

CARACTERIZACIÓN DE ABONOS SÓLIDOS Y LÍQUIDOS DERIVADOS DEL COMPOSTAJE DE ALPERUJO Y RESTOS DE PODA DE OLIVARES

ANA LILIA ALURRALDE^{1*}; SILVIA IMHOFF²; NORBERTO
GARIGLIO²; ADRIAN BARBIER ALBERS³

Recibido: 31/07/2020

Recibido con revisiones: 27/04/2021

Aceptado: 27/04/2021

RESUMEN

El compostaje es la técnica de manejo de los residuos orgánicos más recomendada mundialmente. Estos residuos pueden tener variados orígenes, inclusive pueden ser resultado del procesamiento industrial de productos agrícolas, como es el caso del alperujo, que resulta de la extracción de aceite de las aceitunas. Este residuo, una vez compostado, tiene potencial de generar un abono de buena calidad que puede ser aprovechado como enmienda y/o fertilizante orgánico. Sin embargo, escasa información existe respecto de la calidad que poseen los compost elaborados a base de alperujo con restos de poda de los olivares. El objetivo del presente trabajo fue caracterizar física, química y microbiológicamente el abono obtenido del compostaje de los residuos olivícolas, tanto en forma sólida (AS) como líquida (AL). Además, se analizó la presencia de sustancias fitotóxicas a través del test de germinación con diferentes especies hortícolas. Los ensayos comprendieron cuatro períodos productivos. Los parámetros químicos, físicos y microbiológicos evaluados (carbono orgánico, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo, potasio, cationes solubles, polifenoles, actividad biológica, densidad aparente, densidad de partículas, porosidad) se encuentran del rango considerado adecuado en AS y en el AL. No se detectó efectos fitotóxicos del AL en las especies evaluadas. Los resultados indican que ambos abonos presentan características altamente recomendables para su utilización como enmienda y/o fertilizante orgánico, y que el AL es capaz de promover la germinación en espinaca, perejil, albahaca y alfalfa.

Palabras clave: té de compost, compost de alperujo, propiedades químicas, propiedades físicas, propiedades biológicas.

CHARACTERIZATION OF SOLID AND LIQUID FERTILIZERS DERIVED FROM COMPOSTING ALPERUJO AND OLIVE TREE PRUNING REMAINS

ABSTRACT

Composting is the most recommended organic waste management technique worldwide. These residues can have various origins, they can even be the result of the industrial

¹ Facultad Cs Agrarias. Universidad Nacional de Catamarca

² ICiAgro Litoral. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral

³ Empresa Privada . Frutos del Norte AS

* Autor de contacto: ani2animal@gmail.com



processing of agricultural products, such as alperujo, which results from the extraction of oil from olives. This residue, once composted, has the potential to generate a compost of good quality that can be used as an amendment and / or organic fertilizer. However, little information exists regarding the quality of the compost made from alperujo with pruning remains from olive groves. The objective of the present work was to characterize physically, chemically and microbiologically the compost obtained from the composting of olive residues, both in the solid (AS) and liquid (AL) form. In addition, the presence of phytotoxic substances was analyzed through the germination test with different horticultural species. The trials comprised four productive periods. The chemical, physical and microbiological evaluated parameters (organic carbon, pH, electrical conductivity, nitrogen, phosphorus, potassium, soluble cations, polyphenols, biological activity, bulk density, particle density, porosity) are within the range considered adequate in both AS and AL. Phytotoxic effects of LA were not detected in the evaluated species. The results indicate that both fertilizers present highly recommended characteristics for their use as amendment and / or organic fertilizer, and that AL is capable of promoting germination in spinach, parsley, basil and alfalfa.

Keywords: compost tea, alperujo compost, chemical properties, physical properties, biological properties.

INTRODUCCIÓN

El aceite de oliva tiene excelentes propiedades nutricionales y su consumo está aumentando en todo el mundo. Tanto la producción como la industrialización olivícola generan grandes cantidades de residuos y subproductos que requieren una gestión adecuada para minimizar su impacto ambiental (Ince *et al.*, 2016).

El alperujo es el principal residuo de la extracción de aceite de oliva, luego del centrifugado por el método de dos fases, generando alrededor de 850 kg de alperujo por cada tonelada de aceituna procesada (Gómez *et al.*, 2013; Monetta, 2014). Es un producto semisólido de textura pastosa y fuerte olor (Serramiá Moreno, 2013; Nunes *et al.*, 2019), formado por restos de pulpa, piel, carozo triturado y agua de los tejidos vegetales. Se caracteriza por tener un contenido graso del 3 al 9%, una humedad entre el 55 y 75%, niveles considerables de materia orgánica, potasio y micronutrientes,

bajo contenido de nitrógeno, elevada relación C/N y elevado contenido de lignina, ácidos grasos y sustancias fenólicas (Toscano & Montemurro, 2012).

Para minimizar los riesgos de contaminación por la acumulación de los residuos orgánicos derivados de la industria olivícola, diversas tecnologías se han desarrollado para su aprovechamiento, por ejemplo a través de la generación de biocombustibles y energía eléctrica, para la obtención de carbón activado, polifenoles naturales, enzimas y aceite que pueden ser utilizados en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria (Nunes *et al.*, 2019).

Por otro lado, en el sector agrícola y, en especial, en zonas áridas y semiáridas con suelos caracterizados por su alta fragilidad en términos de estructura y bajos niveles de materia orgánica, estos residuos una vez compostados podrían ser utilizados como enmienda de suelos y fertilizante orgánico para los cultivos (Cruz Hernández, 2009; Rojas *et al.*; 2013), con gran poder de absor-



ción de pesticidas (Yu *et al.*, 2011) y bajo costo.

En Argentina, Catamarca es la tercera provincia olivícola del país, después de Mendoza y La Rioja, con más de 19000 has plantadas con olivos. Entre el 80 y 90 % de la producción de aceitunas se destina a la elaboración de aceite, lo que genera un enorme volumen de residuos orgánicos que podrían ser destinados a la elaboración de compost.

