



SOCIEDAD
& ECONOMÍA

N° 52

Mayo - ago 2024

Créditos fotografía: <https://cutt.ly/HeoLnyb0>

Uso de compost en áreas forestales y de bioagricultura: un análisis para países europeos

*Use of Compost in Forestry and Bioagriculture Areas:
An Analysis for European Countries*

David Andrés Camargo Mayorga¹

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

✉ david.camargo@unimilitar.edu.co

ID <https://orcid.org/0000-0002-5290-8251>

Juan Manuel González Guzmán²

Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

✉ juan.gonzalez@unimilitar.edu.co

ID <https://orcid.org/0000-0001-9892-9165>

Pedro Jiménez Morales³

Universidad Militar Nueva Granada, Cajicá, Colombia

✉ pedro.jimenez@unimilitar.edu.co

ID <https://orcid.org/0000-0003-1032-292X>

Recibido: 04-12-2023

Aceptado: 08-04-2024

Publicado: 21-06-2024

1 Magíster en Economía.

2 Magíster en Economía.

3 Doctor en Filosofía.

Resumen

La economía circular propende por la minimización de los residuos y la reducción del impacto ambiental basada en desviar el patrón lineal de producción, asumiendo el uso circular de materiales y productos, en el que se enmarca el uso del compost como biofertilizante para la agricultura. Bajo dicho entendido, el objetivo de este artículo es determinar el aporte del compost a las áreas destinadas para la bioagricultura y para la siembra de especies forestales. Los datos agregados son para 22 países europeos y se usó para los análisis el modelo de panel de datos. Los resultados muestran que el aporte del compost es apenas marginal para la bioagricultura y que en el caso de las especies forestales no existe una relación concluyente de su aporte.

Palabras clave: compost; residuos; especies forestales; bioagricultura; panel de datos.

Clasificación JEL: Q19; Q23; Q59.

Abstract

The circular economy aims to minimize waste and reduce environmental impact by deviating from the linear production pattern. It assumes the circular use of materials and products, among which is the use of compost as a biofertilizer in agriculture. With this understanding, the objective of this article is to determine the contribution of compost to areas designated for bioagriculture and the planting of forest species. The aggregated data for 22 European countries were analyzed using the panel data model. The results indicate that the contribution of compost is only marginal for bioagriculture, and for forest species, there is no conclusive evidence of its contribution.

Keywords: compost; residues; forest species; bioagriculture; panel data.

JEL Classification: Q19; Q23; Q59.

Financiación

Artículo de investigación derivado del proyecto INV-ING-2621 "Evaluación del proceso de germinación y desarrollo de especies utilizadas para reforestación con humus proveniente de biosólidos de la PTAR UMNG Cajicá" financiado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada en la vigencia 2018. Se agradece a Octavio Cardona García por su colaboración en la definición de la metodología.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés en la publicación de este artículo.



Este trabajo está bajo la licencia **Atribución-No-Comercial 4.0 Internacional**

¿Cómo citar este artículo?

Camargo Mayorga, D. A., González Guzmán, J. M. y Jiménez Morales, P. (2024). Uso de compost en áreas forestales y de bioagricultura: un análisis para países europeos. *Sociedad y Economía*, (52), e10613415. <https://doi.org/10.25100/sye.v0i52.13415>

1. Introducción

La presión de los seres humanos sobre el planeta por la extracción, uso y disposición de los recursos requeridos para la producción y el consumo ha hecho que se piense la economía más allá del patrón lineal (Merli *et al.*, 2020), por lo que la economía circular (EC) emerge como una solución plausible para la sostenibilidad (Velenturf y Purnell, 2021).

El concepto de EC es diverso y no está circunscrito a una definición en particular (Alnajem *et al.*, 2021). Este tuvo su origen como sinónimo de los términos reutilización, reducción y reciclaje (Pearce y Turner, 1990), pero posteriormente se relacionó con los negocios y las políticas gubernamentales y empresariales. En palabras de Murray *et al.* (2017), se puede definir la EC como “un modelo económico en el que la planificación, los recursos, la adquisición, la producción y el re-procesamiento se diseñan y gestionan, como proceso y resultado, para maximizar el funcionamiento del ecosistema y el bienestar humano” (p. 337).

En general, las definiciones apuntan a que la EC está enfocada en reducir la contaminación, hacer sostenible el crecimiento económico e impedir que los recursos escaseen (Winans *et al.*, 2017). En este sentido, el re-procesamiento de recursos es un aspecto clave dentro de la EC (Alonso-Muñoz *et al.*, 2022; Bakan *et al.*, 2022), por tanto, el compost aparece como una alternativa en tal sentido para reutilizar residuos de la industria, la agricultura y los hogares (Camargo *et al.*, 2018; 2020).

El compost es el resultado del proceso de compostaje, en el cual se hace la estabilización y saneamiento de residuos orgánicos que se descomponen de forma aeróbica en ambientes controlados (Martínez-Blanco *et al.*, 2013). Este se usa básicamente para fertilización, restauración de suelos y captura de carbono (Pergola *et al.*, 2018).

El compost es beneficioso para la agricultura porque contribuye al aumento de la materia orgánica del suelo y su mineralización, al tiempo que mejora la fauna, la biomasa microbia-

na y alienta la acción enzimática. Asimismo, contribuye a la mejora de la resistencia de las plantas a plagas y enfermedades, sobre todo en la agricultura de tipo orgánico (Erhart y Hartl, 2010).

En agricultura, la EC puede definirse como un conjunto de prácticas para reusar recursos en la cadena de valor agrícola, asegurando la regeneración y el mantenimiento de la biodiversidad de las áreas cultivadas y de los ecosistemas alrededor (Velasco-Muñoz *et al.*, 2021).

