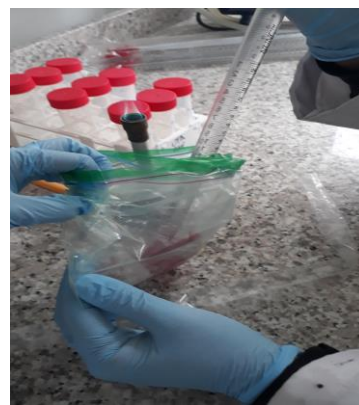


ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA

Máster Universitario de Investigación en
Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos



EL SUELO DE MONTAÑA COMO FUENTE DE MICROORGANISMOS DE INTERÉS PARA EL ENRIQUECIMIENTO DE MUESTRAS DE COMPOST



CARLA MARISOL CRUZ MORALES
2023

Tutora: Macarena del Mar Jurado Rodríguez



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Se autoriza a la alumna **D^a. Carla Marisol Cruz Morales**, a realizar el Trabajo Fin de Máster titulado: “El suelo de montaña como fuente de microorganismos de interés para el enriquecimiento de muestras de compost (Investigación Bibliográfica)”, bajo la dirección de D^a. Macarena del Mar Jurado Rodríguez de la Universidad de Almería, debiendo cumplir las normas establecidas para la redacción del mismo que están a su disposición en la página Web específica del Master.

Orihuela, 5 de septiembre de 2023

La Directora del Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos

CONCEPCION Firmado digitalmente por
|PAREDES|GIL CONCEPCION|PAREDES|GIL
Fecha: 2023.09.05 12:38:27
+02'00'

Fdo.: Concepción Paredes Gil

TRIBUNAL	
FECHA:	
PRESIDENTE:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:
VOCAL:	FIRMA:

El suelo de montaña como fuente de
Microorganismos de interés para el
Enriquecimiento de muestras de compost



Macarena del Mar Jurado Rodríguez

ALUMNO

Carla Marisol Cruz Morales

REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

IDENTIFICACIONES

Autor: Carla Marisol Cruz Morales

Título: El suelo de montaña como fuente de microorganismos de interés para el enriquecimiento de muestras de compost.

Title: Mountain soil as a source of microorganisms of interest for the enrichment of compost samples

Director/es del TFM: Macarena del Mar Jurado Rodríguez

Año: 2023

Titulación: Máster Universitario en Gestión, Tratamiento y Valorización de Residuos Orgánicos

Tipo de proyecto: Trabajo de investigación bibliográfica

Palabras claves: Microorganismos, bioaumentación, suelos de montaña, compost

Keywords: Microorganisms, bioaugmentation, mountain soils, compost.

Nº citas bibliográficas: 155

Nº de planos:

Nº de tablas: 2

Nº de figuras: 4

Nº de anexos:

RESUMEN

La bioaumentación, consistente en la inoculación con microorganismos especializados, con objeto de mejorar el compostaje, optimizando la transformación del material durante el proceso, y el compost finalmente obtenido, incrementando sus funcionalidades. Para ello, la microbiota asociada a los suelos naturales, con poca afectación antropogénica como los situados en zonas de montaña, se postula como una interesante opción para su empleo como inoculantes, especialmente para la mejora del potencial biofertilizante, biopesticida y fitoestimulante del compost, convirtiéndolo en una alternativa factible frente al uso de fertilizantes y pesticidas químicos tradicionales.

En el presente trabajo, se recopiló información sobre el conocimiento científico actual del microbioma de suelos de montaña, que variaran en función de diversos factores como las condiciones climáticas, el tipo de vegetación, los valores de pH del suelo o la presencia de animales, lo que ha demostrado que se trata de una fuente interesante de recursos aún poco explotada, lo cual sienta las bases para el desarrollo de herramientas microbiológicas basadas en el empleo de microorganismos beneficiosos para su posterior uso.

ABSTRACT

Bioaugmentation, consisting of inoculation with specialized microorganisms, in order to improve composting, optimizing the transformation of the material during the process, and the compost finally obtained, increasing its functionalities. To this end, the microbiota associated with natural soils, with little anthropogenic impact such as those located in mountain areas, is postulated as an interesting option for use as inoculants, especially for improving the biofertilizer, biopesticide and phytostimulant potential of compost, converting it in a feasible alternative to the use of traditional chemical fertilizers and pesticides.

In the present work, information was collected on the current scientific knowledge of the microbiome of mountain soils, which will vary depending on various factors such as climatic conditions, type of vegetation, soil pH values or the presence of animals, which has shown that it is an interesting source of resources that is still little exploited, which lays the foundations for the development of microbiological tools based on the use of beneficial microorganisms for subsequent use.



DEDICATORIA

Aunque se vea un poco loco, quiero dedicar todo este esfuerzo a la Carla de hace 5 años que jamás pensó en estudiar un máster, es más ni pensaba estar en España. Emigrar y alejarte de la familia que ha estado para ti en todo momento en busca de superación y nuevas oportunidades te rompe el corazón de tal manera que pareces una montaña rusa de emociones, un día estas bien y al otro no, solo esperas que pasen los días ansiando el momento en volver a tu país para estar con los tuyos sin embargo lo soportas porque sabes y crees que la perseverancia de hoy es el éxito del mañana.

También quiero dedicarlo a la Carla después de 5 años, no sé en donde estes ni quienes o quien te acompañe, pero no te rindas nunca y lucha por tus sueños como lo has venido haciendo desde siempre, se que a veces necesitas un empujoncito, una lloradita para seguir, así que sigue siendo tu apoyo, cree en ti y mira siempre el lado bueno de cada situación guapa, lo has estado haciendo bien y así debe seguir siendo.

Po último, quiero dedicar este párrafo a mi hermana menor, Anahí, el estudio junto con el trabajo es la herramienta para que puedas salir adelante, aprovecha el apoyo de nuestros padres y cuando sientas que estas en la oscuridad recuerda que estamos para ti siempre.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de forma especial a mi tutora que, sin dudarlo, pese a que no nos conocemos acepto serlo y me ayudado de una manera que a sido una fortaleza en el desarrollo de este TFM, Macarena Dios te pague por todo lo que has hecho por mi porque yo no sabría como hacerlo, cuando revise tu trayectoria de formación sentí una motivación por lo que te apasiona, “el mundo de los microorganismos” y espero llegar tan lejos como tú, así que sigue siendo inspiración.

A mis padres que no han dejado de creer en mis capacidades, su esfuerzo no será en vano.

A mis compañeras de máster Natalia, Carmen, Marina y Miguel, este máster junto a las clases presenciales con ustedes fueron excelentes, en los pocos días que compartimos aprendí a respirar e ir despacio y con calma, espero les vaya super bien en su vida.

A mi mejor amiga Rosita porque a pesar de la distancia a sido mi apoyo emocional.

Y por último y no menos importante quiero agradecer a mi esposo David, gracias por caminar de la mano en este proceso de máster lleno de estrés con la finalidad de encontrar estabilidad como profesionales siendo una gran familia de dos, se que llegaremos lejos, así que ÁNIMO.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. Introducción	3
2. Objetivos	6
2.1. Objetivo General.....	6
2.2. Objetivos Específicos	6
3. Análisis bibliométrico de la búsqueda bibliográfica	7
3.1. Método usado en la investigación	7
4. Estructuración de la Revisión.....	17
4.1. El proceso de compostaje como tratamiento para la valorización de residuos ...	17
4.2. Beneficios del uso de compost como enmienda orgánica	20
4.3. Microorganismos asociados al proceso de compostaje: autóctonos y alóctonos	23
4.4. Microorganismos beneficiosos presentes en el suelo de montaña	28
4.5. Métodos de aislamiento y formulación de inoculantes microbianos.....	31
4.6. Mejora de compost con microbiota edáfica: compost a la carta.....	35
4. Conclusiones	36
5. Bibliografía.....	38

RESUMEN

El compostaje es un proceso de transformación aeróbica de la materia orgánica cuyo resultado es la obtención de un producto final, el compost, considerado una enmienda orgánica de interés para su aplicación en la agricultura. Este proceso se considera económica y ambientalmente sostenible, ya que no sólo permite la gestión, el reciclaje y la valorización de residuos orgánicos, sino que puede actuar como tratamiento de biorremediación *ex situ* de compuestos tóxicos y contaminantes.

A pesar de las ampliamente conocidas ventajas del compostaje y del compost, en determinadas circunstancias, el tipo de residuo que se pretende transformar o las sustancias tóxicas que se busca neutralizar o eliminar, pueden resultar altamente recalcitrantes, haciendo que el proceso se prolongue o no llegue a proporcionar productos de suficiente calidad. En este contexto, surge la estrategia de bioaumentación, consistente en la inoculación con microorganismos especializados, con objeto de mejorar el compostaje, optimizando la transformación del material durante el proceso, y el compost finalmente obtenido, incrementando sus funcionalidades. Para ello, la microbiota asociada a los suelos naturales, con poca afectación antropogénica como los situados en zonas de montaña, se postula como una interesante opción para su empleo como inoculantes, especialmente para la mejora del potencial biofertilizante, biopesticida y fitoestimulante del compost, lo que convierte a este producto en una alternativa factible frente al uso de fertilizantes y pesticidas químicos tradicionales.

En el presente trabajo, se recopiló información sobre el conocimiento científico actual del microbioma de suelos de montaña, demostrando que se trata de una fuente interesante de recursos aún poco explotada, lo cual sienta las bases para el desarrollo de herramientas microbiológicas basadas en el empleo de microorganismos beneficiosos con aplicación ambiental y agronómica.

Palabras clave: Microorganismos, bioaumentación, suelos de montaña, compost.