El compostaje es un proceso que consiste en transformar material orgánico crudo en un producto con valor agrícola. Es un proceso bio-oxidativo controlado que involucra un sustrato orgánico heterogéneo y comprende una etapa mesófila, una termófila y una etapa de maduración. La etapa termófila reduce la población de patógenos y de semillas de malezas, mientras que la de maduración favorece la degradación de sustancias fitotóxicas, lo que hace del compost un producto estable, inocuo e inodoro, aunque sus características dependen, entre otros factores, de los materiales que se utilizan en su elaboración (Mazzarino *et al.*, 2012). Para que el compostaje del alperujo sea más eficiente se puede incorporar restos de poda (hojas y ramas trituradas) a modo de agente estructurante y como fuente de nitrógeno, favoreciendo así la oxigenación de la pila y el logro de una relación C/N adecuada. El compost sólido que se genera es un producto inocuo, inodoro y poroso, con niveles reducidos de grasas, sustancias fenólicas y metales pesados, que constituye una fuente importante de carbono, nutrientes

y microorganismos. Por otra parte, a partir de compost maduro de alperujo se puede producir un subproducto líquido, también llamado "té de compost". Éste es un extracto líquido que contiene microorganismos beneficiosos y nutrientes. El té de compost ha sido utilizado para sustituir el uso de fertilizantes químicos, funguicidas, herbicidas y plaguicidas, ya que permite el restablecimiento de la microflora favorable del suelo (Dearborn, 2011).

En general, la principal limitación en la producción y uso de los compost se deriva de la gran diversidad existente, dado que sus características dependen tanto del material de origen como del proceso que se haya realizado hasta su maduración lo que, en última instancia, condiciona su calidad. Comúnmente se acepta que la calidad del compost depende, primeramente, del cumplimiento de criterios ambientales precautorios, entre los que se encuentran límites de tipo y número de patógenos, semillas viables de malezas, estabilidad de la materia orgánica y ausencia de sustancias fitotóxicas, que es un indicador de su madurez (Mazzarino *et al.*, 2012). Para descartar posibles efectos fitotóxicos por el uso de abonos orgánicos se realizan bioensayos de germinación de semillas, debido a su elevada sensibilidad, sencillez, rapidez y reproducibilidad (García de la Fuente, 2011). Una vez cumplidos los criterios ambientales precautorios, la calidad del compost es determinada por su valor agronómico como enmienda o fertilizante (Mazzarino *et al.*, 2012). Según estos autores, aunque los



parámetros que pueden emplearse como indicadores de estabilidad y madurez son numerosos, con sólo 3 o 4 sería suficiente para caracterizarlo (e.g. carbono soluble, amonio, nitratos, índice de germinación), pero es necesario establecer experimentalmente los valores límites. Por otro lado, los parámetros de calidad agronómica deberían establecerse en función del uso específico, por lo que pueden variar en función de la regulación ambiental de cada nación.

En Argentina, en enero del 2019, la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria publicaron en el Boletín Nacional las llamadas "Normas para la producción, registro y aplicación de compost" en la Resolución Conjunta 1/2019, RESFC-2019-1-APN-SECCYMA#SGP (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2019).

A pesar de la existencia de la reglamentación, existe escasa información sobre la calidad de los abonos derivados de la industria olivícola, en especial del té generado a partir del compostaje de alperujo con restos de poda de los olivares. Teniendo en cuenta la escasez de información, que Catamarca es una provincia con fuerte desarrollo de la olivicultura y que la producción de frutos es variable debido al fenómeno de vecería del cultivo, lo que puede afectar la calidad de los frutos y como consecuencia la calidad del compost, se considera necesario determinar la calidad de los abonos derivados de la industria

olivícola. El objetivo del presente trabajo fue establecer la calidad de los abonos obtenidos del proceso de compostaje del alperujo con restos de poda de olivares, tanto en su forma sólida (abono sólido, AS) como líquida (abono líquido, AL). Para esto se procedió a caracterizar física, química y microbiológicamente dichos abonos y a evaluar la presencia de compuestos fitotóxicos a través de diferentes test de germinación. Con este trabajo se pretende contribuir con información que permita establecer el potencial de uso de los abonos derivados de la industria olivícola como enmienda y/o fertilizante.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en la finca de olivos orgánicos "Frutos del Norte SA" situada en el Dpto. Pomán, Provincia de Catamarca, a 160 km de la ciudad Capital (28°16'5,96"S; 66°15'30,82"O; altitud: 889 msnm) de donde se obtuvieron los sub-productos denominados abono sólido (AS) y abono líquido (AL) derivados del compostaje del alperujo, residuo de la propia molienda. Los ensayos se desarrollaron durante los años 2014 a 2018.

Previo al compostaje, se examinó el alperujo analizando parámetros químicos y la presencia de elementos pesados como mercurio, arsénico y plomo.

Para la obtención del abono sólido (AS) se distribuyó el residuo (alperujo + restos de poda de olivares) al nivel del piso formando pilas de aproximadamente 1 m de altura y 2 m de base (**Fig. 1**) Luego se incorporó el



inoculante comercial Solbio BC a razón de 25 g m⁻³ con el objetivo de acelerar el proceso de compostaje. El inoculante contiene 2,1 10⁹ UFC g⁻¹ de bacterias facultativas, tales como *Bacillus amyloliquefasciens*, *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformi*, además de vitaminas, aminoácidos, proteínas vegetales y animales, entre otros compuestos. Durante

el compostaje, el material fue regado de modo de mantener la humedad entre el 40% y el 60%, removiendo periódicamente a fin de homogeneizar y oxigenar las pilas. Se controló la temperatura, humedad y aireación en las distintas etapas del compostaje, para asegurar las condiciones óptimas en cada etapa de dicho proceso.



Figura 1. Alperujo (izquierda) y pila de compost (derecha) en la finca ‘Frutos del Norte SA’, localidad de Pomán, provincia de Catamarca.

Figure 1. Alperujo (left) and compost pile (right) at the ‘Frutos del Norte SA’ farm, Pomán town, Catamarca province.

La duración del proceso de compostaje varió entre 80 a 90 días según la temperatura ambiente de los diferentes años de estudio. La etapa inicial o ‘mesófila’ duró 30 días con temperaturas hasta los 40°C, continuó la etapa ‘termófila’, con temperaturas entre 60 y 65°C durante 45 días aproximadamente y, finalmente, la ‘segunda etapa mesófila’ o de ‘enfriamiento’, con una duración aproximada de 5 días, caracterizada por la disminución progresiva de la temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente, dando por finalizado el proceso de compostaje.