Su aplicación es diversa –bionergía, biomateriales y alimentos– (Camia *et al.*, 2018) y, como lo indican Hueso-González *et al.* (2018), el uso de los biorresiduos provenientes de la agricultura es de utilidad para la recuperación de ecosistemas degradados mediante la reforestación.

En tal sentido, se ha evidenciado que la agricultura circular es regenerativa, al mantener y mejorar los servicios ecosistémicos (Morseletto, 2020). Pese a los potenciales beneficios que tiene la EC, deben superarse diversas barreras para su implementación en las áreas agrícolas.

Dentro de estas se encuentran las restricciones regulatorias, la dispersión geográfica de las empresas en las áreas rurales, el desarrollo y difusión de las tecnologías de la EC, los incentivos e inversiones inciertos para proyectos de EC (Borrello *et al.*, 2016), y la innovación en el modelo de negocio para ofrecerle a los clientes una propuesta de valor en el contexto de la circularidad (Suchek *et al.*, 2021).

En aras de contribuir a las aportaciones que tiene la EC, específicamente en Europa, en donde ha habido un buen desempeño en este tema (Claudio-Quiroga y Poza, 2024), este artículo se centra en determinar el aporte del compost a las áreas destinadas para la bioagricultura y para la siembra de especies forestales.

Se analiza el efecto del compost, porque de acuerdo con Razza *et al.* (2018) la EC tiene un vínculo con la gestión de los residuos, la

producción y uso del compost, y la producción sostenible de alimentos. Asimismo, se usó esta variable explicativa y no otras como la turba, porque estaba disponible en la base de datos Passport GMID para países del continente europeo, en donde se convierten anualmente en compost cerca del 25% de los biorresiduos (Razza *et al.*, 2018), y el 18% de los residuos urbanos (Comisión Europea, 2022).

De este modo, se usaron los datos agregados para 22 países europeos en el periodo 2011 a 2016, que fueron analizados por medio de seis modelos usando panel de datos. Esta metodología se soporta debido a las ventajas que representa en términos de heterogeneidad (Rudinskaya, 2017), pero también porque permite disminuir los efectos de la multicolinealidad entre las variables (Mala, 2011).

La hipótesis de partida de este artículo es que la producción de compost ha contribuido a la producción agrícola y a la recuperación de bosques en los países de la muestra, en concordancia con lo que se esperaría que aporte la EC a la agricultura.

2. Economía circular

La EC está soportada en unos principios que surgieron desde antes de las discusiones sobre el desarrollo sostenible (Velenturf y Purnell, 2021), y que se dieron en el marco de la gestión de los recursos que se remonta a la “*Tableau Economique*” planteada por los fisiócratas (Reike *et al.*, 2018).

En la actualidad, la EC está relacionada directamente con los objetivos de desarrollo sostenible y se centra en reciclar, reutilizar, renovar y remanufacturar tanto productos como materiales (Husgafvel *et al.*, 2022). Bajo este marco, la EMF (2023) plantea tres principios de la EC, así: i) eliminar los residuos y la contaminación, ii) circular productos y materiales, y iii) regenerar la naturaleza.

El primero de estos principios se enfoca en la identificación y supresión de las externalidades negativas que se crean por la generación de residuos y la contaminación. La agricultura

contamina el suelo por los fertilizantes, herbicidas y pesticidas que aplica (Anani *et al.*, 2021), y aunque muchos países tienen legislación para regular el uso de estos, se ha promovido que los químicos se reemplacen por productos orgánicos provenientes de las mismas actividades agrícolas, como por ejemplo ocurre con la utilización de sistemas biológicos para controlar plagas (Campos-Mora *et al.*, 2023).

Además, como los recursos hídricos se ven afectados por esta producción (Militino *et al.*, 2008; Chojnacka *et al.*, 2020), reutilizar el agua (incluida la de las lluvias) para regar los cultivos y mantener los servicios ecosistémicos se entiende como circularidad (López-Felices *et al.*, 2023).

En este sentido, el segundo de los principios establece que los materiales y productos se reutilicen, lo que modifica la cadena de suministro y reduce los costos de las empresas (Hegedús y Longauer, 2023; Nava-Aguirre *et al.*, 2023). En los hogares implica la gestión de los biorresiduos provenientes de cocinas y jardines por medio del compostaje (Sulewski *et al.*, 2021). Por tanto, la tecnología extiende la vida útil de los materiales antes de su eliminación definitiva, como ocurre en la producción de energía a partir de la biomasa (Mola-Yudego *et al.*, 2017; Bos y Broeze, 2020; Godvin Sharmila *et al.*, 2024), o con la recuperación del suelo y el uso de biofertilizantes (Liu y Poobathy, 2021).

Por su parte, el tercer principio se refiere a la preservación y mejora de los ecosistemas naturales, lo cual se ve aplicado en la agricultura regenerativa, que es una serie de prácticas enfocadas a mantener la salud y fertilidad del suelo, mejorando la resiliencia ecológica, pues se entierra carbono a través de la fotosíntesis y los procesos biológicos (White, 2020). Los métodos de cultivo regenerativos pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a reducir el cambio climático a costos bajos (Brown *et al.*, 2022).

La regeneración depende de prácticas que están soportadas en la cultura de las comunida-

des que la aplican (Loring, 2022). Dentro de las posibilidades que tiene la regeneración están, por ejemplo, el desarrollo de envases biodegradables (Panou y Karabagias, 2023), o la captura de carbono mediante cultivos y el uso del compost para las plantaciones (Farina *et al.*, 2018).

