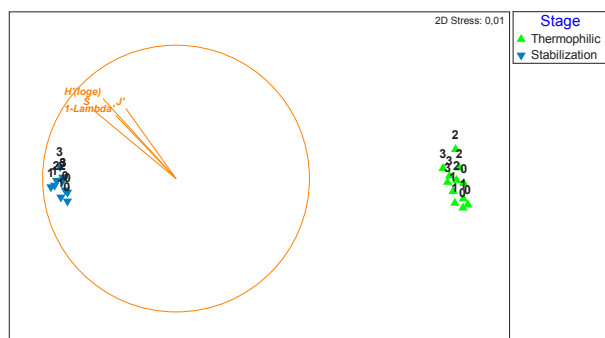


Figura 11. nMDS que muestra la distribución de las muestras tomando solo en consideración la composición de las comunidades microbianas. Los vectores indican correlación con los índices de diversidad: número de especies (S), Índice de diversidad (entropía) de Shannon (H'), Índice de dominancia de Pielou (J) e Índice de dominancia-diversidad de Simpson (1-Lambda).

La Figura 12, muestra un ejemplo de presencia de microorganismos benéficos y patógenos, representados con dos bacterias *Nitrosomonas* (genero bacteriano de fijadores de nitrógeno) y *Escherichia-Shigella* (género de bacterias generalmente patógenas). Se observa que, para todos los tratamientos, no existe un efecto claro respecto al favorecimiento de comunidades bacterianas benéficas ni el control de microorganismos patógenos.

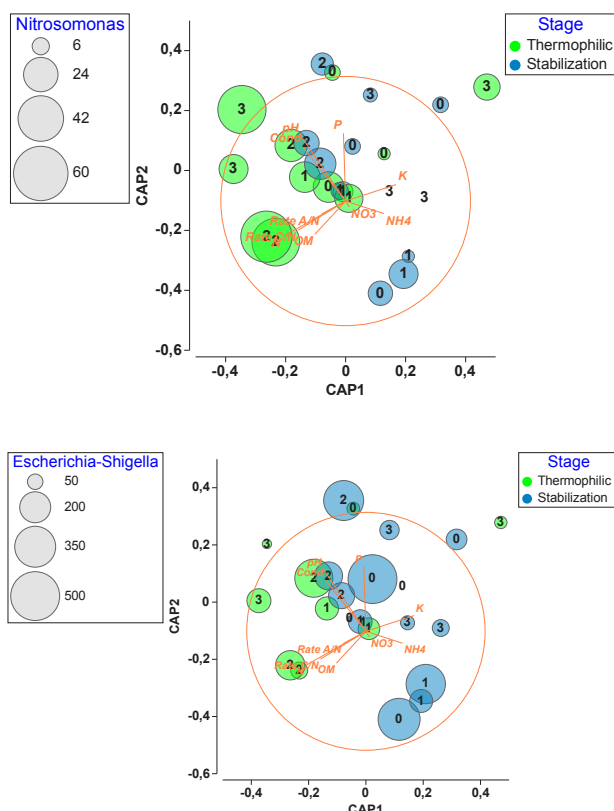


Figura 12. Análisis Canónico de Coordenadas Principales (CAP) que considera los muestreos replicados en la etapa termófila (Verdes) y mesófila final (azules). Se ilustran dos ejemplos de dinámica de microorganismos fijadores de nitrógeno (Género *Nitrosoma*) y otros patógenos potenciales (Familia *Enterobacteriaceae*). El tamaño de los círculos verdes es proporcional a su número relativo.

Existen diferentes tipos de aceleradores o adyuvantes del proceso de compostaje en el mercado, algunos son compuestos químicos que cambian las propiedades físico-químicas del material a compostar, facilitando la actividad microbiana y otros son complejos de microorganismos benéficos para suelos que pueden ser utilizados en el proceso de compostaje [27]. Los complejos o consorcios de microorganismos beneficiosos para los suelos son un conjunto de diferentes tipos de bacterias, hongos y actinomicetes conocidos por su capacidad para promover la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización del fósforo, aumentar la superficie de la raíz y mejorar el crecimiento de las plantas [28]. Entre ellos existe el complejo comercial de organismos beneficiosos para el suelo que ha sido utilizado durante los últimos años en el área vitivinícola como un acelerador del proceso de compostaje de orujo. Sin embargo, en esta investigación no se pudo demostrar un efecto significativo en el proceso de compostaje, ni producto final.

4 Conclusiones

La mayoría de los tratamientos realizados durante esta investigación permiten confirmar que los compost elaborados cumplen con los estándares de calidad (sanitarios y de fertilidad) requeridos por la norma chilena de compost 2880.

El uso de una cubierta permeable ha permitido obtener un compost con características diferenciadoras, tanto nutricionales como en el proceso, reduciendo el uso de agua en un 17%.

Los residuos de tomate y manzana son sustratos factibles para ser compostados generando un producto con buenos índices nutricionales y de estabilidad en 20% menos de tiempo que los sustratos que contienen orujo.

La adición de fuentes nitrogenadas como guano y urea en el proceso de compostaje de orujo permiten generar un producto de calidad en términos nutricionales, pero principalmente de estabilización, características fundamentales para su aplicación en campo.