El abono líquido (AL) se obtuvo sumergiendo el compost maduro (AS) en

cilindros con mallas (filtros) dentro de una tolva con agua, lo que comercialmente se denomina biorreactor de compost (**Fig. 2**). La proporción fue de 162 cm³ para obtener 1000 litros de AL. El fundamento de este proceso es que por agitación/oxigenación durante 3 a 5 horas continuas a temperatura ambiente, se produce la liberación de sustancias orgánicas y nutrientes minerales solubles en agua (Cruz Hernández, 2009; Roman *et al.*, 2013). Este AL se aplica inmediatamente en la plantación, ya sea por vía foliar o al suelo por el sistema de riego.





Figura 2. Biorreactor de compost para la obtención de abono líquido a partir del compost de alperujo. Frutos del Norte SA., Pomán, Catamarca. Vista completa (izquierda); tolva, cilindros con compost sólido sumergido en agua en agitación (derecha).

Figure 2. Compost bioreactor to obtain liquid fertilizer from the alperujo compost. Frutos del Norte SA., Pomán, Catamarca. Full view (left); hopper, cylinders with solid compost submerged in stirring water (right).

Toma de muestras

Cada año, luego de la extracción del aceite y previo al compostaje, se tomaron muestras de alperujo por triplicado para evaluar potencial hidrógeno (pH) determinado en suspensión en agua 1:5 v/v, conductividad eléctrica del extracto relación 1:5 v/v (CE, dS m^{-1}), carbono oxidable total (COT, porcentaje) determinado por calcinación a 550°C , nitrógeno total (NT, porcentaje) obtenido por digestión húmeda y micrométodo de Kjeldahl, fósforo (P, porcentaje) determinado por digestión con ácido nítrico y perclórico y luego por espectrofotometría, potasio (K^+ , porcentaje) determinado por digestión con ácido nítrico y perclórico y posteriormente por fotometría de emisión. Además, se determinó mercurio, arsénico y plomo.

De las pilas de compostaje terminado se extrajeron, de distintos puntos, muestras de AS, conformando tres muestras compuestas, en las cuales se efectuaron los siguientes análisis: densidad aparente (D_a , en g cm^{-3}), densidad real (D_r , g cm^{-3}), espacio poroso total (EPt, en porcentaje) obtenido por el método de De Boodt, humedad (H, porcentaje) obtenido por secado en estufa a 105°C hasta peso constante, potencial hidrógeno (pH) determinado en suspensión en agua 1:5 v/v, carbono oxidable total (COT, porcentaje) determinado por calcinación a 550°C , nitrógeno total (NT, porcentaje) obtenido por digestión húmeda y micrométodo de Kjeldahl, fósforo (P, porcentaje) determinado por digestión con ácido nítrico y perclórico y luego por espectrofotometría, potasio (K^+ , porcentaje) determinado por di-

gestión con ácido nítrico y perclórico y posteriormente por fotometría de emisión, cationes solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , meq l^{-1}) determinados del filtrado de la solución 1:5 v/v, conductividad eléctrica del extracto relación 1:5 v/v (CE, dS m^{-1}), relación de absorción de sodio (RAS) (RILSAV, 2014) y polifenoles totales (PFT, μg ácido cafeico g^{-1}) determinados por espectrometría (Vázquez *et al.*, 1975).

De las tolvas con AL se extrajeron tres muestras compuestas en las que se efectuaron los siguientes análisis: potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$), potasio por fotometría de emisión (K^+ , meq l^{-1}), sodio soluble (Na^+ , meq l^{-1}) por fotometría de emisión, calcio soluble por volumetría valorado con EDTA (Ca^{+2} , meq l^{-1}), magnesio soluble por volumetría valorado con EDTA (Mg^{+2} , meq l^{-1}), cloruro por el método de Mohor (Cl^- , meq l^{-1}), sulfato por el método cromato de bario (SO_4^{-2} , meq l^{-1}), carbonato y bicarbonato por titulación con ácido sulfúrico (CO_3^{-2} , HCO_3^- , meq l^{-1}). A partir de los datos se calculó la relación de absorción de sodio (RAS), carbonato de sodio residual (CSR), total de sólidos disueltos (TSD) y dureza (RILSAV, 2014). Se determinó también polifenoles totales (PFT, μg ácido cafeico ml^{-1}) por espectrometría (Vázquez *et al.*, 1975). Submuestras de AS y AL fueron enviadas al laboratorio de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNCa, donde se realizó el análisis de actividad biológica total por hidrólisis del diacetato de fluoresceína (Schnürer & Roswall, 1982).

Pruebas de calidad de los abonos -Test de germinación

El test de germinación contempló la determinación de la energía y el poder germinativo de semillas de diferentes especies hortícolas con la intención de verificar la susceptibilidad al efecto del abono líquido (AL).

Se trabajó con semillas de las siguientes especies: alfalfa (*Medicago sativa* L.), perejil (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss), albahaca (*Ocimum basilicum* L.), espinaca (*Spinacea oleracea* L.) y lechuga (*Lactuca sativa* L.).

Las pruebas se realizaron según las normas ISTA (2014). Se plantearon dos tratamientos: T0: tratamiento control con agua destilada esterilizada y T1: con AL. Las semillas se distribuyeron de a 100 unidades por cada caja de Petri, sobre papel tissue estéril que se humedeció con agua destilada estéril o con AL puro de acuerdo al tratamiento siguiendo el protocolo específico para cada especie (ISTA, 2014).

Análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con seis repeticiones para cada año de ensayo. Los resultados se sometieron a análisis de varianza, evaluando las diferencias entre medias mediante el test de Tukey con un nivel de significancia del 5% ($\alpha \leq 0,05$). Para ello se utilizó el programa InfoStat, versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018).



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de los alperujos

La caracterización química de los alperujos, materia prima de AS y AL (**Tabla 1**), revela un producto de pH cercano a la neutralidad, con moderada salinidad, rico en carbono orgánico, nitrógeno y potasio, y una relación C/N elevada.