3. Revisión de antecedentes

Las investigaciones previas sobre EC han tenido un crecimiento y se han concentrado en tres temas principalmente: sostenibilidad, innovación y gestión de los residuos (Alnajem *et al.*, 2021). Dentro de la gestión está la tecnología del compostaje para el aprovechamiento de los biorresiduos, la cual se ha utilizado de forma masiva en países desarrollados, pero no tanto así en naciones en desarrollo, lo que les ha permitido a los primeros tener datos agregados sobre el tema (Oviedo-Ocaña *et al.*, 2017).

El compost como biofertilizante, mejora potencialmente la fertilidad de la tierra siendo un nutriente, y como material orgánico sirve para mantener las propiedades del suelo, aunque funcione diferente en distintos tipos de este (Oviedo-Ocaña *et al.*, 2017).

En general, el compost se ha utilizado en cultivos, jardinería y para recuperar suelos erosionados y contaminados, es decir para usos agroambientales (Saha *et al.*, 2010; Daza-Torres *et al.*, 2015). En los suelos, por ejemplo los afectados por incendios forestales, la aplicación de compost ha demostrado mejorar la filtración y retención del agua (Cellier *et al.*, 2012), y en la siembra de plantas mejora el diámetro y la talla de estas (Varela y Martínez, 2013).

De ahí que, dentro de las investigaciones que analizan la producción agrícola usando fertilizantes diversos (incluido el compost) está la de Mundlak *et al.* (2012), quienes construyeron un modelo de producción usando un panel de datos. Este mostró que las nuevas técnicas agrícolas, siendo intensivas en capital y fertilizantes, ahorran mano de obra, por lo que la productividad marginal del sector depende del

capital, los fertilizantes y la desviación de la mano de obra a otros sectores.

Con la metodología de panel de datos, la literatura muestra que también se han abordado temas de eficiencia en la producción agrícola, un ejemplo de este tipo de investigaciones es la de Pechrová (2014), en donde se utilizó además un modelo de regresión logística para medir la eficiencia de las granjas checas en su transición hacia la producción orgánica. Se halló que la eficiencia no es un determinante de esta conversión, pero sí lo son el número de trabajadores (menos de diez), la edad del agricultor (mayor a cuarenta años) y los subsidios. En este caso, los resultados no dependieron de la disponibilidad o uso de fertilizantes como el compost.

Por su parte, la investigación de Mazzanti *et al.* (2009) analizó las razones de la heterogeneidad geográfica en la gestión de los residuos usando un panel de siete años (1999 a 2005) para las 103 provincias italianas, y encontró que los vertederos se han ubicado cerca de los incineradores, lo que hace que la gestión de los residuos no sea la misma en todas las provincias de Italia. De otro lado, estiman que la cantidad de residuos no depende de los impuestos sobre los vertederos, pero sí del reciclaje y los esquemas tarifarios. En este caso la gestión de los residuos sí depende de acciones propias de la EC.

4. Materiales y métodos

Antes de definir los detalles metodológicos es conveniente hacer una descripción de las variables y el origen de los datos. Las observaciones fueron obtenidas de Passport GMID, el Banco Mundial y de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO), y corresponden a 22 países de Europa durante los años 2011 a 2016.

Dentro de las variables dependientes se utilizaron el porcentaje de áreas para bioagricultura (BIO_AGR) y el área forestal (FOR) como porcentaje del total de tierra del respectivo país (FOR). Por su parte, en las variables independientes se tienen la producción de compost en

miles de toneladas (COMP) y la producción de vegetales (PV) como una agregación de algunos cereales y legumbres, lo que incluye coliflores, brócoli, maíz, tomates, cebollas y otros vegetales frescos sin cocer y sin procesar.

También se incluye una variable de control correspondiente al gasto público del gobierno general (EP_EX), es decir, incluyendo gobierno central y regional, en actividades de protección ambiental. Las medias, unidades de medida y fuentes de información de cada variable se presentan en la Tabla 1.

Como se puede observar en la Tabla 1, todas las variables están comprendidas en el rango de tiempo de 2011 a 2016, con excepción de la variable de área forestal, cuyos datos no están disponibles para todos los países. Al revisar los datos, se visualiza que el promedio de producción de compostaje en el conjunto de países seleccionados ha ido incrementando año a año, mientras que las áreas forestales en contraste se mantuvieron constantes durante el mismo periodo de tiempo.

Por otro lado, la bio-agricultura sigue siendo incipiente, pero también sufrió cambios relativos importantes durante los seis años del análisis. Mientras tanto, la producción de vegetales agregada mostró cambios en su promedio,

tanto positivos como negativos en el periodo de referencia.

En cuanto al análisis, se plantean seis modelos basados en la metodología de datos panel con efectos fijos, los cuales se clasifican en dos grupos. Primero, se presentan los que usan la variable BIO_AGR como dependiente y, segundo, los que explican la variable área forestal FOR. Con cada uno de los modelos se busca probar la hipótesis de que la producción de compost ha contribuido a la producción agrícola y a la recuperación de bosques en los países de la muestra.

Aunque los modelos se analizan separadamente, se supone que hay una relación inversa entre el uso de tierra destinada al cultivo y las zonas forestales, por lo tanto, las medidas ambientalmente responsables sobre el uso de la tierra también figuran en el contexto de la recuperación de zonas verdes, un caso así es descrito en Pichon *et al.* (2001).