ABSTRACT

Composting is a process of aerobic transformation of organic matter whose result is the obtaining of a final product, compost, considered an organic amendment of interest for its application in agriculture. This process is considered economically and environmentally sustainable, since it not only allows the management, recycling and recovery of organic waste, but it can also act as an ex situ bioremediation treatment for toxic and polluting compounds.

Despite the widely known advantages of composting and compost, in certain circumstances, the type of waste that is intended to be transformed or the toxic substances that are sought to be neutralized or eliminated, can be highly recalcitrant, causing the prolongation of the process or providing products of insufficient quality. In this context, the bioaugmentation strategy is set. It consists in the inoculation with specialized microorganisms. It helps to improve composting, optimizing the transformation of the material during the process; and the compost, increasing its functionalities. For this, the microbiota associated with natural soils, with little anthropogenic affectation such as those located in mountain areas, is postulated as an interesting option for their use as inoculants, especially for improving the biofertilizer, biopesticide and phytostimulant potential of compost. It makes this product a feasible alternative to the use of traditional chemical fertilizers and pesticides.

In the present work, information on the current scientific knowledge of the microbiome of mountain soils was collected, demonstrating that it is an interesting source of resources that is still little exploited. It lays the foundations for the development of microbiological tools based on the use of beneficial microorganisms with environmental and agronomic application.

Keywords: Microorganisms, bioaugmentation, mountain soils, compost.

1. Introducción

El uso indiscriminado, y de manera prolongada, de fertilizantes inorgánicos, herbicidas y pesticidas para la producción de cultivos ha dado como resultado enormes problemas, especialmente de índole ambiental, generando dependencia hacia este tipo de productos y obviando el cuidado de la microbiota presente en el suelo, que ha visto mermada su diversidad y alterada su actividad metabólica por el efecto nocivo de estos agroquímicos.

Esta problemática en la mayoría de las ocasiones está asociada a suelos antropogénicos, como los de uso agrícola, pero también se observa en suelos considerados “naturales”, como los que pueden encontrarse en los diferentes ecosistemas forestales, como en bosques y selvas. Un ejemplo de ello se ha observado en el suelo de los bosques de encino en México, donde se estudió la interacción de los microorganismos del suelo con los herbicidas mazamox y cycloxydim, destacando la afectación negativa sufrida por distintas especies del género *Azotobacter* sp. (Vasic et al., 2019), una bacteria fijadora de nitrógeno de vida libre y, por ello, con un papel esencial como biofertilizante en dichos ambientes.

La microbiota presente de forma natural en los suelos puede resultar esencial para la adecuada conformación de los mismos, así como beneficiosa para la flora y fauna asociadas a dicho hábitat. Por ello, la búsqueda y el aprovechamiento de estos microorganismos beneficiosos, como recursos fundamentales para la mejora y restauración de diferentes tipos de ambientes, se ha convertido en una alternativa necesaria, más ecológica y amigable con el medioambiente.

Cuando se plantean procesos de bioprospección para el aislamiento y caracterización de microorganismos de interés, se deben tener en cuenta los niveles de poblaciones microbianas presentes en las muestras a analizar. En este sentido, la carga microbiana dependerá del ecosistema y de las diferentes condiciones ambientales a las que esté expuesto. Por ejemplo, algunos estudios demuestran que la cantidad y tipo de comunidades microbianas están asociadas a las condiciones climáticas y a factores abióticos típicos de cada hábitat. Este es el caso de los hábitats ribereños de los bosques boreales en el norte de Finlandia, donde la humedad ligada a la cercanía de un río, se considera un factor primordial para la presencia de poblaciones distintivas de microorganismos (Annala et al., 2022).

Uno de los ambientes que está generando atención respecto a la búsqueda de microorganismos de interés es el suelo de montaña. Son considerados microorganismos de montaña todas las especies microscópicas que se encuentran de forma natural en estos ecosistemas y que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica que está a su alrededor, convirtiéndola en elementos nutritivos para el resto de los organismos del sistema, especialmente para la flora. Los ecosistemas de montaña incluyen hábitats diversos, especialmente bosques o plantaciones forestales, así como cultivos situados en altitudes típicas de montaña. La diversidad de los diferentes hábitats que presentan estos ecosistemas es tan extensa como el tipo de microorganismos que pueden estar presentes. En cualquier caso, entre la microbiota autóctona de estos ambientes se encuentran tanto bacterias y actinobacterias como hongos mohos y levaduras (Suchini-Ramírez, 2012) que establecen una interacción muy estrecha con las plantas. Algunos de estos organismos microscópicos pueden llegar a resultar fitopatógenos, otros establecen relaciones neutras, pero la gran mayoría son beneficiosos para los vegetales con los que conviven (Correa, 2013). Conocer el rol de los microorganismos en el suelo, y especialmente en la rizosfera, es esencial para poder aplicarlos como herramientas de restauración ambiental, en tareas de biorremediación, o de interés agronómico, como agentes biofertilizantes, biopesticidas o bioestimulantes.

No obstante, el éxito de la aplicación de microorganismos en un ambiente depende de la capacidad de estos organismos para adaptarse y establecerse en el nuevo entorno, permaneciendo viables y capaces de proliferar a pesar de la microbiota autóctona con la que deberán competir. Por ello, en lugar de la inoculación directa de microorganismos procedentes de cultivos puros obtenidos en condiciones de laboratorio, en muchas ocasiones, especialmente para la restauración de suelos, se plantea el uso de *carriers* para llevar a cabo la inoculación de los microorganismos de interés. Los *carriers* son soportes que actúan como vehículos para los microorganismos, favoreciendo su incorporación estable en nuevos ambientes. En este sentido, materiales como el biochar o enmiendas orgánicas como el vermicompost o el compost se consideran adecuados para transferir microbiota entre diferentes ambientes (Ferrer-Zamora, 2022), siendo el compost, resultado final del proceso de transformación aeróbica de materia orgánica, la opción prioritaria, ya que se sitúa como el producto de una de las estrategias destacadas por la Unión Europea para la gestión y valorización de residuos orgánicos dentro del marco de

la economía circular (Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular. 8 de abril. Jefatura del Estado. Boletín Oficial de Estado (BOE), 85).

El empleo del compost tiene cabida, además, no sólo en la agricultura convencional, sino también dentro del manejo de una agricultura más sostenible. El compostaje ayuda tanto al reciclaje de residuos orgánicos como a la biorremediación de compuestos contaminantes recalcitrantes e incluso xenobióticos. Es, por tanto, una herramienta de enorme interés que permite no sólo gestionar residuos, sino aprovechar los recursos potenciales que estos contienen. Con relación a esto, estrategias como la bioaumentación con microorganismos específicos resultan favorables para mejorar la efectividad del proceso de transformación (compostaje) y, con ello, las cualidades del producto final (compost).

La inoculación con microorganismos beneficiosos en el compost nos ayuda a aumentar la carga microbiana de una forma dirigida, según el objetivo perseguido. Por ejemplo, un incremento de la microbiota con potencial antagonista sobre fitopatógenos de interés puede conseguir a su vez un incremento del efecto supresivo del compost, lo cual es conveniente para disminuir el uso indiscriminado de pesticidas y los problemas que éstos acarrearán, como la generación y proliferación de patógenos resistentes cuando no se usan de una forma correcta bajo la supervisión de personal técnico agrícola. Istifadah et al. (2020), demostraron que enriquecer el compost con microorganismos antagónicos presentó efectos supresores frente a la enfermedad causada por el mildiu polvoriento, reduciendo la intensidad de ataque del patógeno, además de causar una mejora en el crecimiento y un aumento del rendimiento de las plantas de tomate empleadas en el ensayo, incluyendo el peso del fruto. En este caso, enriquecer el compost con microorganismos beneficiosos no tuvo como única consecuencia agregar efectos supresores de enfermedad, sino que también ayudó a obtener una cosecha de más calidad.

La exploración de ambientes poco estudiados para la búsqueda de microorganismos que aporten nuevas funcionalidades al compost se plantea como una alternativa de interés que abre los estudios de bioprospección hacia posibilidades inéditas, dando lugar a la obtención de herramientas biotecnológicas novedosas con aplicación potencial en el sector agrícola y forestal en el futuro próximo. En esta línea, se presenta el empleo de los microorganismos recolectados en hábitats de montaña como una opción prometedora e innovadora para su uso como agentes de optimización del compostaje y del compost (Camacho-Céspedes et al., 2018).

2. Objetivos

El camino hacia una agricultura ambientalmente sostenible y basada en los actuales estándares de actuación de la bioeconomía circular pasa por la búsqueda de nuevos microorganismos de interés agrobiotecnológico tanto desde el punto de vista de la gestión de los residuos generados como para su empleo como bioproductos con capacidad de mejorar las características de los suelos y cultivos. Aunque la bioprospección de microorganismos es una estrategia conocida, aún quedan muchos ambientes interesantes muy poco explorados, pero enormemente prometedores, por estudiar. Este es el caso de los suelos de montaña y su microbiota autóctona.

2.1. Objetivo General

Por esta razón, el **objetivo general** del presente Trabajo Fin de Máster de carácter bibliográfico fue <<realizar una revisión basada en la evidencia del potencial de los microorganismos procedentes de suelos de montaña para ser empleados en la mejora de compost mediante la adición de funcionalidades específicas>>.

2.2. Objetivos Específicos

Para la consecución de dicho objetivo principal, se plantearon los siguientes **objetivos específicos**:

- i. Definir la importancia del compostaje como proceso de gestión, valorización y biorremediación de residuos orgánico, así como resaltar los beneficios derivados de la aplicación del compost como enmienda agronómica.
- ii. Analizar y conocer el potencial de la microbiota edáfica, específicamente aislada de ecosistemas de montaña, para el desarrollo de herramientas de interés biotecnológico.
- iii. Examinar las opciones de actuación con los microorganismos de montaña para establecer mejoras en el rendimiento agronómico y ambiental tras la inoculación, enriquecimiento y aplicación del compost bioaumentado.