Comparando las características del alperujo de Frutos del Norte S.A. (Catamarca) con los valores típicos (**Tabla 1**) se puede notar que los parámetros evaluados están dentro de los rangos considerados normales en España (Roing *et al.*, 2006)

Tabla 1. Parámetros químicos del alperujo obtenidos en la finca Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca, y valores típicos (Roig *et al.*, 2006). Datos promedios de cuatro años ± el error standard. **Table 1.** Chemical parameters of alperujo obtained in the Frutos del Norte S.A. farm, Pomán, Catamarca, and typical values (Roig *et al.*, 2006). Four-year average data ± standard error.

	pH	CE (dS m ⁻¹)	CO (%)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	C/N
Alperujo Frutos del Norte	6,8 ± 0,36	1,89 ± 1,11	43,7 ± 0,99	1,19 ± 0,06	0,10 ± 0,33	1,36 ± 0,39	36,7 ± 1,89
Alperujo Rangos Típicos	4,9- 6,8	1,2- 5,2	34,0- 57,0	0,90- 1,85	0,03- 0,15	0,60- 2,90	29,3- 59,7

CE, conductividad eléctrica; CO, carbono orgánico; C/N, relación carbono/nitrógeno.

El alperujo al estar constituido por materia vegetal no fermentada no debería contener metales pesados (Toscano & Montemurro, 2012). El análisis del alperujo indicó ausencia de mercurio y las concentraciones halladas de plomo (0,19 ppm) y arsénico (0,35 ppm) fueron despreciables en relación a los valores de referencia (840 y 75 ppm, respectivamente) contemplados en la reglamentación de metales pesados en biosólidos (Mazzarino *et al.*, 2012).

Caracterización del abono sólido (AS)

En general, las características físico-químicas de cualquier material ya compostado dependen de varios factores como el material originario, la variedad, el momento de cosecha, las condiciones climáticas, de las características propias del proceso de compostaje y de los componentes agregados denominados comúnmente agentes estructurantes, como hojas frescas, restos de poda, estiércoles, entre otros (Akrato *et al.*, 2017).

En este estudio los valores de pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, fósforo y potasio del AS se encuentran muy próximos



a los valores medios de otros compost de alperujo analizados en el Valle Central de Catamarca (de Bustos *et al.*, 2018), en España (Cruz Hernández, 2009), Italia y Grecia (Roig *et al.*, 2006; Sultana *et al.*, 2015) (**Tabla 2**).

Las propiedades del AS evaluadas durante las cuatro temporadas (**Tabla 3**) confirman su buena aptitud desde el punto de vista físico, químico y biológico, a pesar de la variabilidad observada. Esta variabilidad ya fue advertida por otros autores (Cruz Hernandez, 2009; Mazzarino *et al.*, 2012; Roman *et al.*, 2013), incluso partiendo de una misma fuente de materia prima.

La CE y los cationes solubles sodio y potasio presentaron en general diferencias estadísticamente significativas, lo que se atribuye a los riegos realizados a las pilas de compost, que facilitaron el lavado y lixiviación de los minerales solubles (Abid & Sayadi, 2006). Esto permitió alcanzar valores más deseables de concentración de sales, que originaron valores de conductividad eléctrica menor a 2 dS m⁻¹ en los últimos dos años (**Tabla 3**).

TABLA 2. Resultados del análisis químico del compost de alperujo sólido (AS) obtenidos en la Finca Frutos del Norte S.A. (promedio de 4 años) y valores obtenidos en experiencias previas en el Valle Central de Catamarca, España y rangos típicos.

TABLE 2. Results of the chemical analysis of the alperujo compost (AS) obtained in the Frutos del Norte S.A. farm (average values of 4 years) and values obtained in previous experiences in the Central Valley of Catamarca, Spain and typical ranges.

Compost de alperujo (AS)				
Característica	Frutos del Norte			Rangos típicos
	España	Catamarca	SA	
pH	8,6	9,7	9,2 ± 0,8	6,8 - 9,5
CE (dS m ⁻¹)	2,6	5,4	2,2 ± 1,09	0,9 - 4,8
CO (%)	36,4	46,0	45,81 ± 6,5	44,0 - 60,0
Nitrógeno (%)	2,70	1,83	3,08 ± 1,18	0,70 - 4,10
Fosforo (%)	1,09	0,42	0,44 ± 0,16	0,03 - 0,22
Potasio (%)	2,75	3,61	1,70 ± 0,51	0,18 - 3,00
Sodio (%)	-	-	0,18 ± 0,18	0,05 - 4,10
C/N	13,5	25,2	16,4 ± 4,5	10,0 - 17,0

CE, conductividad eléctrica; CO, carbono orgánico; C/N, relación carbono nitrógeno. España (Cruz Hernández, 2009); Valle Central de Catamarca (de Bustos *et al.*, 2018); rangos típicos (Roig *et al.*, 2006; Sultana *et al.*, 2015).



TABLA 3. Propiedades físico-químicas del compost de alperujo (AS) en los cuatro años de estudio. Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca.

TABLE 3. Physico-chemical properties of alperujo compost (AS) in the four years of study. Frutos del Norte S.A. Pomán, Catamarca.

Característica	Compost de alperujo (AS)			
	2015	2016	2017	2018
pH	9,6 a	9,7 a	9,7 a	8,0 b
C.E. (dS m ⁻¹)	3,66 a	2,17 b	1,74 b	1,09 b
Humedad (%)	21,4 a	21,4 a	13,0 b	13,3 b
CO (%)	38,96 c	54,57 a	48,47 b	41,23 c
MO (%)	67,17 c	94,08 a	83,56 b	71,08 c
Ceniza (%)	32,83 a	5,93 c	16,44 b	28,92 a
Nitrógeno (%)	1,90 c	3,41 b	4,66 a	2,37 bc
Fosforo (%)	0,53 a	0,61 a	0,38 a	0,26 a
Potasio (%)	1,88 a	1,73 a	2,19 a	0,99 b
Sodio (%)	0,20 ab	0,19 ab	0,23 a	0,10 b
Ca+Mg sol. (meq l ⁻¹)	7,58 a	7,58 a	7,58 a	5,40 a
Sodio sol. (meq l ⁻¹)	5,01 ab	7,01 a	5,69 ab	3,33 b
Potasio sol. (meq l ⁻¹)	43,21 a	51,43 a	35,46 ab	10,31 b
RAS	2,6 a	3,6 a	2,9 a	2,0 a
C/N	20,5 a	16,0 ab	10,5 b	17,9 a
D. ap. (g cm ⁻³)	0,49 b	0,49 b	0,68 a	0,44 c
D. real (g cm ⁻³)	1,39 a	1,41 a	1,38 a	1,43 a
Porosidad (%)	64,47 a	65,25 a	50,49 b	69,45 a
Act. Biológica	Muy Alta > 1	Muy Alta >1	Muy Alta >1	Muy Alta > 1
PFT (µg ac.cafeico g ⁻¹ muestra seca)	914,34 a	998,39 a	1163,05 a	1077,72 a

Letras distintas en la fila indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de Tukey ($\alpha=0,05$).