Es de aclarar que el panel de datos permite comparaciones espaciales y temporales (Hsiao, 2003). En el caso de este documento se usan ambos recursos para explicar el efecto del compost sobre cada una de las variables dependientes, entendiendo primero que los efectos sobre las áreas dedicadas a la bioagri-

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las variables

Año\Media	Producción de compost	Área forestal	Bioagricultura	Producción de vegetales	Gasto en protección ambiental
2011	1.597,41	31,56	5,90	2.166,78	665.477,50
2012	1.652,82	31,66	5,50	2.180,02	648.902,90
2013	1.709,09	31,74	6,23	2.152,58	654.803,90
2014	1.739,18	31,81	6,49	2.123,02	621.198,50
2015	1.817,82	31,89	6,43	2.140,39	631.474,30
2016	1.838,96		7,13	2.184,74	652.548,60
Unidades	Miles de toneladas (En la regresión se usan millones de toneladas)	Porcentaje del total de tierra	Porcentaje del total cultivado	Miles de toneladas (En la regresión se usan millones de toneladas)	Miles de millones de dólares del 2010
Fuentes	Passport GMID	Banco Mundial	FAO	Passport GMID	FAO

Fuente: elaboración propia.

cultura son de tipo espacial, mientras que la recuperación de áreas forestales maneja efectos temporales.

Ahora bien, teniendo como referencia lo mencionado, a continuación, se hace una descripción de cada uno de los modelos diferenciados solo por la variable que pretenden explicar:

4.1 Modelo 1

Este modelo es el más básico para ambas variables dependientes y es tan solo la versión bivariada en la que se busca encontrar si la relación entre la producción de compost y la producción agrícola es significativa.

$$BIO_AGR = \beta_0 + \beta_1 COMP_{it} + \varepsilon_{it} \quad [1]$$

4.2 Modelo 2

En este modelo se integra otra variable relacionada con la producción bioagrícola, que es la producción de vegetales en general. Se esperaría que la relación entre ambas variables sea negativa, dado que una mayor intensidad en la producción mediante métodos tradicionales estaría inversamente relacionada con la producción mediante métodos alternativos considerados en la bioagricultura. Además de la nueva variable, también se integra una interacción entre la producción de compost y la producción de vegetales, pues se asume que el compost se usa en diferentes sectores de la industria.

$$BIO_AGR = \beta_0 + \beta_1 COMP_{it} + \beta_2 PV_{it} + \beta_3 COMP_{it} * PV_{it} + \varepsilon_{it} \quad [2]$$

4.3 Modelo 3

En este modelo se integran todas las variables mencionadas, más una variable de control correspondiente al gasto gubernamental en protección ambiental. Dada la heterogeneidad que existe entre los diferentes países en términos de su economía, es necesario diferenciar cada uno de ellos por su producción total. Cabe acotar que esta es la única variable que se transforma mediante logaritmo natural para que permita comparaciones entre países, las demás variables son utilizadas en niveles.

$$BIO_AGR = \beta_0 + \beta_1 COMP_{it} + \beta_2 PV_{it} + \beta_3 COMP_{it} * PV_{it} + \beta_4 \ln(EP_EX) + \varepsilon_{it} \quad [3]$$

4.4 Modelo 4

Este modelo busca el mismo objetivo que el modelo 1, pero aplicado al caso de la reforestación, por lo tanto, es solo un análisis bivariado.

$$FOR = \alpha_0 + \alpha_1 COMP_{it} + \varepsilon_{it} \quad [4]$$

4.5 Modelo 5

Al igual que en los modelos anteriores, la producción de vegetales se utiliza aquí para aproximar el desplazamiento de áreas forestales por áreas de cultivo. A diferencia del modelo 2, la interacción entre las variables deja de ser relevante, pues no agrega información al modelo sobre la regeneración de áreas forestales. Por otro lado, también es necesario incluir la variable de control para contrarrestar diferencias entre países.

$$FOR = \alpha_0 + \alpha_1 COMP_{it} + \alpha_2 PV_{it} + \alpha_3 \ln(EP_EX) + \varepsilon_{it} \quad [5]$$

4.6 Modelo 6

El último modelo, además de incluir las variables definidas en el modelo 5, incluye los efectos temporales, pues a diferencia de las áreas cultivadas, la recuperación forestal requiere de mucho más tiempo para ser exitosa. Es necesario aclarar que en este punto no se espera que la producción anual de compostaje sea significativa para periodos anteriores, pero sí es necesario contrastar la producción de vegetales y la variable de control.

$$FOR = \alpha_0 + \alpha_1 COMP_{it} + \alpha_2 PV_{it} + \alpha_3 \ln(EP_EX) + D_{it} \sum_{t=1}^4 T + \varepsilon_{it} \quad [6]$$

El uso de cada una de las variables, aunque no puede ser justificado en una teoría previa, sí se basa en las características de estas. El área cultivada sin químicos, por ejemplo, corresponde a la normativa que se maneja en Europa (Regulación 834/2007), que hace énfasis en el uso de insumos no sintéticos para la producción de alimentos.

En el mismo sentido, se supone que la producción de vegetales (PV) tiene una relación inversa con la producción orgánica y con la reforestación, además, sus efectos son heterogéneos entre cada uno de los países, lo que permite realizar comparaciones válidas utilizando la regresión por efectos fijos.

Por último, el uso de la producción de compost en el contexto de los modelos planteados puede ser vista como el uso de fertilizantes y su efecto sobre la productividad.

5. Resultados

Los resultados de las estimaciones para el porcentaje de áreas destinadas para la bioagricultura y porcentaje de áreas forestales se presentan en la Tabla 2 y Tabla 3, respectivamente.

Como se puede apreciar en la Tabla 2, la variable producción de compost es explicativa para cada uno de los tres modelos. En el caso bivariado y cuando se incluye la producción de vegetales, el coeficiente es significativo al 1% y, según la estimación, un incremento promedio de un millón de toneladas de compost contribuye al incremento de 1,99% y 1,8% de las áreas de cultivo dedicadas a la bioagricultura.