3. Análisis bibliométrico de la búsqueda bibliográfica

3.1. Método usado en la investigación

Para realizar la búsqueda de literatura científica se usó la base de datos Web of Science (WOS) y el buscador especializado Google Scholar.

Para llevar a cabo una revisión bibliográfica actualizada, la búsqueda de los documentos se realizó empleando desde el año 2018, ya que, además, en este intervalo se sitúan la mayoría de los trabajos relacionados con la temática tratada en esta revisión. No obstante, durante la búsqueda, se han encontrado referencias al tema tratado, “microorganismos de montaña”, en las plataformas empleadas (Web Of Science y Google académico) correspondientes a años anteriores (entre 2002 y 2017). A continuación, se muestra la información bibliométrica correspondiente a cada uno de los apartados discutidos en el presente Trabajo Fin de Máster y que componen la estructura de la revisión bibliográfica realizada.

1. El proceso de compostaje como tratamiento para la valorización de residuos

Para la búsqueda de artículos en la WOS sobre este apartado se usó el tema **COMPOST AS WASTE RECOVERY**, teniendo un total de 627 resultados, tomando en cuenta a partir del año 2018.

AÑO	NUMERO
2023	77
2022	126
2021	140
2020	114
2019	84
2018	86

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	515
Artículo de revisión	88
Documento de procedimiento	31
Acceso temprano	14

Capítulos de libro	3
Material editorial	1

PAIS	NUMERO
Pueblos R. China	92
Italia	70
India	69
España	64
Brasil	36
Francia	10
Colombia	7

También se usó el tema **THE COMPOSTING PROCESS AS A TREATMENT FOR THE RECOVERY OF WASTE** y **COMPOST AS A RESULT OF WASTE RECOVERY**, dando un total de 19 resultados. Los resultados fueron aumentando a la medida que se añadieron palabras clave como: <<Environmental sustainability>>, <<circular economy>>, <<composting>>. Con un total de 31917 resultados.

AÑO	NUMERO
2022	9667
2021	8450
2020	5974
2019	4471
2018	3355

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	25458
Artículo de revisión	3825
Documento de procedimiento	2130
Acceso temprano	529
Capítulos de libro	452
Otros	243

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	5356
Italia	3487
India	3199
España	2614
Brasil	1439
Francia	1027
Ecuador	131

2. Beneficios del uso de compost como enmienda orgánica

Para el segundo apartado se usó el tema **COMPOST BENEFITS** obteniendo un total de 16070 resultados, desde el año. Las palabras clave usadas en esta sección fueron: <<agronomic>>.

AÑO	NUMERO
2023	2242
2022	3891
2021	3795
2020	3309
2019	2833

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	14160
Artículo de revisión	1460
Documento de procedimiento	390
Acceso temprano	367
Capítulos de libro	170
Otros	178

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	3940
Italia	1035
India	1299
España	799
Brasil	1542
Francia	605
Ecuador	63

También se usó el tema **USE OF COMPOST IN THE SOIL** y **COMPOST IN AGRICULTURE**, y se añadió como palabra clave <<amendment>>, dando lugar a 14878 resultados desde el año 2019.

AÑO	NUMERO
2023	1548
2022	2955
2021	3503
2020	4358
2019	2514

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	11621
Corrección	1931
Artículo de revisión	653
Documento de procedimiento	345
Acceso temprano	391
Otros	548

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	3871
Italia	495
India	870

España	568
Brasil	390
Francia	379

3. Microorganismos asociados al proceso de compostaje: autóctonos y alóctonos

En este caso, se usó el tema **MICROORGANISM IN THE COMPOST** con palabras clave: <<**Bioaugmentation**>>, dando un total de 14079 resultados al realizar la búsqueda a partir del año 2020.

AÑO	NUMERO
2023	1802
2022	3453
2021	4024
2020	4800

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	13529
Artículo de revisión	798
Documento de procedimiento	429
Acceso temprano	437
Capítulos de libro	178
Otros	2326

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	4308
Italia	646
India	1031
España	672
Brasil	510
Francia	433

También se aplicó **ADDITION OF MICROORGANISM IN COMPOST** (todos los campos) y **ENRICH COMPOST WITH MICROORGANISM**, a partir del año 2018 con un total de 30 resultados

AÑO	NUMERO
2023	4
2022	6
2021	4
2020	4
2019	6
2018	6

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	30
Documento de procedimiento	1

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	14
Brasil	2
Francia	1
Ecuador	1

4. Microorganismos beneficiosos presentes en el suelo de montaña

Durante la cuarta sección trabajada, se empleó como tema **MICROORGANISM IN MOUNTAIN SOIL** con un total de 904 resultados; y **EFFICIENT MICROORGANISM COLLECTED FROM THE SOIL**, con la palabra clave: <<**MOUNTAIN**>>, obteniendo un total de 126037 resultados.

AÑO	NUMERO
2023	1548
2022	2955
2021	3503

2020	4358
2019	2514

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	11621
Corrección	1931
Artículo de revisión	653
Documento de procedimiento	345
Acceso temprano	391
Otros	548

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	3871
Italia	495
India	870
España	568
Brasil	390
Francia	379

Por su parte, **EFFICIENT MICROORGANISM COLLECTED FROM MOUNTAIN SOIL**, arrojó 2 resultados y con palabras clave: <<forest floor>>, se añadieron un total de 7089 resultados, y teniendo en cuenta el año 2015, 229 resultados más.

AÑO	NUMERO
2023	136
2022	199
2021	313
2020	292
2019	252

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	2156

Acceso temprano	19
Artículo de revisión	32
Documento de procedimiento	51
Otros	32

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	296
Italia	63
India	42
España	72
Brasil	97
Francia	97

5. Métodos de aislamiento y formulación de inoculantes microbianos

Para el apartado final, se aplicó el tema: **COMPOSTING AS A MICROBIAL INOCULANT** e **INOCULATION OF MICROORGANISM**, con la palabra clave: <<compost>>, a partir del año 2018, con un total de 9629 resultados.

AÑO	NUMERO
2023	1067
2022	1920
2021	1962
2020	1715
2019	1579
2018	1386

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	8634
Documento de procedimiento	488
Artículo de revisión	482
Acceso temprano	216
Capítulos de libros	78

Otros	111
-------	-----

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	3871
Italia	495
India	870
España	568
Brasil	390
Francia	379

6. Mejora de compost con microbiota edáfica: compost à la carte

Esta sección fue la más compleja de abordar a nivel de búsqueda bibliográfica, ya que dio lugar a mucha información, pero que no se ajustaba exactamente a la temática esperada. Para obtener resultados se empleó el tema: **SOIL MICROORGANISMS; COLLECTED MICROORGANISMS, y BIOAUGMENTATION OF MICROORGANISMS IN COMPOST**, empleando como palabras clave: <<effective>> dando un total de 47 entradas, así que se añadió otra palabra clave: <<microorganism>>, teniendo en cuenta las respuestas a partir del año 2019 de la plataforma digital WOS, finalmente encontrando un total de 2118 trabajos.

AÑO	NUMERO
2023	297
2022	511
2021	516
2020	446
2019	348

TIPO DE DOCUMENTO	NUMERO
Artículo	1843
Artículo de revisión	224
Documento de procedimiento	50
Acceso temprano	54

Capítulos de libro	18
Otros	10

PAIS	NUMERO
Pueblos R China	1062
Italia	87
India	128
España	81
Brasil	76
Francia	63



4. Estructuración de la Revisión

4.1. El proceso de compostaje como tratamiento para la valorización de residuos

El incremento de la población, la urbanización, y los avances tecnológicos en la industrialización han ocasionado que la generación de residuos en todo el mundo se convierta en un enorme problema con un gran impacto (Saravanan et al., 2022). La ideología de producir para desechar se ha convertido en un aliado de la contaminación de suelos, aguas, así como del daño estético en el paisaje, afectando la salud de los seres vivos y del ambiente (Yadav, 2015).

La gestión de residuos es un tema que compete a todos los países en el mundo. No obstante, los países con mayor población o mayor desarrollo industrial generan más residuos, a diferencia de los países subdesarrollados o en vías de desarrollo. La adecuada gestión de estos residuos es lo que puede marcar la diferencia. Es decir, los países desarrollados tienen la economía y la tecnología para realizar tratamientos a los residuos, ocasionando una reducción de desechos sólidos (Lim et al., 2016). En 2020, según el Instituto Nacional de Estadística (INE), España generó 106,2 millones de residuos, entre ellos los mayoritarios fueron: residuos minerales, residuos mezclados, residuos vegetales y animales, de los cuales se reciclaron 47,2 millones de toneladas de residuos (epdata, 2022). Sin embargo, la diferencia de estos valores hace pensar que los 59 millones de residuos que no fueron reciclados, formaron parte de una mala estrategia de gestión, ocasionando contaminación en diferentes ecosistemas, con especial significancia en el acuático.

España es un país que apuesta por la gestión de residuos (Figura 1). Esta afirmación está abalada por la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular, donde se promueve el compostaje como prioritario, lo que ha contribuido al combate del cambio climático y a salvaguardar el medio marino (Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular. 8 de abril. Jefatura del Estado. Boletín Oficial de Estado (BOE), 85.)