CE, conductividad eléctrica; CO, carbono orgánico; MO, materia orgánica; RAS, relación de absorción de sodio; Da, densidad aparente; Dr, densidad real; PFT, polifenoles totales.

En el mismo sentido, el riego realizado para el lixiviado de sales probablemente provocó la variación en el pH del compost, que osciló entre 9,7 y 8. Teniendo en cuenta la calidad del agua, la cual, es moderadamente alcalina (7,9 - 8,4) y semidura, con contenidos entre 140 a 210 ppm de carbonatos de calcio con predominio

de formación de sales neutras (carbonato/bicarbonato de calcio) y el aumento progresivo de los caudales de agua utilizados de año a año, explicaría que el compost fue disminuyendo el valor de pH con el incremento de agua para lixiviado. Sin dejar de destacar como efecto principal la propia variación en la composición y



evolución del compost de cada año evaluado.

La humedad del compost también presentó variaciones en los cuatro años estudiados, lo que se explica porque este parámetro es afectado por las condiciones climáticas y las condiciones de almacenamiento. Sin embargo, esas variaciones no fueron relevantes en el sentido agronómico ya que en todos los casos la humedad fue inferior al 40% (García de la Fuente, 2011), lo que facilita el movimiento y aplicación del AS en el campo.

El contenido de fósforo no presentó diferencias estadísticamente significativas en los distintos años de elaboración del compost, mientras que el potasio sufrió una importante disminución en el año 2018 respecto de los años anteriores.

El alperujo contiene elevada concentración de potasio debido a que es el nutriente más absorbido por el olivo y el más abundante en la aceituna (Fernandez-Hernandez *et al.*, 2014). En el año 2017 se obtuvo el máximo rendimiento de frutos (6.791 kg ha⁻¹) mientras que en el año 2018 se obtuvo el rendimiento más bajo (50 kg ha⁻¹) de los últimos 10 años (datos brindados por la empresa Frutos del Norte SA). Asociado a ese bajo rendimiento, probablemente se produjo una alteración en la calidad de los frutos, además de que se redujo la proporción de alperujo en el compost en relación a la proporción hojas y restos de poda. Esto, sumado al efecto del lavado mencionado anteriormente, podría

explicar la disminución de potasio en el compost en el año 2018.

Los valores de carbono orgánico, nitrógeno y la relación C/N presentaron diferencias estadísticamente significativas. El contenido de CO en todos los años fue elevado, con valores entre 39 y 55%, mientras que el contenido más elevado de N (4,66%) se encontró en el año 2017, año de menor producción de frutos. La relación C/N se mantuvo entre 10 y 20, valores muy próximos a los considerados como ideales (10 a 20). Algunos autores (Bernai *et al.*, 1998; Akratos *et al.*, 2017) consideran una relación C/N = 12 como un indicador de buena estabilidad de los compost mientras que la ley española indica valores menores a 15 como adecuados para compost de origen vegetal (Mazzarino *et al.*, 2012). Por lo tanto, este indicador sugiere que el compost alcanzó una adecuada estabilidad durante los 4 años evaluados.

Durante el compostaje de alperujo ocurren procesos de humificación de los compuestos que poseen elevado contenido de lignina y fenoles. Dichos procesos generan un compost con un alto grado de madurez y estabilidad de las fracciones de ácidos húmicos y fúlvicos. Sin embargo, la concentración final de CO y N no sólo depende de esos procesos, sino también de la proporción y calidad de los agentes estructurantes que se incorporan al sistema (Serramiá Moreno, 2013). Por lo tanto, para evitar variaciones en la composición del compost (especialmente en el contenido de CO), como las observadas en este trabajo,



todos los años se debería mantener una proporción adecuada de alperujo, hojas y restos de poda.

En cuanto a la densidad y la porosidad del compost, no hay registro sobre valores promedios o rangos ideales para abonos similares al estudiado. Si bien el análisis estadístico determinó diferencias significativas entre los distintos años de elaboración, en todos los casos los valores de densidad fueron menores a $0,68 \text{ g cm}^{-3}$ y la porosidad total fue superior al 50% (Zeytin & Baran, 2003), lo que contribuye a mejorar captación y almacenamiento de agua y nutrientes y, al mismo tiempo, a un drenaje adecuado. Las diferencias entre años se atribuyen a la variación en la proporción de material estructurante incorporado (restos de poda y hojas frescas) respecto al alperujo. En general la mayor porosidad coincide con la mayor proporción de hojas y restos de poda consecuencia de los años de menor rendimiento de fruta debido al fenómeno de la vecería propia del cultivo del olivo como se expuso en párrafos anteriores. La bibliografía señala que los sustratos elaborados a partir de compost de origen vegetal deberían tener una densidad aparente menor a $0,4 \text{ g cm}^{-3}$ y una porosidad total próxima a 80% para lograr una adecuada relación aire: agua (Bárbaro *et al.*, 2014). Estas propiedades dependen de los componentes utilizados que le confieren al compost diversidad en el tamaño de las partículas, captación y retención del agua, entre otras propiedades (Bárbaro *et al.*, 2019). Los resultados de este trabajo indican que el compost de

alperujo posee calidad intermedia para ser utilizado como componente único de un sustrato, pero podría participar como uno de los componentes en sustratos que se elaboran a partir de mezclas de materiales. Por otro lado, su densidad es baja en relación a la de suelos de textura media-gruesa como los que predominan en Catamarca. En estos casos el agregado de compost de alperujo contribuirá a reducir la densidad aparente y el contenido de materia orgánica, mejorando la retención de nutrientes y agua del suelo.

La actividad biológica del AS resultó muy alta. En general, a lo largo del proceso de compostaje existe una gran y variada actividad metabólica, la que fue probablemente potenciada por la incorporación del inoculante para acelerar la etapa termófila. Se debe tener presente que dicha actividad depende de la materia prima (Allahyari *et al.*, 2015) y suele ser lenta en el compostaje de alperujo si no se agrega inoculante (García de la Fuente, 2011).