Ahora bien, aunque estos resultados son estadísticamente significativos, siguen siendo

Tabla 2. Estimación por datos panel variable dependiente: porcentaje de áreas para la bioagricultura

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
COMP	1,996 (3,16)**	1,800 (2,84)**	5,417 (3,30)**
PV		-3,057 (1,85)	-1,842 (1,08)
COMP*PV			-1,028 (2,39)*
Ln(EP_EX)			-0,028 (0,20)
Constante	2,836 (2,58)*	9,771 (2,50)*	6,717 (1,49)
N	132	132	132

Nota: * p<0,05; ** p<0,01; pruebas t en paréntesis.

Fuente: elaboración propia.

una pequeña fracción de la explicación total. Por lo tanto, el modelo 3, que es más completo que los dos anteriores, no solo contrasta los efectos individuales, sino que además controla por nivel de gasto e incluye la interacción entre las dos variables independientes. En este modelo persisten los resultados de los dos modelos anteriores, en donde se encuentra una relación positiva y significativa de la producción de compost con las áreas de bioagricultura, pero, además, la variable de producción de vegetales, aunque cumple el signo esperado, no es significativa en este modelo ni en el modelo 2.

En el mismo sentido, la interacción entre las variables COMP y PV, que pretende explicar el uso de compost no solo para las plantaciones orgánicas sino para los otros tipos de plantación, sí es significativo y con signo negativo. Este resultado sugiere que la canti-

Tabla 3. Estimación por datos panel variable dependiente: porcentaje de áreas forestales

	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
COMP	0,259 (2,58)*	0,194 (1,92)	-0,026 (0,29)
PV		-0,825 (2,62)*	-0,543 (2,00)*
Ln(EP_EX)		-0,007 (0,34)	-0,009 (0,54)
2012			0,110 (2,31)*
2013			0,171 (3,56)**
2014			0,233 (4,70)**
2015			0,320 (6,29)**
Cons- tante	31,289 (181,46)**	33,263 (41,69)**	32,891 (48,58)**
N	110	110	110

Nota: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; pruebas t en paréntesis.

Fuente: elaboración propia.

dad de compost utilizada para plantar tradicionalmente otro tipo de cultivos desplaza su uso en tierras que pueden ser destinadas a la bioagricultura.

Es necesario aclarar que la producción de compost no implica que las áreas destinadas a biocultivos aumenten, más bien indica que un aumento en la producción de compost es aprovechado por las nuevas áreas de cultivo que se van generando, pues en últimas, el uso de fertilizantes naturales es uno de los objetivos de estas técnicas de cultivo.

Análogamente, la Tabla 3 presenta los modelos para el caso de las áreas reforestadas. En este sentido, se esperaría que el compost contribuya positivamente a la generación de nuevas áreas forestales en los países estudiados. El modelo 4 indica que la relación entre las dos variables es significativa y positiva, pero su impacto es apenas visible, pues un millón de toneladas, más de compost, apenas aumentó el área forestal en un 0,26% aproximadamente.

Aunado a lo anterior, los modelos 5 y 6 muestran que el compost ya no es significativo para la recuperación forestal. Los resultados indican entonces que este tipo de fertilizante es utilizado para otro tipo de actividades, no necesariamente destinadas a la regeneración.

Comparativamente hablando, la producción de vegetales sí cumplió un rol significativo en el área forestal relativa, disminuyendo el porcentaje de bosques y usando el espacio para la producción de alimentos. Un punto importante para añadir es el efecto temporal que tiene el modelo 6 sobre la regeneración de áreas forestales, pues en cada uno de los años para los que se disponen datos, las actividades realizadas en periodos anteriores afectaron el resultado final. En otras palabras, a pesar de que los cambios en la producción de vegetales resultó en promedio negativa para la reforestación y que el compost no explica el aumento en las áreas forestales, el incremento año a año de dichas zonas prevaleció.

Otro aspecto importante para observar en los tres modelos mencionados con anterioridad es el valor que la constante tiene sobre la explicación de la variable dependiente, pues en cada una de las especificaciones el crecimiento de las zonas reforestadas se puede predecir mejor por su valor esperado y no por alguna regresión condicional a otros factores. Por ejemplo, es destacable que la variable de control no explicara ni siquiera una fracción pequeña del cambio en la reforestación, aun cuando el gasto en temas ambientales debe estar destinado a este tipo de reestructuraciones. No obstante, este tema se escapa del alcance del documento.

6. Conclusiones y discusión

La economía circular es un tema vigente, no solo para la academia sino también en la agenda política de los gobiernos que están interesados en minimizar el impacto que tiene la actividad humana sobre el planeta. En ese caso, y considerando que el objetivo del artículo es determinar el aporte del compost a las áreas destinadas para la bioagricultura y para la siembra de especies forestales, se puede

concluir que el compost sí se relaciona positivamente con la producción bioagrícola, pero no necesariamente lo hace con la siembra de especies forestales, por lo que la hipótesis inicial se cumple parcialmente.

En tal caso, el aumento en las áreas forestales no se explica por el uso del compost, el cultivo de vegetales y el gasto en actividades ambientales, es decir que estas no son variables explicativas de este incremento. Esto lo podría explicar Garcés-Marín (2014), cuando manifiesta que variables como la propiedad rural de la tierra y las áreas de potencial forestal protector sí son explicativas.

En el caso de la propiedad rural, manifiesta que la siembra comercial de especies forestales se afecta positivamente en áreas donde la propiedad de la tierra está más concentrada, porque la reforestación de este tipo aprovecha las economías de escala por tratarse de cultivos de gran extensión, en donde sí se verían los beneficios económicos en contraste con áreas de siembra reducidas.

De otro lado, si el suelo rivaliza entre sus diferentes usos, las áreas de potencial forestal se relacionan de forma inversa con la reforestación, porque solo las reducciones de las áreas dedicadas a la agricultura o la cría de animales asegurarían incrementos en la siembra de especies forestales.