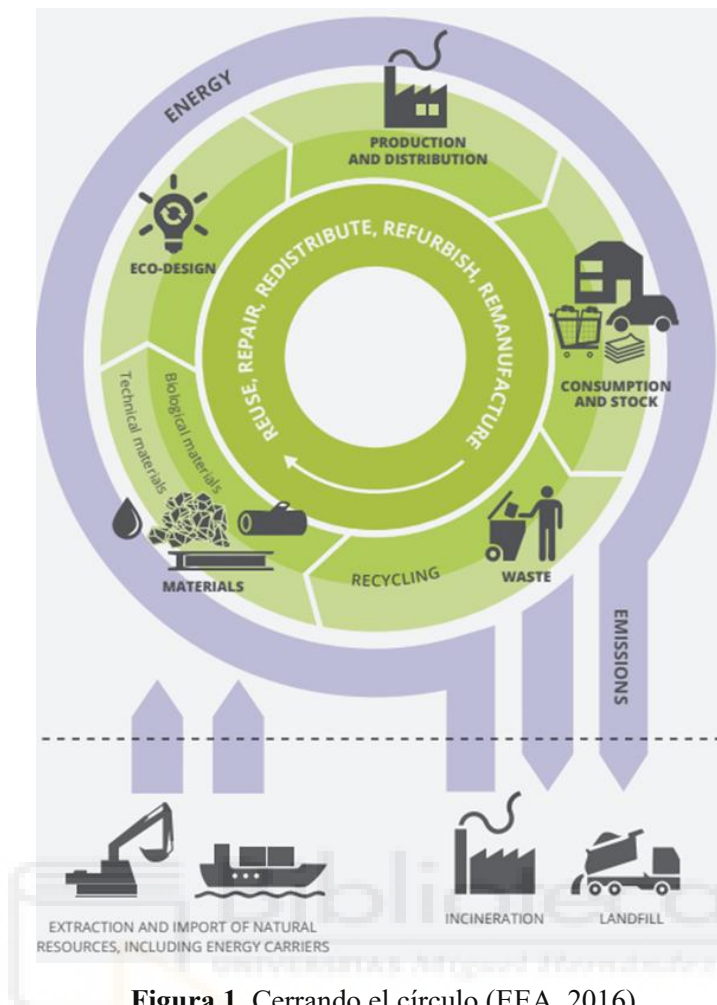


Figura 1. Cerrando el círculo (EEA, 2016)

En algunos países, tratamientos convencionales como la incineración, el uso de vertederos o de rellenos sanitarios, son técnicas estratégicas usadas para la eliminación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) (Rodrigo-Illarri et al., 2022). Estas técnicas, pese a los inconvenientes que conllevan, como por ejemplo la generación de nuevos residuos (cenizas de fondo) durante la incineración, son aún las principalmente elegidas (Chimenos et al., 1999). De modo que, se obtiene un nuevo residuo (secundario), que genera un nuevo problema y que requiere de una actuación adicional. En este caso, las cenizas de fondo, según la legislación española, deben recibir un tratamiento cuya finalidad es separar y recuperar las fracciones todavía útiles de los residuos incinerados aprovechando la parte restante, puesto que son una fuente rica en P y Ca (Chojnacka et al., 2019).

España, y otros países de su entorno, tienen la tecnología para dar tratamiento a los residuos. Por ejemplo, en la Comunidad Valenciana los RSU son empleados en una parte importante (están implicados hasta tres vertederos) para la obtención de biogás (Vargas-

Salgado et al., 2019). No desechar los RSU en vertederos y optar por otras opciones conlleva beneficios para el ambiente y la economía (Cerdeira et al., 2018).

Por lo tanto, opciones de biotransformación como la digestión anaerobia y el compostaje son propuestas para ser usadas como tratamientos biológicos en la valorización de residuos orgánicos (Qi et al., 2022). El compostaje es el proceso usado para transformar la materia orgánica biodegradable y biorrefractaria que poseen los residuos orgánicos. El manejo adecuado puede llegar a ser complejo por la variedad de su composición, inestabilidad y capacidad tóxica de la materia prima a transformar en subproductos aprovechables (Wang & Wu, 2021), por lo que es necesario conocer las propiedades de los residuos orgánicos a compostar (Bai et al., 2018; Pergola et al., 2018; Ojeda-Quintana et al., 2020; Goldan et al., 2023). Sin embargo, desde hace décadas, numerosos estudios científicos han sentado las bases que han servido para la promulgación de la actual Legislación Europea y Española que abala la transformación de los residuos orgánicos en bioproductos con valor añadido como enmienda orgánica humificada (compost) mediante procesos biológicos de mineralización de la materia orgánica (compostaje) (Cáceres et al., 2015; Chojnacka et al., 2019; Khiari et al., 2020).

La combinación de residuos de distinta naturaleza, es decir, diferentes materias primas de partida para la elaboración de compost, ha sido una buena alternativa para llevar a cabo tratamientos con un mayor rendimiento y aprovechamiento. Este, por ejemplo, es el caso de una institución en la India que empleó sus propios residuos sólidos generados en la cafetería de un instituto junto con residuos orgánicos procedentes de cortes de césped, poda de árboles, estiércol de vaca de la granja junto al instituto, desechos vegetales y aserrín, para llevar a cabo un proceso de compostaje en un tiempo corto, de 14 a 21 días, de esta manera, esta institución aprovechó los residuos generados y disminuyó la adquisición de fertilizantes orgánicos (Geethamani et al., 2021).

Las instituciones públicas y privadas son cada vez más conscientes de que el compostaje es el mejor camino para una gestión sostenible de los residuos. Un ejemplo de ello se observa con la iniciativa llevada a cabo en el sur de Asia, donde se han instalado más de 100 plantas de compostaje para procesar los residuos biodegradables, porque más del 60% de residuos sólidos municipales son de origen orgánico, de esta manera cierran el ciclo de dichos residuos (Roy et al., 2021).

El sector agroalimentario es uno de los de mayor importancia económica y, a su vez, uno de los que genera mayor cantidad de residuos orgánicos. Además, este sector económico tiene facilidad para incorporar los subproductos generados de la transformación de sus residuos como insumos de consumo propio. Algunos trabajos (Chojnacka et al., 2019) señalan los beneficios de usar compost elaborados con residuos vegetales de su propia industria. Por ejemplo, Mulidzi (2021) utilizó como materia prima para elaborar un compost que se consideró un fertilizante orgánico con valores nutricionales suficientes restos generados tras la elaboración de vino. No obstante, el subproducto obtenido se fue insuficiente a otros niveles de bienestar para la planta (Chojnacka et al., 2019; (Ozores-Hampton, 2019), de ahí que las opciones de mejora del compost mediante el empleo de microorganismos se planteen como una alternativa adecuada.

En definitiva, el compostaje es una de las técnicas que se puede desarrollar a cualquier escala (Sayara et al., 2020) y a la que se pueden acoplar el reciclado de prácticamente cualquier tipo de residuo orgánico (Dussi et al., 2018). Es un proceso necesario para dar un paso definitivo a la economía circular, donde se tenga en cuenta el medio ambiente, se propicie la reutilización de residuos tanto a gran escala como en cantidades mínimas para su aprovechamiento como enmienda agronómica, de modo que se pueda suplementar la nutrición del suelo y mejorar su bioactividad (Kuipers et al., 2022), sin olvidar la capacidad de mercantilización de este tipo de bioproductos, como han demostrado con gran éxito en algunas plantas de tratamiento de residuos de Cataluña (Cerdeira et al., 2018; Dussi et al., 2018; Sayara et al., 2020).

4.2. Beneficios del uso de compost como enmienda orgánica

Los beneficios del uso de compost como enmienda orgánica engloban tres aspectos fundamentales: el ambiental, el económico y el agronómico (Meyer-Kohlstock et al., 2013; Eldridge et al., 2018; Daskal et al., 2022) (Figura 2)

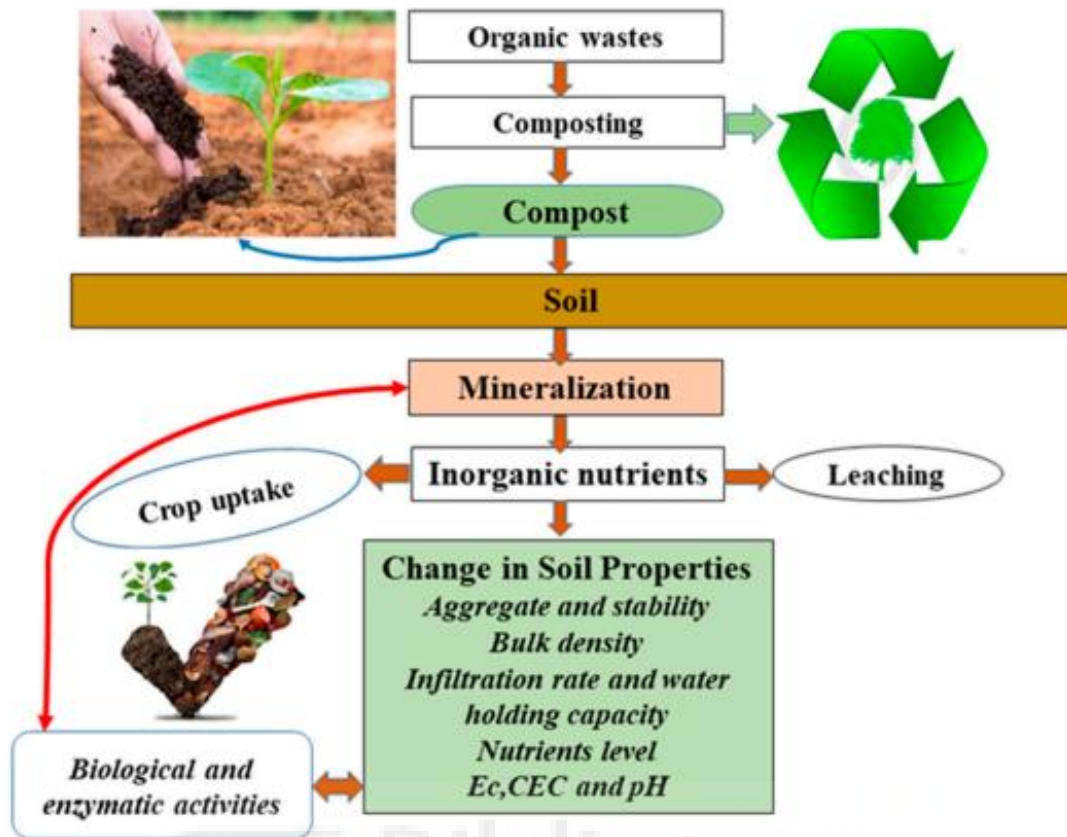


Figura 2. Diagrama esquemático de la mineralización del compost después de su aplicación al suelo. CE: Conductividad Eléctrica, CIC: Capacidad de intercambio catiónico (Sayara et al., 2020).