Los análisis indicaron que el AS contiene sustancias que en exceso pueden resultar fitotóxicas, principalmente polifenoles (PFT) (Altieri *et al.*, 2008) que por su naturaleza polar e hidrofílica quedan en la fase acuosa (Serramiá Moreno, 2013). Las cantidades encontradas (**Tabla 3**) se consideran reducidas, dado que fueron más bajas que los límites establecidos por la Reglamentación de la provincia de Catamarca (Res. 65/05 Ministerio Obras y Servicios Públicos). Esta Reglamentación fija el valor $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ como máximo para el vertido de líquidos



residuales a conductos pluviales abiertos o en cursos de aguas superficiales y para el reúso para riego o vuelco en predio interno (Gómez *et al.*, 2013).

El análisis conjunto de la información indica que el AS generado a partir del compostaje de alperujo con restos de poda presenta una calidad adecuada, a pesar de ser variable entre años, que posibilita su uso como enmienda y/o fertilizante. Por lo tanto, el compostaje del alperujo y restos de poda de los olivares puede constituir una forma adecuada de reducir los costos de producción de los productores y de disminuir los volúmenes de residuos que genera la industria olivícola, atenuando así el impacto ambiental que su acumulación genera.

Caracterización del abono líquido (AL)

El análisis de los parámetros medidos en los diferentes años de elaboración del té de compost (AL) (**Tabla 4**) mostró la existencia de diferencias significativas entre años, lo que se atribuye a la variabilidad del AS, materia prima del AL, y también a la variabilidad propia del proceso de elaboración, como ser la calidad del agua utilizada, la temperatura ambiente, el tiempo de agitación, entre otros factores (St Martin & Ramsubhag, 2015).

Debido a la ausencia de parámetros específicos de comparación se tomaron como criterios de evaluación de la calidad del AL los estándares utilizados para la evaluación del agua para riego (García, 2012), dado que su principal uso sería la

aplicación mediante ferti-riego y/o aspersión foliar.

El análisis del AL muestra que los parámetros evaluados se encuentran dentro de los rangos que clasifican el agua como apta para riego, clase “moderadamente salina, baja peligrosidad sódica (C2S1) y de pH muy levemente a fuertemente alcalino (7,4 – 8,8)”. Las concentraciones medidas de aniones se consideran aceptables, por lo que no existen riesgos de toxicidad, y el contenido de carbonato de sodio residual indica que no existen riesgos potenciales de sodicidad. La dureza, expresada en ppm de CaCO_3 , clasifica a las muestras como “blandas”.

La actividad biológica resultó muy alta en todos los años evaluados, en coincidencia con lo verificado por otros autores que estudiaron té de compost obtenido de otros materiales. Dichos trabajos señalan que, como resultado del agregado de té de compost, la población y la biodiversidad del suelo se incrementa debido a que el té es fuente de hongos, bacterias y protozoos benéficos, además de proveer materia orgánica y nutrientes (Albuquerque *et al.*, 2011). El contenido de PFT fue bajo, por lo tanto no existe riesgo de fitotoxicidad ($< 0,88 \mu\text{g ml}^{-1}$ de ácido cafeico).

Numerosos estudios que presentan información sobre las diferentes formas de preparar un AL (con agitación o anaerobios), proporciones, dosis y frecuencias de aplicaciones, pero enfocan su análisis en los beneficios sanitarios del AL en los cultivos (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2012; Allhyari *et*



al., 2015). Sin embargo, existe escasa información sobre las características de los AL especialmente sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ingham, 2005), más aún de AL similar al estudiado. Por lo

tanto, los datos aquí presentados constituyen un aporte para futuras comparaciones.

TABLA 4. Análisis químico del abono líquido o té de compost (AL) obtenido a partir del compost de alperujo durante cuatro años en la Finca Frutos del Norte S.A., Pomán, Catamarca.

TABLE 4. Chemical analysis of the liquid fertilizer or compost tea (AL) obtained from the alperujo compost for four years in the Frutos del Norte S.A. farm, Pomán, Catamarca.

Característica	Té de compost (AL)			
	2015	2016	2017	2018
pH	7,8 b	8,8 a	8,0 b	7,4 c
C E $\mu\text{S/cm. a } 25^\circ\text{C}$	595,00 b	482,67d	1049,00 a	540,67 c
RAS	2,2 b	2,1 b	2,5 a	1,8 c
Calcio (meq l ⁻¹)	2,20 c	2,37ab	2,50 a	2,23 bc
Magnesio (meq l ⁻¹)	0,55 b	0,87a	0,11d	0,20 c
Sodio (meq l ⁻¹)	2,47 c	2,65 b	2,85 a	2,03d
Potasio (meq l ⁻¹)	1,71 c	1,55 d	4,41 a	2,93b
Carbonatos (meq l ⁻¹)	0 b	0,40 a	0 b	0 b
Bicarbonatos (meq l ⁻¹)	4,77b	3,63 d	5,22 a	4,48c
Sulfatos (meq l ⁻¹)	1,57 c	3,68 a	3,50 a	2,50 b
Cloruros (meq l ⁻¹)	0,75 b	0,38 c	1,29a	1,33 a
TDS (mg l ⁻¹)	380,80 b	308,91 d	671,36a	346,03 c
Dureza (Ca CO ₃ ppm)	137,86 b	162,80 a	132,33 c	125,33 d
	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta
Act. Biológica	>1 a	> 1a	>1 a	> 1 a
PFT ($\mu\text{g ac.cafeico. ml}^{-1}$)	0,67 b	0,74 ab	0,87 a	0,80 ab

Letras distintas en fila indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al tes de Tukey ($\alpha=0,05$). C.E, Conductividad eléctrica; RAS, Relación de absorción de sodio; TDS, total de sólidos disueltos; PFT, polifenoles totales.

Evaluación de fitotoxicidad

Los ensayos de energía y poder germinativo mostraron diferencias significativas respecto al control. El AL promovió la germinación de semillas de espinaca, perejil y albahaca y redujo la germinación de lechuga, probablemente

debido a la sensibilidad a la salinidad de esta especie. Por otro lado, no hubo diferencias en el porcentaje de germinación de alfalfa respecto de los valores obtenidos con el testigo (Tabla 5).