La inoculación de microorganismos comerciales como aceleradores del proceso de compost, al igual que la estabilización de pH mediante cal agrícola, no genero ningún cambio significativo durante el proceso ni producto fin durante el compostaje.

Referencias

1. Zacharof, M. P. Grape Winery Waste as Feedstock for Bioconversions: Applying the Biorefinery Concept. *Waste and Biomass Valorization* **8**, 1011–1025 (2016)
2. International Organization of Vine and Wine. Statistical report on world vitiviniculture. 2019 Stat. Rep. *World Vitiviniculture* **23** (2019)
3. Gallardo, J. F. *The Soils of Spain*. (Springer, 2016)
4. Espinosa, J., Moreno, J. & Bernal, G. *The soils of Chile*. Springer (2018)
5. Costantini, E. A. C. & Dazzi, C. *The soils of Italy*. (Springer, 2013). doi:10.1007/978-94-007-5642-7

6. Mondini, C. et al. Organic amendment effectively recovers soil functionality in degraded vineyards. *Eur. J. Agron.* **101**, 210–221 (2018)
7. Ruggieri, L. et al. Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *J. Clean. Prod.* **17**, 830–838 (2009)
8. Martínez, A. J. M. Gestión y manejo del sistema vitivinícola mediterráneo. estrategias para la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y adaptación de la viña al cambio climático. 1–254 (2015)
9. Sundberg, C. Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and pH. (Swedish University of Agricultural Sciences, 2005)
10. Van der Wurff, A. W. G., Fuchs, J. G., Raviv, M. & Termorshuizen, A. Handbook for composting and compost use in organic horticulture (2016) doi:10.18174/375218
11. Oliveira, M. & Duarte, E. Integrated approach to winery waste: waste generation and data consolidation. *Front. Environ. Sci. Eng.* **10**, 168–176 (2016)
12. Servicio Agrícola y Ganadero. Informe Final Producción de Vinos 2021 (2021)
13. Bustamante, M. A. et al. Co-composting of distillery and winery wastes with sewage sludge. *Water Sci. Technol.* **56**, 187–192 (2007).
14. D. A. USA, Métodos de prueba para el examen de compostaje y compost **2**, 1–27 (2002)
15. I. N. de Normalización. Norma Chilena de compostaje 2880:2015, INN, 15 (2015)
16. E. Bertran, X. Sort, M. Soliva, I. Trillas, Compostaje de residuos de bodega: Lodos y raspones de uva, *BT* **95**, 203–208 (2004)
17. M. A. Bustamante, C. Paredes, J. Morales, A. M. Mayoral, R. Moral, Estudio del proceso de compostaje de residuos de bodegas y destilerías mediante técnicas multivariantes, *Tec. Bioam* **100**, 4766–4772 (2009)
18. J.M. Lynch. Substrate availability in the production of composts. H.A.J. Hoitink, H.M. Keener (Eds.). “Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects” Renaissance Publications, Columbus, OH (1993), pp. 24-35
19. Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. “Biodegradation of lignin in a compost environment: A review”. *Bioresource Technology* **72** (2000), 169–183
20. Yedro, Florencia M., Juan García-Serna, Danilo A. Cantero, Francisco Sobrón, and M. José Cocero. “Hydrothermal Fractionation of Grape Seeds in Subcritical Water to Produce Oil Extract, Sugars and Lignin.” *Catalysis Today* **257** (2015), pp. 160–168
21. D. Moldes, P.P. Gallego, S. Rodriguez Couto, A. Sanroman. “Grape seeds: the best lignocellulosic waste to produce laccase by solid state cultures of *Trametes hirsute*”. *Biotechnol. Lett.* **25** (2003), pp. 491-495
22. M. Spanghero, A.Z.M. Salem, P.H. Robinson. “Chemical composition, including secondary metabolites, and rumen fermentability of seeds and pulp of Californian (USA) and Italian grape pomaces”. *Anim. Feed Sci. Technol.* **152** (2009), pp. 243-255
23. Marešová K, Kollárová M. Influence of compost covers on the efficiency of biowaste composting process. *Waste Manag.* 2010 Dec **30**(12):2469-74. doi: 10.1016/j.wasman.2010.06.014. PMID: 20643536
24. Pandey AK, Gaind S, Ali A, Nain L. Effect of bioaugmentation and nitrogen supplementation on composting of paddy straw. *Biodegradation.* 2009 Jun **20**(3):293-306. doi: 10.1007/s10532-008-9221-3. Epub 2008 Oct 4. PMID: 18839317
25. S. Gaind. Effect of fungal consortium and animal manure amendments on phosphorus fractions of paddy-straw compost. *Int. Biodeterior. Biodegrad* (2014)
26. C.G. Bannick, R.G. Joergensen Change in N fractions during composting of wheat straw *Biol. Fertil. Soils* **16** (1993), pp. 269-274
27. Bueno, P., Díaz, J. & Cabrera, F. Factores que afectan al proceso de Compostaje. in *Compostaje* (Mundi Prensa Libros SA., 2008)
28. Schoebitz, M. & Vidal, G. Microbial consortium and pig slurry to improve chemical properties of degraded soil and nutrient plant uptake. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* **16**, 226–236 (2016)