Aspecto **ambiental**: la mayoría de residuos orgánicos son depositados en vertederos, al realizar esta acción liberan una gran cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) como metano, dióxido de carbono y óxido nitroso (Rajaeifar et al., 2015). Esto se debe a su acumulación y descomposición, comenzando dentro del propio camión recolector de basura en el lapso de recogida y continuando tras ser colocados en el vertedero (Ulm et al., 2019). Por el contrario, cuando se destinan dichos residuos a procesos de biotransformación, como es el caso del compostaje, se consigue liberar menos cantidad de dichos gases, incluso el biometano generado puede ser usado como energía (Bong et al., 2017). Por otro lado, el suelo acumula más carbono que la atmósfera (González-Domínguez et al., 2019), al aplicar compost, aplicamos materia orgánica al suelo, aumentando las reservas de carbono orgánico. De este modo, el compostaje puede ayudar a contrarrestar el incremento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera (Burbano-Orjuela, 2018). No obstante, la retención del C dependerá del tipo de enmienda que se use en el proceso de compostaje, pues no es lo mismo usar estiércol de caballo, que

estiércol de oveja (Biala et al., 2021). Por lo tanto, este tipo de prácticas puede llegar a considerarse una herramienta para contrarrestar los efectos del cambio climático mediante el secuestro de C que, a su vez, contribuye a reducir la temperatura global (Kerr & Ochsner, 2020). Así mismo, el proceso de compostaje y la propia aplicación de compost tiene una utilidad ambiental adicional como herramienta biorremediadora. Algunos autores señalan su capacidad para remediar metales pesados y traza que contiene el suelo (Hashimoto et al., 2009; Lwin et al., 2018; Zeeshan et al., 2020), así como contaminantes orgánicos, como hidrocarburos de petróleo (Bastida et al., 2016).

Aspecto **económico**: el empleo del compost nos permite utilizar los desechos orgánicos, lo que implica la disminución de la dependencia de los fertilizantes inorgánicos. Además, se reduce el uso de vertederos (Farhidi et al., 2022), lo que significa así mismo la reducción de los costes de transporte (y, con ello, de la huella de carbono). En este sentido, la aplicación de compost ayuda a disminuir la movilización de metales como As y Cd (Alvarenga et al., 2022), así como contribuye a incrementar el valor nutricional de los cultivos, por ejemplo, gracias a la mayor presencia de formas de N, P, K, Na, Ca y Mg asimilables por las plantas (Seleiman et al., 2022; Gaikwad et al., 2021), y la presencia de biomoléculas de interés, como carotenoides, proteínas y aminoácidos (Xu & Mou, 2016; Kelley et al., 2020; Zhang et al., 2022). Todo esto implica un mayor rendimiento económico. Además, este tipo de prácticas tienen una alta incidencia en la generación de empleo en zonas rurales (Sharma et al., 2019).

Aspecto **agronómico**: el compost al poseer características bióticas y abióticas que influyen sobre la flora y fauna del suelo (Reppun et al., 2021) ayuda a remediar los suelos degradados (Somerville et al., 2019) mejorando sus propiedades físicas (Głąb et al., 2018) y químicas (Fuchs, 2017); devolviendo la fertilidad propia del suelo, y estimulando el crecimiento de los cultivos. En cuanto a las propiedades físicas, existen varios estudios que afirman que la aplicación de compost a suelos de textura arenosa ha mejorado su capacidad para retener la humedad gracias al aporte de materia orgánica, la cual variará según la dosis y calidad del compost (Weber et al., 2014). Esto se debe al incremento de la porosidad y aireación del suelo, lo que influye positivamente en la retención de agua y en la disminución de la densidad del suelo (Burg et al., 2019; Amer et al., 2023). En esta misma línea, se ha demostrado que tras aplicar compost se puede conseguir la recuperación de suelos baldíos y compactados, con una biodiversidad microbiana pobre, consiguiendo una mejora en la producción del cultivo (Beniston et al., 2016). En este

sentido, la aplicación de compost como enmienda orgánica proporciona un nivel de materia orgánica suficiente para que el suelo lo aproveche y mejore sus propiedades. Por ejemplo, Adeleke et al. (2021) aplicaron compost en cultivos de secano como el trigo y observaron que el rendimiento fue mayor y el beneficio sostenido en el tiempo, durante los tres años sucesivos (Weber et al., 2014; Beniston et al., 2016; Adeleke et al., 2021). Sin embargo, es importante tener presente que la calidad del compost depende del tipo, naturaleza y estacionalidad de los residuos usados (Elhamdouni et al., 2021; El Janati et al., 2022; Li et al., 2022; Seleiman et al., 2022). Además de los beneficios de las propiedades fisicoquímicas del suelo, la aplicación de materia orgánica procedente del compostaje se considera un tratamiento de saneamiento dentro de una agricultura sostenible (Hashimoto et al., 2009; Bastida et al., 2016; Lwin et al., 2018; Ren et al., 2018; Ulm et al., 2019; Wainaina et al., 2020; Gaikwad et al., 2021; Seleiman et al., 2022).

4.3. Microorganismos asociados al proceso de compostaje: autóctonos y alóctonos

En el compostaje predominan géneros microbianos en diferente abundancia y riqueza, según la materia prima compostada y los valores de determinados factores como la temperatura, el contenido en nutrientes, la concentración de oxígeno, el contenido en H₂O, la relación Carbono/Nitrógeno (C/NA) y el pH, entre otros (Camacho et al., 2014; Estrella-González et al., 2020). La alteración de estos factores repercute en cómo los microorganismos realizan sus funciones y contribuye a que cambie la sucesión de especies microbianas durante el proceso de compostaje (Yu et al., 2019) (Figura 3).

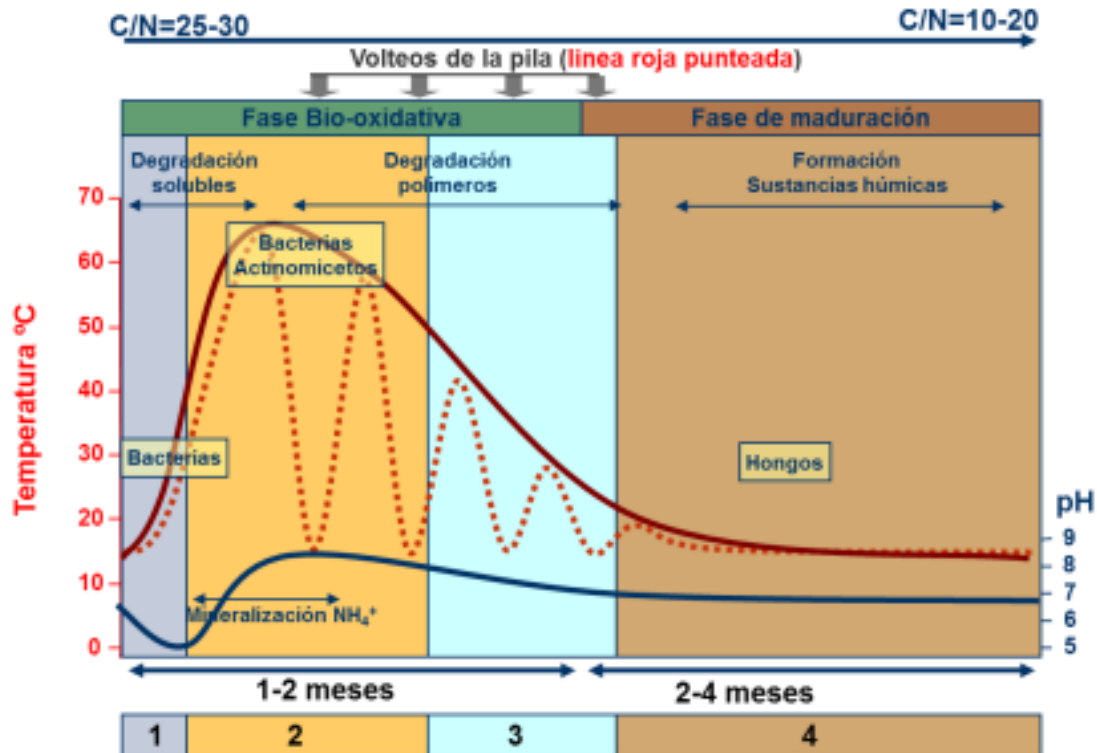


Figura 3. Sucesión microbiana en las distintas etapas del proceso de compostaje (Jurado, 2015).