Tabla 5. Efecto del abono líquido (AL), obtenido por agitación en medio acuoso del compost de alperujo, sobre la energía y poder germinativo de diferentes especies (ISTA, 2014).
Table 5. Effect of liquid manure (LA), obtained by stirring the alperujo compost in an aqueous medium, on the energy and germination power of different species (ISTA, 2014).

Especies	Energía Germinativa (%)		Poder Germinativo (%)	
	Testigo	AL	Testigo	AL
Espinaca (<i>Spinacea oleracea</i> L.)	75,7 a	90,0 b	80,3 a	95,3 b
Perejil (<i>Petroselinum crisoum</i> Mill. Fuss)	61,7 a	78,0 b	63,7 a	81,7 b
Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i> L.)	50,0 a	70,3 b	73,3 a	91,0 b
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	87,7 a	90,3 b	97,7 a	91,7 a
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.)	40,0 a	60,3 b	93,7 a	94,0 b

Letras distintas en la fila indican diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al test de Tukey ($\alpha=0,05$).

Los resultados de los ensayos coinciden con los encontrados por otros autores. Mascareño Varas *et al.* 2016) verificó que la germinación de espinaca (*Spinacia oleracea* L.), sobre un sustrato de suelo franco arenoso, aumentó en un 15% con el agregado de té de compost de alperujo en relación al testigo. Ingham (2005) por su parte, señala que a pesar de las diferentes fuentes del abono y las distintas formas de producir el té, éstos resultan uniformes respecto a la actividad y biomasa microbiana, demostrando los beneficios de la aplicación del té de compost maduro, versus el manejo tradicional con fertilizantes sintéticos y herbicidas en el rendimiento de esparrago (*Asparagus officinalis*) y papa (*Solanum tuberosum*), obteniendo mayor tamaño de los tubérculos. El autor también encontró, en diferentes ensayos con rábano (*Raphanus sativus*) en maceta, mayor rendimiento cuando se utilizó el té de compost. Además, observó que disminuyó la

compactación del suelo y aumentó la durabilidad de césped luego de dos años de aplicación de té de compost en campos de golf. En el caso de viñedos, con aplicaciones foliares de té de compost se logró anticipar la madurez de la uva.

En general, el AS y el AL mostraron variabilidad entre años, pero sin presentar parámetros desfavorables para su utilización agronómica. La variabilidad es una característica propia de los compost por ser un producto de origen natural. Mazzarino *et al.* (2012) indicaron que no es posible establecer un rango de calidad universal para los compost debido a la variabilidad que presentan pero, aun así, su utilización constituye un beneficio para productores y el ambiente. Otros autores también indican que la aplicación de estos compuestos orgánicos compostados son una práctica recomendada desde el punto de vista agrícola y ambiental al reducir la contaminación que producen si no son procesados, para recuperar suelos



degradados y suministrar nutrientes para las plantas (Miglierina & Laurent, 2008; S^t Martin & Ramsubhag, 2015). Los resultados de este estudio indican que el compostaje del alperujo con restos de poda de los olivares genera un AS y AL que puede ser utilizado como enmienda y/o fertilizante, contribuyendo con esto a la economía circular de los productores olivareros y a disminuir el impacto ambiental que los residuos de la industria olivícola generan.

CONCLUSIONES

Los parámetros analizados de los AS y AL durante cuatro años indican que poseen valores adecuados desde el punto de vista químico, físico y microbiológico. El contenido de carbono orgánico, nutrientes y actividad biológica, los ensayos de energía y poder germinativo de semillas de diferentes especies y la ausencia de elementos tóxicos demuestran características altamente recomendables para mejorar la fertilidad del suelo, y con el ello, generar condiciones más propicias para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Su utilización se considera una práctica promisoriosa para evitar la acumulación de los desechos de la industria olivarera y contribuir a resolver/mitigar los problemas asociados con suelos empobrecidos o prácticas agrícolas no sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

Abid, N & S Sayadi. 2006. Detrimental effect of olive mill wastewater on the composting process of

- agricultural wastes. *Waste Management* 26:1099-1107.
- Akratos, CS; AG Tekerlekopoulou; IA Vasiliadou & DV Vayenas. 2017. Composición de residuos de almazara para la producción de enmiendas del suelo. *Residuos del molino de oliva* 161-182.
- Albuquerque, JA; C de la Fuente & MP Bernal. 2011. Improvement of soil quality after "alperujo" compost application to two contaminated soils characterised by differing heavy metal solubility. *Journal of Environmental Management* 92:733-741.
- Allahyari, H; AG Ahmad; SB Ravizi & A Sattari. 2015. The process of production compost tea and its usage in agriculture: a review. *IJFAS Journal* 4(2):171-176.
- Altieri, R; A Esposito; C Chaves; E Ferr & MR Albiach. 2008. Composting olive mill pomace and other residues from rural southeastern Spain. *Waste Management* 28(12):2585-2592.
- Barbaro, L; S Imhoff & DE Morisigue. 2014. Evaluación de sustratos formulados con corteza de pino, pinocha y turba subtropical. *Ciencia Suelo* 32(2): 149-158, 2014.
- Barbaro, L; M Karlanian, P Rizzo & N Riera. 2019. Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean J. Agric. Anim. Sci.* 35(2):126-136.
- Bernai, MP; C Paredes; MA Sanchez-Monedero & J Cegarra. 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology*. 63:91-99. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00084-9). Fecha último acceso: marzo 2018.
- Cruz Hernández, J. 2009. Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia España. Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos, departamento de producción vegetal.
- de Bustos, ME; AL Alurralde & A Hamman. 2018. Experiencias de uso del alperujo como abono en la Provincia de Catamarca. Ediciones INTA. 16p.
- Dearborn, Y. 2011. Compost tea. Literature review on production, application and plant disease mana-