En complemento de lo anterior, para Szulecka y Monges-Zalazar (2017) la reforestación tiene un componente político que además de la financiación, la cual debe dirigirse a programas específicos de siembra de especies forestales, implica cambios institucionales (ordenar las competencias de las entidades estatales sobre el tema ambiental y tener menos burocracia y corrupción) e intersectoriales que conlleven un apoyo a las plantaciones.

Igualmente, se concluye que el uso de compost rivaliza entre los diferentes tipos de agricultura, de manera que, si se usa para bioagricultura, se reduce su uso para la reforestación o para la siembra de vegetales, resultado coincidente en parte con lo

encontrado por Beckmann *et al.* (2021), sobre la rivalidad que presenta el uso de la biomasa forestal para necesidades diversas (energía, construcción, industria química y bienes finales), incluida la de biodiversidad.

A pesar de que el compost sí se relaciona con la bioagricultura, el efecto es marginal, lo que podría estar mostrando que la EC no se ha adaptado del todo a la agricultura (Batlles-de-laFuente *et al.*, 2021; Velasco-Muñoz *et al.*, 2021), si se tiene en cuenta que las empresas dedicadas a esta actividad productiva requieren superar barreras de inversión, incentivos, tecnología e innovación en su transición a la circularidad (Van Zanten *et al.*, 2019).

De otro lado, esto puede deberse a que el efecto del compost aplicado en dosis moderadas tarda varios años en desarrollarse, por eso para cultivos con períodos de crecimiento más prolongados pueden aprovecharse mejor sus efectos. En cambio, para la agricultura de hortalizas se da una reacción positiva a la fertilización con compost, habitualmente después de la primera aplicación (Erhart y Hartl, 2010).

En otro orden de ideas, algunas limitaciones de los modelos planteados incluyen la disponibilidad de los datos y el conocimiento de la verdadera forma funcional para relacionar las variables dependientes e independientes.

En el primer caso, la disponibilidad de datos es bastante limitada, tener más observaciones en el tiempo mejoraría la capacidad predictiva de los modelos y serviría para mejorar problemas de multicolinealidad entre las variables. Además, disponer de variables como la concentración de la tierra rural, el potencial uso de los suelos e información sobre las propiedades químicas y físicas del suelo, permitiría esclarecer mejor el aporte que tiene el compost.

Mientras que, en el segundo caso, se carece de una teoría que clasifique los efectos del uso del compost en la productividad por países. Por lo tanto, aquí no se asume ninguna forma funcional específica para abordar el proble-

ma y, en cambio, se prueban seis modelos, que en el mejor de los casos mostraron una relación lineal entre las variables estudiadas, pero sin que los coeficientes que capturaron los efectos causales y predictivos puedan ser encasillados dentro de una teoría preexistente que haga parte del acervo de conocimiento que se ha acumulado sobre la EC.

Para terminar, en futuros trabajos de investigación se debería ahondar en una perspectiva holística sobre la EC que involucre no solo el ciclo de los materiales y productos, su uso y re-uso, sino que incluya aspectos políticos y culturales (Whalen y Whalen, 2018; James, 2022), teniendo en cuenta que estos median en la relación entre los humanos y la naturaleza.

Referencias

- Alnajem, M., Mostafa, M. y ElMelegy, A. (2021). Mapping the first decade of circular economy research: a bibliometric network analysis. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(1), 29-50. <https://doi.org/10.1080/21681015.2020.1838632>
- Alonso-Muñoz, S., García-Muiña, F. E., Medina-Salgado, M. S. y González-Sánchez, R. (2022). Towards circular economy practices in food waste management: a retrospective overview and a research agenda. *British Food Journal*, 124(13), 478-500. <https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2022-0072>
- Anani, O. A., Adetunji, C. O., Osarenotor, O. e Inamuddin. (2021). Biofertilizer Utilization in Agricultural Sector. En Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula y M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 293-307). <https://doi.org/10.1002/9781119724995.ch9>
- Bakan, B., Bernet, N., Bouchez, T., Boutrou, R., Choubert, J. M., Dabert, P., Duquennoi, C., Ferraro, V., García-Bernet, D., Gillot, S., Mery, J., Rémond, C., Steyer, J. P., Trably, E. y Tremier, A. (2022). Circular Economy Applied to Organic Residues and Wastewater: Research Challenges. *Waste Biomass Valor*, 13, 1267-1276. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01549-0>
- Batlles-de-laFuente, A., Abad-Segura, E., González-Zamar, M. D. y Cortés-García, F. J. (2021). An Evolutionary Approach on the Framework of Circular Economy Applied to Agriculture. *Agronomy*, 12(3), 620. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030620>
- Beckmann, A., Sivarajah, U. e Irani, Z. (2021). Circular economy versus planetary limits: A Slovak forestry sector case study. *Journal of Enterprise Information Management*, 34(6), 1673-1698. <https://doi.org/10.1108/JEIM-03-2020-0110>
- Borrello, M., Lombardi, A., Pascucci, S. y Cembalo, L. (2016). The Seven Challenges for Transitioning into a Bio-based Circular Economy in the Agri-food Sector. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, 8(1), 39-47. <https://dx.doi.org/10.2174/221279840801160304143939>
- Bos, H. L. y Broeze, J. (2020). Circular bio-based production systems in the context of current biomass and fossil demand. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 14(2), 187-197. <https://doi.org/10.1002/bbb.2080>
- Brown, K., Schirmer, J. y Upton, P. (2022). Can regenerative agriculture support successful adaptation to climate change and improved landscape health through building farmer self-efficacy and wellbeing? *Current Research in Environmental Sustainability*, 4, 100170. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100170>
- Camargo, D. A., Cardona, O. y González, J. M. (2018). Un acercamiento empírico a la función de producción de compost para 33 países. *Atlantic Review of Economics*, 1(1), 1-19. <https://www.aroec.org/ojs/index.php/ARoEc/article/view/37>
- Camargo, D. A., Cardona, O. y González, J. M. (2020). Estimación de una función para la producción de compost: el caso europeo. *Revista de Economía e Sociología Rural*, 58(3), e192632. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.192632>