En las últimas décadas, diferentes estudios han destacado la presencia de diversos géneros fúngicos a lo largo del proceso de compostaje, por ejemplo: *Aspergillus flavus* y *A. niger*, en la etapa mesófila; *A. terreus* y *A. fumigatus*, en la etapa termófila; así como otras especies de *Aspergillus* en las etapas de enfriamiento y maduración. De manera que se consideran géneros fúngicos predominando *Aspergillus* y *Penicillium*, seguidos de *Trichoderma*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Backusella*, *Ulocladium*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Scopulariopsis* y *Geotrichum*. Respecto al mundo procariota, se observa una alta incidencia de bacterias lignocelulolíticas al inicio del proceso que va descendiendo conforme el compost va madurando (Sánchez Gómez, 2009). En la etapa mesófila del compostaje se encuentran asociadas cepas de *Nitrosomonas*, *Thauera* y *Betaproteobacteria* que van disminuyendo en la etapa de maduración (Camacho et al., 2014; Kopeć et al., 2018; Malinowski et al., 2019; Yu et al., 2019; da Costa, 2020; Estrella-González et al., 2020; Guo et al., 2020). En general, destacan las siguientes familias de bacterias a lo largo del proceso *Alcaligenaceae*, *Alteromonadaceae*, *Bacillaceae*, *Burkholderiaceae*, *Bradyrhizobiaceae*, *Caryophanaceae*, *Caulobacteraceae*, *Cellulomonadaceae*, *Clostridiaceae*, *Comamonadaceae*, *Corynebacteriaceae*, *Enterobacteriaceae*, *Flavobacteriaceae*, *Flexibacteraceae*,

Hyphomicrobiaceae, *Intrasporangiaceae*, *Methylobacteriaceae* o *Microbacteriaceae* (Jurado, 2015).

Esta **microbiota autóctona** asociada al proceso de compostaje corresponde a aquellos microorganismos que están presentes en la propia materia prima (residuos) y que participan en su transformación desde las etapas más tempranas de descomposición hasta la etapa final de maduración (Sánchez -Gómez, 2009). Por ello, este tipo de microbiota está estrechamente asociada a la composición de los residuos a compostar. De este modo, materias primas tan particulares (Petersen et al., 2022) como los restos de conchas, se han asociado con la presencia de microorganismos degradadores de quitina (Yurgel et al., 2022), así como en los restos procedentes de la fermentación de granos de café despulpados (Silva Vale et al., 2021), se aislaron microorganismos productores de ácido láctico y otros compuestos volátiles, como: *Leuconostoc*, *Gluconobater*, *Pichia*, *Hanseniaspora* y *Candida* (Sánchez Gómez, 2009; Silva-Vale et al., 2021).

Por su parte, se consideran **microorganismos alóctonos** al proceso de compostaje a aquellos que proceden de otros ambientes y han sido sometidos a procesos previos de aislamiento y cultivo y que, posteriormente, son inoculados en alguna de las etapas que definen el compostaje, con objeto de optimizar el proceso (Jurado et al., 2014). Sin embargo, se debe tener en cuenta la posible competencia que pueda surgir con la microbiota autóctona (De la Mora, 2016; Zhai et al., 2023). Tao et al. (2019) llegaron a la conclusión de que la competencia entre autóctonos y alóctonos desfavorece la supervivencia de los microorganismos inoculados. Sin embargo, otros autores demostraron la buena adaptación de determinados microorganismos como *Pseudomonas aeruginosa*, aislada de suelos contaminados con petróleo en India, que mostró un alto potencial de biorremediación *ex situ* e *in situ* (Xi et al., 2012, 2015; Varjani & Upasani, 2016; Zhang et al., 2016). De hecho, hay antecedentes de que la aplicación de bacterias degradadoras de hidrocarburos en el compost mejora la eficacia de degradación de contaminantes (Abtahi et al., 2020), ayudando a su vez a maximizar el efecto positivo de otros organismos, como el hongo *Trametes versicolor*, sobre la disminución de contaminantes orgánicos (Sayara et al., 2011; Varjani, 2017). Estimular la actividad de los microorganismos autóctonos en el compostaje mediante la adición de muestras de otros compost, también puede resultar una estrategia eficaz de incorporación de microbiota externa que estimule el proceso (Tang et al., 2016). Pese a ello, la inoculación con microorganismos puede afectar a la progresión de la comunidad nativa y su ventaja

competitiva sobre los inóculos también puede verse afectada en función del organismo u organismos introducido en el sistema (Tao et al., 2019). Por lo tanto, los procesos de bioaumentación requieren de caracterizaciones y ensayos previos *in vitro*.

Cuando se emplean microorganismos alóctonos en estrategias de bioaumentación que implementan los tratamientos de biotransformación ocurridos en los procesos de compostaje, una opción interesante es la bioprospección en procesos de compostaje previos, ya que se trata de un ambiente muy competitivo en el que se suceden etapas con condiciones muy inhóspitas que dejar a relucir microbiota resistente, con capacidades interesantes y diversas. Debido a que la fase mesófila y termófila del compostaje es donde se produce la degradación de los materiales más fácilmente asimilables y, por tanto, la actividad es más intensa, intervienen numerosos microorganismos, lo que convierte a esta fase en un momento de enorme diversidad de cepas microbianas con potencial como inoculantes (Demichelis et al., 2017; Awasthi et al., 2018). En cualquier caso, cualquier ambiente, especialmente aquellos que se constituyen de materiales recalcitrantes o están sometidos a factores ambientales o fisicoquímicos adversos, pueden constituir una fuente de microorganismos con capacidades de interés para ser empleados como inoculantes en estrategias de bioaumentación.

A continuación, se muestran diferentes tipos de microorganismos aislados de ambientes distintos y con interés para su empleo como inoculantes (Tabla 1 y Tabla 2):

Tabla 1. Recopilación de referencias bibliográficas que recogen microorganismos de interés como inoculantes procedentes de diferentes tipos de muestras.

MICROORGANISMO	PROCEDENCIA	BENEFICIO	REFERENCIA
<i>Trichoderma viride</i> , <i>Aspergillus niger</i> y <i>Aspergillus flavus</i>	Compostaje de desechos sólidos municipales	Degradación de la fracción orgánica, mineralización de C y N, logrando madurez rápida y eliminando fitotoxinas	(Awasthi et al., 2014)
<i>Bacillus</i> , <i>Sphingobacterium</i> , <i>Saccharomonospora</i> y <i>Bacteroidetes</i>	Compostaje de cascaras de cítricos	Benéfico para eliminar sustancias recalcitrantes, disminuye las cantidades de pectina y celulosa conduciendo a una maduración rápida	(Wang et al., 2019)

<i>Bacillus</i> , <i>Actinobacterias</i> , <i>Ascomycota (Aspergillus fumigatus)</i> y <i>Basidiomycota</i>	Compost de residuos de hierbas medicinales chinas	Degradación de lignocelulosa	(Tian et al., 2017)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Suelo contaminado con petróleo crudo	Degradar el petróleo crudo en suelos contaminados por el mismo	(Mukjang et al., 2022)
<i>Alcaligenes</i> , <i>Enterobacter</i> y <i>Bacillus</i>	Compostaje de paja de arroz y estiércol de cerdo	Disminución en el contenido de lignocelulosa y mejora la eficiencia de la degradación de residuos de biogás, promueve la eliminación de ARG.	(Zhong et al., 2021)

Tabla 2. Recopilación de referencias bibliográficas que recogen microorganismos de interés que han sido aplicados como inoculantes en función de características específicas.

MICROORGANISMO	INOCULACIÓN	CARACTERÍSTICA DISTINTIVA	REFERENCIA
<i>Bacillus altitudinis</i> , <i>Bacillus subtilis sub sp.</i> , <i>Stercoris</i> y <i>Acinetobacter pittii</i>	Compostaje de heces de gallina y paja de maíz	Índice de germinación alto	(Wan et al., 2020)
<i>Pythium irregulare</i>	Compost realizado con desechos de poda de viña, restos de tomate y de orujos	PATÓGENO	(Hernández-Lara et al., 2022)
<i>Aspergillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Truopera</i> y <i>Luteimonas</i>		supresores potenciales	

En relación a la información recopilada sobre los microorganismos de mayor interés para su aplicación como inoculantes en procesos de compostaje, cabe destacar la microbiota lignocelulolítica. A pesar de estar presentes de forma natural en los materiales vegetales, la incorporación de bacterias y hongos productores de enzimas ligninasas ayuda a acelerar el proceso de degradación de materia orgánica y aumenta las liberaciones de CH₄ en las últimas etapas termófilas, gracias a la promoción del crecimiento de cepas pertenecientes al género bacteriano *Ureibacillus* (Yu et al., 2023).

Yu et al. (2020) inocularon microorganismos degradadores de lignocelulosa y observaron que se redujeron las emisiones de NH₃ y N₂O. Según Harindintwali et al. (2020), el uso

de microorganismos celulolíticos y fijadores de nitrógeno para el compostaje se ha convertido en un método prometedor para mejorar el proceso de compostaje de residuos lignocelulósicos y la calidad del compost obtenido.

Uno de los riesgos que se presentan a la hora de realizar una bioprospección microbiana a partir de muestras de compostaje es la posible presencia de antibióticos en la muestra, ya que pueden interferir en la microbiota del proceso (Zhang et al., 2021) e incluso estar ligado a la presencia de genes de resistencia (Hu et al., 2019). Esto está especialmente asociado a residuos de origen animal (Riaz et al., 2020). Sin embargo, se ha demostrado que el propio proceso de compostaje, llevado a cabo en las condiciones adecuadas, permite disminuir el nivel de antibióticos en la muestra. De igual forma, residuos que contengan metales pesados pueden alterar a la sucesión y evolución microbiana durante el proceso de compostaje causándoles estrés, en incluso llevando a una severa pérdida de viabilidad a grupos estrechamente relacionados con las tareas de biotransformación (Chen et al., 2020).