- gement. San Francisco Department of Environment. Toxic Reduction Program: IPM Task Order 3-18. Enviro Survey, Inc. 82 Mary Street San Francisco, CA. https://sfenvironment.org/sites/default/files/editor-uploads/toxics/pdf/sfe_th_compost_tea_review_6.17.11_final.pdf. Fecha último acceso: junio 2019.
- Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2018. InfoStat, versión 2018, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fernández-Hernández, A; A Roig; N Serramiá; C García-Ortiz Civantos & MA Sánchez-Monedero. 2014. Application of compost of two-phase olive mill waste on olive grove: Effects on soil, olive fruit and olive oil quality, *Waste Management* 34:1139-1147.
- García, A. 2012. Criterios modernos para evaluación de la calidad de agua de riego. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*.6:27-36.
- García de la Fuente, R. 2011. Tesis: Caracterización y uso de compost de alperujo como enmienda orgánica. Evaluación agronómica y medio ambiental. Editorial Universitat Politècnica de Valencia.465p.
- Gómez, PE; F Segovia; ME Lorenzo; MO Bravo; RI Herrera; PD Ribotta & MS Cañas. 2013. Características físico-químicas del agua de vegetación proveniente de la molienda de arbequina para la obtención de aceite. *Revista del Cizas* 14(1-2):49-63.
- Ince, O; EG Ozbayram; C Akyol; O Ince & , YB Ince. 2016. Composting practice for sustainable waste management: a case study in Istanbul. *Desalination and water treatment*. 57(31):14473-14477. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2015.1067170>. Fecha último acceso: abril 2021.
- Ingham, ER. 2005. *The Compost Tea Brewing*. Fifth Edition. Suelo Foodweb Incorporated. Covallis, Oregon 97333. 79 p.
- ISTA (International Seed Testing Association). 2014. International rules for seed testing 2014. International Seed Testing Association Zurich, Switzerland 5-24.
- Mascareño Varas, ML; PE Gómez; AL Alurralde & F Segovia. 2016. Efecto de efluentes de la agroindustria olivícola sobre germinación y emergencia de espinaca (*Spinacea oleracea* L).I Simposio de uso de Residuos Agrícolas y Agroindustriales del NOA y Cuyo en Argentina. Archivo Digital: descarga y online: ISBN 978-987-521-715-7. Fecha último acceso: marzo 2018.
- Mazzarino, MJ; P Satti & L Roselli. 2012. Indicadores de calidad, madurez y calidad de compost. En: Mazzarino, MJ & P Satti (ed.). *Compostaje en la Argentina: Experiencias de producción, calidad y uso*. 1edn. Pp.13-26. Buenos Aires.349 pp.
- Miglierina, A & G Laurent. 2008. Obtención y aplicación de compost: efecto sobre el cultivo y el suelo. En: JA Galantini (Ed.). *Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de la Argentina*. Pp. 293-302.Ed. UNS- Bahía Blanca. 308 pp.
- Monetta, P. 2014. Situación de los residuos olivícolas en la provincia de San Juan. Experiencia piloto de co-compostaje de Alperujo con residuos agroindustriales local. Estación Experimental Agropecuaria del INTA San Juan. Curso y seminario "Aprovechamiento agrícola de residuos de la industria olivícola" San Juan 11 y 12 de marzo de 2014. Exposición. <https://www.academia.edu/signup>. Fecha último acceso: abril 2018.
- Nunes, A.M; S Pawlowski; ASG Costa; RC Alves; MBP, Oliveira & S Velizarov. 2019. Valorization of olive pomace by a green integrated approach applying sustainable extraction and membrane-assisted concentration. *Science of the Total Environment*. 652:40-47.
- Pant, AP; TJK Radovich; N Hue & RE Paull. 2012. Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Scientia Horticulturae* 148:138-146.
- RILSAV (Red de Laboratorios de Suelo, Agua y Vegetal). 2014. PNSUELO-1134034- Desarrollo e implementación de métodos analíticos, instrumentales y de gestión de la calidad en la red de laboratorios de suelo, agua y vegetal. INTA.
- Roig, A; ML Cayuela & MA Sánchez-Monedero. 2006. An overview on olive mill wastes and their valo-



- risation methods. *Waste Management* 26 (9):960-969.
- Rojas, R; J Morillo; J Usero; L Delgado-Moreno & J Gan. 2013. Enhancing soil sorption capacity of an agricultural soil by addition of three different organic wastes. *Science of the Total Environment* 458:614–623.
- Roman, P; M Martínez & A Pantoja. 2013. Manual de compostaje del agricultor Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. FAO. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. Fecha último acceso: marzo 2017.
- Schnürer, J & T Roswall. 1982. Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology* 43:1256-1261.
- Serramiá Moreno, N. 2013. Evaluación de los gases de efecto invernadero en el compostaje de alperujo y de la inmovilización de carbono en su aplicación al suelo. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Departamento de química agrícola, geología y edafología. Consejo Superior de investigaciones científicas. <http://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/37811/1/Copia%20digital%20sin%20art%C3%ADculos.pdf>. Fecha último acceso: marzo 2020.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. 2019. Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Resolución Conjunta 1/2019. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resolución-1-2019-318692>. Fecha último acceso: abril 2021.
- St. Martin, CCG & A Ramsubhag. 2015. Potential of Compost for Suppressing Plant Diseases. Departamento de Ciencias de la Vida, Universidad de las Indias Occidentales, San Agustín, República de Trinidad y Tobago. CAB, Editores 18:345-388. https://www.researchgate.net/publication/284159941_Potential_of_Compost_for_Suppressing_Plant_Diseases. Fecha último acceso: marzo 2018.
- Sultana, M; AKMMB Chowdhury; MK Michailides; CS Akratos; AG Tekerlekopoulou & DV Vayenas. 2015. Integrated Cr (VI) removal using constructed wetlands and composting. *J. Hazard. Mater.* 28:106-113.
- Toscano, P & F Montemurro. 2012. Olive Mill By-Products Management, Olive Germplasm - The Olive Cultivation, Table Olive and Olive Oil Industry in Italy, Innocenzo Muzzalupo. 9: 173-199, Intech. <https://www.intechopen.com/books/olive-germplasm-the-olive-cultivation-table-olive-and-olive-oil-industry-in-italy/olive-mill-by-products-management>. Fecha último acceso: marzo 2016.
- Vázquez, A; C Janer del Valle & M Janer del Valle. 1975. Polifenoles naturales y estabilidad del aceite de oliva. *Grasas y Aceites* 26: 14-18.
- Yu, XY; CL Mu; C Gu; C Liu & XJ Liu . 2011. Impact of wood chip biochar amendment on the sorption and dissipation of pesticide acetamiprid in agricultural soils. *Chemosphere* 85 (8):1284-1289.
- Zeytin, S & A Baran. 2003. Influences of composted hazelnut husk on some physical properties of soils. *Bioresource Technology* 88: 241-244.