- Camia, A., Robert, N., Jonsson, R., Pilli, R., García-Condado, S., López-Lozano, R., van der Velde, M., Ronzon, T., Gurría, P., M'Barek, R., Tamosiunas, S., Fiore, G., Araujo, R., Hoepffner, N., Marelli, L. y Giuntoli, J. (2018). *Biomass production, supply, uses and flows in the European Union*. European Union. <https://doi.org/10.2760/539520>
- Campos-Mora, M., Angulo, I. y Echavarría-Pedraza, M. (2023). Evaluación de técnicas para el control biológico en cultivos agrícolas del municipio de Monterrey- Casanare, Colombia. *Revista EIA*, 20(39), 1-26. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i39.1621>
- Cellier, A., Francou, C., Houot, S., Ballini, C., Gauquelin, T. y Baldy, V. (2012). Use of urban composts for the regeneration of a burnt Mediterranean soil: a laboratory approach. *Journal of Environmental Management*, 95, S238-S244. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.042>
- Chojnacka, K., Moustakas, K. y Witek-Krowiak, A. (2020). Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy. *Bioresource Technology*, 295, 122223. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122223>
- Claudio-Quiroga, G. y Poza, C. (2024). Measuring the circular economy in Europe: Big differences among countries, great opportunities to converge. *Sustainable Development*, 2024, 1-19. <https://doi.org/10.1002/sd.2925>
- Comisión Europea. (2022). *Revisión de la aplicación de la política medioambiental 2022. Informe sobre España*. <https://environment.ec.europa.eu/system/files/2022-09/Spain%20-%20EIR%20Country%20Report%202022%20%28ES%29.PDF>
- Daza-Torres, M. C., Oviedo-Ocaña, E. R., Marmolejo-Rebellón, L. F. y Torres-Lozada, P. (2015). Selección de sistemas agroambientales con potencial uso de compost de biorresiduos municipales. *Acta Agronómica*, 64(2), 134-145. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n2.43977>
- EMF -Ellen MacArthur Foundation-. (2023). *Circular economy principles*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>
- Erhart, E. y Hartl, W. (2010). Compost Use in Organic Farming. En E. Lichtfouse (Ed.), *Genetic Engineering, Biofertilisation, Soil Quality and Organic Farming* (pp. 311-345). Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8741-6_11
- Farina, R., Testani, E., Campanelli, G., Leteo, F., Napoli, R., Canali, S. y Tittarelli, F. (2018). Potential carbon sequestration in a Mediterranean organic vegetable cropping system. A model approach for evaluating the effects of compost and Agro-ecological Service Crops (ASCs). *Agricultural Systems*, 162, 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.02.002>
- Garcés-Marín, R. (2014). Determinantes de la reforestación comercial en los municipios de Antioquia. *Semestre Económico*, 17(35), 95-125. <https://doi.org/10.22395/seec.v17n35a4>
- Godvin Sharmila, V., Shanmugavel, S. P. y Rajesh Banu, J. (2024). A review on emerging technologies and machine learning approaches for sustainable production of biofuel from biomass waste. *Biomass and Bioenergy*, 180, 106997. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106997>
- Hegedűs, D. y Longauer, D. (2023). Implementation of a circular supply chain model using reusable components in multiple product generations. *Heliyon*, 9(5), e15594. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15594>
- Hsiao, C. (2003). *Analysis of panel data*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754203>
- Hueso-González, P., Martínez-Murillo, J. F. y Ruíz-Sinoga, J. D. (2018). El uso de bioresiduos en la restauración de ecosistemas degradados: Estabilidad estructural, infiltración y cobertura vegetal. *Papeles de Geografía*, (64), 63-79. <https://doi.org/10.6018/geografia/2018/320561>