Cabe recalcar que la adición de microorganismos beneficiosos al compost no es el único tipo de inoculación investigada en este tipo de procesos. También existen estudios muy interesantes sobre la incorporación de microorganismos patógenos al compost con objeto de observar el comportamiento de los microorganismos nativos. En este sentido, Wang et al. (2022), observaron que se establecía una competencia entre la microbiota asociada a restos lácteos y avícolas y la bacteria patógena *Listeria*, tras ser esta última inoculada durante el proceso de compostaje, mostrando el papel antagónico de la microbiota nativa frente a este tipo de patógenos por la producción de péptidos antimicrobianos y la competencia por nutrientes (Tan et al., 2019; Wang et al., 2021). Sin embargo, las contribuciones alóctonas son beneficiosas para mantener o añadir la productividad del compost en este sentido (Insam et al., 2017).

4.4. Microorganismos beneficiosos presentes en el suelo de montaña

El suelo de montaña se caracteriza por la presencia de material vegetal, especialmente hojas desprendidas de los árboles y otras plantas, que pertenecen al sistema y que ayudan a que el ecosistema que se genera en estos suelos sea muy rico y diverso, apto para la proliferación microbiana (Delgado-Baquerizo et al., 2018). Por ejemplo, en un estudio realizado en suelos de bosques del sur de China donde la flora principal es *Eucalyptus urophylla* y *Pinus elliottii*, se encontró la presencia de una gran cantidad de filos

microbianos distintos: *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Acidobacteria*, *Verrucomicrobia* y *Chloroflexi* (Zhao et al., 2021).

Como en cualquier ambiente, la microbiota está estrechamente relacionada con el material presente en el ambiente, en este caso, con las especies vegetales principalmente (Mitchell et al., 2012). En este sentido, en trabajos de prospección microbiana llevados a cabo en bosques con plantaciones mixtas de *Eucalyptus grandis* y *Acacia mangium*, se observó la existencia de forma mayoritaria de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Sphingomonas* (Pereira et al., 2019). Por su parte, la incorporación a los bosques de *Acacia mangium*, se asocian con incremento muy significativo de las poblaciones microbianas (Ranieri et al., 2018). Algo similar ocurre con la incorporación de plantaciones de *Pinus caribaea*, específicamente asociados al incremento en la diversidad de hongos en el suelo (Fang et al., 2023), mientras que algunos estudios mencionan la posibilidad de que la microbiota fúngica se vea reducida cuando se introducen plantaciones de *Eucalyptus* spp. (Castaño et al., 2019). Por su parte, los bosques de abedul se asocian con elevados niveles de actinomicetos (Zhao et al., 2019); y los suelos con viñedo, con hongos de las clases Sordariomycetes y Dothideomycetes (Winsome et al., 2017; Xue et al., 2022). Zhu et al. (2022) detectaron además la presencia de cianobacterias en el entorno de la rizosfera, así como otros grupos microbianos particulares como *Acidobacterias*, *Gemmatimonadetes*, *Bacteroidetes* y *Verrucomicrobia* (Tkacz et al., 2015).

No sólo el material vegetal asociado al tipo de bosque, sino también la situación geográfica, influyen en la microbiota asociada al suelo de montaña. En suelos de montaña poblados eminentemente con *Pinus uncinata* al norte de España, se observó que los gradientes altitudinales afectaban a las comunidades de hongos micorrízicos, pero también a bacterias y actinomicetos (Gazol et al., 2022). Igual ocurre en bosques de *Solidago virgaurea* L. o *Calamagrostis purpurea* Trin., respecto a la proliferación de hongos micorrízicos (Waller et al., 2020). Del mismo modo, la situación de inclinación de las montañas también puede afectar al tipo de microbiota presente. Tang et al. (2022) y Zhan, (2018), asociaron a montañas con pendientes poco pronunciadas una mayor incidencia de bacterias del tipo *Rhizobiales* y *Gaiellales*, además de *Proteobacterias*, *Acidobacterias*, *Actinomycetes*. Otra cuestión para tener en cuenta es el nivel de profundidad de toma de muestra en los suelos estudiados, ya que esto también influye en el tipo de microbiota encontrada. Steidinger et al. (2019) encontraron nichos microbianos

específicos y diferenciados en las distintas capas del suelo. De modo que, en la capa de entre 10-15 cm, desde la superficie, además de bacterias, podían observarse hongos y arqueas, pero a medida que existía profundidad, la composición variaba, seguramente debido a la presencia o ausencia de raíces, en cada caso, y a su forma de distribuirse por el suelo (Siles & Margesin, 2016).

Así mismo, las características físicas y químicas de cada tipo particular de suelo afectan a su composición microbiana (Seipel et al., 2019). Por ejemplo, los suelos minerales se asocian con una alta presencia de hongos del tipo *Ascomycota*, *Basydiomycota* y *Zygomycota* (Ding et al., 2017). La cantidad de agua libre en el suelo, por su parte, puede afectar a la actividad biológica de los microorganismos y, por ende, a la cantidad y tipos de microorganismos presentes en el suelo (Eldridge et al., 2017). A este respecto, se ha comprobado que las comunidades bacterianas suelen ser más resistentes a la sequía que las fúngica y, por supuesto que los organismos ciliados, las amebas o los protozoos, pero son menos resilientes (Kaisermann et al., 2017; Olatunji et al., 2018; Vries et al., 2018; Fang et al., 2023). Así mismo, la conjugación de especies vegetales y la concentración de agua en el suelo, en función de si son más o menos demandantes de este recurso, está asociada a nichos microbianos particulares (Ma et al., 2020; Wu et al., 2023a). Por ejemplo, Wu et al. (2023b) observaron que en los suelos húmedales boscosos y arbustivos, los hongos ectomicorrízicos destacaban dentro de las comunidades fúngicas. He et al. (2020) concluyeron que en bosques de coníferas había una mayor producción de hongos ectomicorrízicos en comparación con bosques de hoja ancha. Además, las lluvias también son un factor que altera la presencia de comunidades microbianas del suelo al igual que la sequía (Fu et al., 2020). El pH es otro factor capaz de modificar el tipo de microbiota del suelo. Clavel et al. (2021) asociaron bajos valores de pH con una mayor proliferación de especies de ectomicorrizas y ericoides-micorrizas. Por el contrario, Steidinger et al. (2019) indicaron que los hongos son más abundantes en suelos con valores un poco más elevados de pH. (Olatunji et al., 2018).

Las heces, orina, y la compactación del suelo debidas al pastoreo también influyen en la microbiota del suelo forestal. Algunos trabajos identifican un incremento en el filo *Proteobacteria* y desaparición de los géneros de arqueas cuando se llevaba a cabo la actividad de pastoreo de ovejas en suelos forestales de montaña (Larreguy et al., 2017; Marcos et al., 2019). Otras actividades externas al ecosistema, como las consecuencias de un incendio, pueden suponer un cambio de caracterización radical de las poblaciones

microbianas del suelo. Esto se ha observado especialmente en la disminución, en dichas situaciones, de la biomasa de hongos micorrícicos (Mitchell et al., 2012; John et al., 2017; Moreno-Reséndez et al., 2018; Ranieri et al., 2018; Pereira et al., 2019; Seipel et al., 2019; Zhao et al., 2019; Zheng et al., 2019; Ma et al., 2020; Meléndez-Jácome et al., 2021; Xue et al., 2022; Wu et al., 2023). Se asume que esto ocurre por el estrés del ecosistema al completo tras incendiarse el bosque.

Finalmente, el cambio climático, de forma indirecta, también está afectando al papel de la microbiota en los suelos de montaña (Porazinska et al., 2021; Guo et al., 2023; Venice et al., 2023). A pesar de que la propia variación del clima entre estaciones afecta de por sí a la multiplicación y el desarrollo de los microorganismos, especialmente a las bacterias que en temporadas más frías ralentizan su actividad (Weil et al., 2021), la diversidad y riqueza de las especies de los ecosistemas montañosos vulnerables se ha visto disminuida debido al calentamiento global generalizado (Totubaeva et al., 2022). La alteración de los suelos conlleva una acusada afectación de su fertilidad que se traduce, a su vez, en una menor biodiversidad. Weil et al. (2021) relacionaron la presencia de comunidades de hongos subterráneos con ciclos más lentos en suelos con fertilidad baja. No obstante, existen una serie de especies consideradas más resistentes. En el caso de los hongos, destacan *Aspergillus* y *Penicillium*; en el caso de las bacterias, *Streptomyces* (*S. albus* y *S. cinereus*), *Acidothermus*, *Mycobacterium* y *Nocardia* (Šimonovičová et al., 2019). Una cuestión interesante, es el hecho de que algunos autores hayan encontrado hongos resistentes a las altas temperaturas del suelo tras sufrir incendios en zonas de montaña (Fleischer et al., 2017).

4.5. Métodos de aislamiento y formulación de inoculantes microbianos

El empleo de microorganismos como inoculantes puede tener varias presentaciones en función del objetivo de uso de cada cepa o conjunto de ellas. Por ello, existen diversas y peculiares técnicas para el enriquecimiento de muestras ambientales de modo que se consiga una mayor proliferación de grupos microbianos concretos. Por ejemplo, el uso de materiales como panela y melaza han sido considerado como “cebo” para el aislamiento de microorganismos nativos (Yadav et al., 2021). Mientras que Balogun et al. (2016) añadieron arroz como carbohidrato para detectar microorganismos autóctonos de un bosque maduro, después de 7 días recolectaron las trampas y añadieron azúcar como fuente de alimento para los microorganismos recolectados y de esta manera consiguieron

su activación. Tras el enriquecimiento, el aislamiento a nivel de laboratorio y la posterior formulación microbiana previa a su aplicación, permiten realizar investigaciones sobre microorganismos que habitan en distintos ecosistemas, aprovechando la diversidad microbiana superficial del suelo, alrededor de la vegetación y en su raíz (Kurup et al., 2016; Ahmad et al., 2018).