- Husgafvel, R., Linkosalmi, L., Sakaguchi, D. y Hughes, M. (2022). How to advance sustainable and circular economy-oriented public procurement - A review of the operational environment and a case study from the Kymenlaakso region in Finland. En A. Stefanakis e I. Nikolaou (Eds.), *Circular Economy and Sustainability* (pp. 227-277). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819817-9.00015-6>
- James, P. (2022). Re-embedding the circular economy in Circles of Social Life: beyond the self-repairing (and still-rapacious) economy. *Local Environment*, 27(10-11), 1208-1224. <https://doi.org/10.1080/13549839.2022.2040469>
- Liu, W. Y. Y. y Poobathy, R. (2021). Biofertilizer Utilization in Forestry. En Inamuddin, M. I. Ahamed, R. Boddula y M. Rezakazemi (Eds.), *Biofertilizers: Study and Impact* (pp. 1-37). Scrivener Publishing. <https://doi.org/10.1002/9781119724995.ch1>
- López-Felices, B., Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A. y Román-Sánchez, I. M. (2023). Factors influencing the use of rainwater for agricultural irrigation: the case of greenhouse agriculture in southeast Spain. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72(2), 185-201. <https://doi.org/10.2166/aqua.2023.205>
- Loring, P. A. (2022). Regenerative food systems and the conservation of change. *Agriculture and Human Values*, 39, 701-713. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10282-2>
- Mala, Z. (2011). Efficiency analysis of Czech organic agriculture. *Ekonomie a Management*, 14(1), 14-29.
- Martínez-Blanco, J., Lazcano, C., Christensen, T. H., Muñoz, P., Rieradevall, J., Møller, J., Antón, A. y Boldrin, A. (2013). Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 721-732. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0148-7>
- Mazzanti, M., Montini, A. y Nicolli, F. (2009). The dynamics of landfill diversion: economic drivers, policy factors and spatial issues. Evidence from Italy using provincial panel data. *Resources, Conservation and Recycling*, 54(1), 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.06.007>
- Merli, R., Preziosi, M. y Acampora, A. (2020). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.112>
- Militino, A. F., Ugarte, M. D. e Ibáñez, B. (2008). Longitudinal analysis of spatially correlated data. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 22(1), 49-57. <https://doi.org/10.1007/s00477-007-0158-6>
- Mola-Yudego, B., Arevalo, J., Díaz-Yáñez, O., Dimitriou, I., Haapala, A., Ferraz Filho, A. C., Selkimäki, M. y Valbuena, R. (2017). Wood biomass potentials for energy in northern Europe: Forest or plantations? *Biomass and Bioenergy*, 106, 95-103. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.08.021>
- Morseletto, P. (2020). Restorative and regenerative: Exploring the concepts in the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 24(4), 763-773. <https://doi.org/10.1111/jiec.12987>
- Mundlak, Y., Butzer, R. y Larson, D. F. (2012). Heterogeneous technology and panel data: The case of the agricultural production function. *Journal of Development Economics*, 99(1), 139-149. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2011.11.003>
- Murray, A., Skene, K. y Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140, 369-380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Nava-Aguirre, K., Ruiz Sandoval, R., Villarreal Guerra, F. y Zambrano Cantú, A. C. (2023). Análisis de estrategias sostenibles en empresas multinacionales en México: Desarrollo hacia una Cadena de Suministro Circular. *360: Revista de Ciencias de la Gestión*, 8(8), 1-33. <https://doi.org/10.18800/360gestion.202308.004>

- Oviedo-Ocaña, E. R., Marmolejo-Rebellon, L. F. y Torres-Lozada, P. (2017). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 18(1), 31-42. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2017.18n1.003>
- Panou, A. y Karabagias, I. K. (2023). Biodegradable Packaging Materials for Foods Preservation: Sources, Advantages, Limitations, and Future Perspectives. *Coatings*, 13(7), 1176. <https://doi.org/10.3390/coatings13071176>
- Pearce, D. y Turner, R. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. John Hopkins University Press.
- Pechrová, M. (2014). Determinants of the Farmers' Conversion to Organic and Biodynamic Agriculture. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 6(4), 113-120. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.196581>
- Pergola, M., Persiani, A., Palese, A. M., Di Meo, V., Pastore, V., D'Adamo, C. y Celano, G. (2018). Composting: The way for a sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology*, 123, 744-750. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.016>
- Pichon, F., Marquette, C., Murphy, L. y Bilsborrow, R. (2001). *Land use, agricultural technology, and deforestation among settlers in the Ecuadorean Amazon*. CABI Books. <https://doi.org/10.1079/9780851994512.0153>
- Razza, F., D'Avino, L., L'Abate, G. y Lazzeri, L. (2018). The Role of Compost in Bio-waste Management and Circular Economy. En E. Benetto, K. Gericke y M. Guiton (Eds.), *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies* (pp. 133-143). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6_16
- Reike, D., Vermeulen, W. y Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246-264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Rudinskaya, T. (2017). Heterogeneity and efficiency of food processing companies in the Czech Republic. *Agricultural Economics*, 63(9), 411-420. <https://doi.org/10.17221/1/2016-AGRICECON>
- Saha, J. K., Panwar, N. y Singh, M. V. (2010). An assessment of municipal solid waste compost quality produced in different cities of India in the perspective of developing quality control indices. *Waste Management*, 30(2), 192-201. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.041>
- Suchek, N., Fernandes, C. I., Kraus, S., Filser, M. y Sjögrén, H. (2021). Innovation and the circular economy: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 3686-3702. <https://doi.org/10.1002/bse.2834>
- Sulewski, P., Kais, K., Gołas, M., Rawa, G., Urbanska, K. y Was, A. (2021). Home Bio-Waste Composting for the Circular Economy. *Energies*, 14(19), 6164. <https://doi.org/10.3390/en14196164>
- Szulecka, J. y Monges-Zalazar, E. (2017). Forest plantations in Paraguay: Historical developments and a critical diagnosis in a SWOT-AHP framework. *Land Use Policy*, 60, 384-394. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.11.001>
- Van Zanten, H., Van Ittersum, M. y De Boer, I. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21, 18-22. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06.003>
- Varela, S. y Martínez, A. (2013). Uso del compost de biosólidos en la formulación de sustratos para la producción industrial de plantas de *Nothofagus alpina*. *Bosque*, 34(3), 281-289. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002013000300004>
- Velasco-Muñoz, J., Mendoza, J., Aznar-Sánchez, J. y Gallego-Schmid, A. (2021). Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105618. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105618>

- Velenturf, A. y Purnell, P. (2021). Principles for a sustainable circular economy. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 1437-1457. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.018>
- Whalen, K. A. y Whalen, C. J. (2018). The Circular Economy and Institutional Economics: Compatibility and Complementarity. *Journal of Economic Issues*, 52(3), 605-614. <https://doi.org/10.1080/00213624.2018.1495985>
- White, C. (2020). Why Regenerative Agriculture? *The American Journal of Economics and Sociology*, 79(3), 799-812. <https://doi.org/10.1111/ajes.12334>
- Winans, K., Kendall, A. y Deng, H. (2017). The history and current applications of the circular economy concept. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68(1), 825-833. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>