Una vez realizado el aislamiento de cualquier microorganismo en el laboratorio, es necesaria su identificación. Primero morfológica, macro y microscópicamente, y finalmente molecular, siempre que sea posible (Pant et al., 2023; Oljira et al., 2018). La tinción de GRAM y las pruebas bioquímicas, y de cultivo, son adecuadas y suficientes para ofrecer una imagen aproximada del tipo de aislado (Foysal & Lisa, 2018; Mir et al., 2022; Wulff et al., 2002). Nor (2020) usaron muestras de suelo colindante al cultivo de palma aceitera con la finalidad de aislar bacterias beneficiosas del grupo de los Estreptomicetos de la zona de la rizosfera usando el método de dilución en placa para su posterior recuento, técnicas de difusión cruzada, en pozos de agar y en disco para la detección primaria, secundaria y final de su potencial antagónico frente a otras especies, de modo que permitió además su (Ram & Pandya, 2022). El uso de medios en placa selectivos, aplicando por ejemplo antibióticos (como el cloranfenicol en el medio selectivo para hongos Rosa de Bengala) y diferenciales, aplicando por ejemplo sustratos difíciles de degradar por determinados grupos microbianos (como la diferenciación entre fermentadores y no de lactosa entre el grupo de enterobacterias o la adición de endosulfán y lindano como fuentes de C y S, respectivamente, para aislar microorganismos degradadores de insecticidas) (Siddique et al., 2003; Wu et al., 2021), contribuye al aislamiento y obtención de cultivos puros, mientras que los medios líquidos son, en ocasiones, necesarios para la reactivación celular de los cultivos (Sano et al., 2020; Shanmugam et al., 2023; Komplikevych et al., 2023). Un ejemplo curioso es el aislamiento de actinomicetos a partir de esponjas y suelos marinos aplicando el método de dilución en placa y siembra en medio con agar conteniendo caseína, almidón, telurito de potasio y agar Kuster (Kurup et al., 2016). Esto a su vez está relacionado con el uso de medios de enriquecimiento, muy usado y con mucho éxito, para el aislamiento selectivo de bacterias solubilizadoras de fosfato procedentes de suelos (Patel et al., 2022).

La temperatura, el tiempo de incubación empleado tras la siembra (Gulcicek, 2019) o el tamizado de las muestras previamente a la siembra, especialmente cuando se trata de muestras de suelo con agregados debido a la presencia de nichos microbianos formadores

de nódulo (Bach et al., 2018; Geisen et al., 2018; Wilpiszski et al., 2019; Liao et al., 2021), son factores muy importantes para poder seleccionar un tipo de microorganismo concreto.

Una vez aislado y caracterizado el microorganismo de interés, es necesario elaborar una aproximación adecuada respecto al modo de aplicación, teniendo en cuenta el tipo de microorganismo, el ambiente y, en el caso concreto del proceso de compostaje, la etapa en la que llevarla a cabo. El inoculante viable a formular dependerá de la concentración de las células de los microorganismos, el tipo de producción (sólida – líquida) y la vida útil, así como las condiciones posteriores de almacenamiento para garantizar el mayor rendimiento posible y favorecer la supervivencia celular ((Lobo et al., 2019; Buernor et al., 2022). Un ejemplo de ello es el uso del método de encapsulación con alginato (Arbaugh et al., 2022), u otros polisacáridos (Palhares-Farias et al., 2022), ya que, como ocurre en la naturaleza, los microorganismos pueden valerse de sus exopolisacáridos para protegerse de los efectos nocivos del ambiente en el suelo y a un bajo costo (Zhang et al., 2014; Huang et al., 2015; Liu et al., 2016). Además, estas sustancias permiten una liberación lenta de los microorganismos o de alguno de sus compuestos químicos de interés, por ejemplo, en tareas de estimulación del crecimiento o la resistencia vegetal o cuando se emplean como agentes biopesticidas o biofertilizantes (Florencio et al., 2022). Sin embargo, este tipo de formulación microbiana parece poco rentable para su aplicación en muestras de compostaje, por lo que se plantean otras opciones como la **formulación microbiana líquida** (Figura 4), empleado con éxito con cepas de *Lactobacillus plantarum*, *Candida utilis* y *Streptomyces albus* aplicados como un cóctel microbiológico para optimizar la degradación de restos de fruta (Namasivayam & Bharani, 2012). Diferentes combinaciones microbianas con la adición de ingredientes concretos se han empleado en formato líquido para su aplicación directa en las muestras ambientales a tratar (Naik et al., 2020). Arfarita et al. (2020), usaron la fermentación de excrementos de lombrices, estrategia conocida como *wermiwahs*, con agua de peptona y melaza, como biofertilizante para inocular tres tipos de microorganismo *Bacillus licheniformis*, *Pantoea ananatis*, *Pseudomonas plecoglossicida*. A esta versión líquida se le ha sumado alginato para intentar mejorar su adaptación y establecimiento en los ambientes a colonizar. Por ejemplo, Buntic et al. (2019) usaron caldo de manitol de levadura con la adición de agar, alginato de sodio, cloruro de calcio, glicerol y cloruro férrico, como medio base para la

adición de inoculantes líquidos a base de la bacteria *Ensifer meliloti*, obteniendo mayor eficiencia de supervivencia (hasta 150 días).



Figura 4. Bioformulación microbiana en formato líquido e inoculación de un proceso de compostaje de residuos hortícolas: estrategia de bioaumentación (Jurado, 2015).

La **formulación microbiana sólida** consiste en el uso de muestras solidas que sirven como vehículo de microorganismos (por ejemplo, sustratos tipo compost, vermicompost o biochar) (Vassilev et al., 2020). El compost es considerado el transporte ideal para la incorporación al suelo (o a otros procesos de compostaje) de los microorganismos debido a que el contenido en ácidos húmicos ayuda a la colonización de las raíces por los microorganismos nativos (Pukalchik et al., 2019; Santos et al., 2021).

En la actualidad, existen algunos ejemplos de microorganismos producidos como inoculantes microbianos con éxito, especialmente en el ámbito de la agrobiotecnología, donde se ha conseguido controlar enfermedades tan severas como las provocadas por el agente fitopatógeno *Botrytis cinerea* en lechuga, aplicando de forma directa un consorcio bacteriano formado por *Paenibacillus pasadenensis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Pseudomonas syringae* (Cocetta et al., 2021). Así mismo, otros ejemplos de inoculantes microbianos en comercialización incluyen cepas de los géneros *Azotobacter*, *Bacillus*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Serratia* y *Rhizobium*., Aun así, el estudio del aislamiento de microorganismo de ambientes concretos, como el suelo de montaña, y la investigación en el desarrollo de formulaciones adecuadas para su aplicación en distintos ambiente, merece prestar atención por su utilidad potencial (Vishwakarma et al., 2020).

Por lo tanto, ya sea su aplicación directa o indirecta usando compost es aprovechable

A su vez Wu et al. (2019), sugieren que los inoculantes comerciales mejoran el proceso de compostaje al realizar un pretratamiento de la paja, pero no lo recomienda ya que mostro muy poco efecto en la mejora del compost.

4.6. Mejora de compost con microbiota edáfica: compost a la carta

Los microorganismos beneficiosos aislados de suelos de montaña tienen el propósito de mejorar el proceso de compostaje, las muestras de compost, enriqueciendo o estimulando determinadas características cuando se aplican como enmiendas orgánicas, ya que ayudan en la degradación de materiales lignocelulósicos o mejoran la mineralización, disminuyendo el tiempo de maduración (Peralta-Antonio et al., 2019; Ney et al., 2019).

La inoculación de microorganismos nativos del suelo es beneficiosa y más cuando es añadido al compost (Ney et al., 2018). En su investigación Hu & Qi, (2013) usaron microorganismos edáficos como: *Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus*, añadiendo a un compost a base de paja, estiércol de vaca, desechos prensados de semillas de algodón, salvado y azúcar que se aplicó como enmienda 2 veces al año en cultivo de trigo y después en el cultivo de maíz de verano, observando los efectos en la altura de la planta, llenado del grano y espiga mejorando su biomasa (Ney et al., 2019) deduciendo que la aplicación del compost con microorganismos nativos fue mejor que aplicarlo solo.

La mayoría de los estudios sobre microorganismos recolectados se centra en la aplicación directa al suelo de forma líquida al follaje o edáfica, muy pocos estudios consideran al compost como transporte de microorganismos nativos que han sido recolectados de suelos montañosos (Campo-Martínez, 2014; Campos-Rodríguez et al., 2016; Y. Wang et al., 2022; W. Yang & Zhang, 2022), han usado el compost maduro como una alternativa de inoculante microbiano añadiéndolo al inicio del proceso de compostaje, debido a la probabilidad de abundancia de microorganismos en la etapa de maduración “compost maduro”.

Como se ha mencionado anteriormente, algunos de los beneficios más destacados conseguidos al aplicar microorganismos, de una u otra forma, al proceso de compostaje son la mineralización y la humificación del compost. Aunque este trabajo pone en foco en la bioaumentación (inoculación microbiana), es interesante incluir el concepto de bioestimulación, mediante la adición de sustancias que aporten nutrientes o de algún modo estimulen el crecimiento de la microbiota nativa o adicionada, como es el caso de la estruvita que aporta fósforo durante el compostaje (Li et al., 2022). En cualquier caso, y aunque la bioaumentación del compostaje cuenta con precedentes de investigación, la producción de compost a medida de las necesidades de la persona o entidades

demandantes es una práctica poco implantada, ya que la industria está acostumbrada a la homogenización de sus productos y, en este caso, las materias primas de partida son complejas. En la misma línea, la investigación sobre la microbiota perteneciente a Suelos de Montañana, en general, y para el propósito de ser aisladas y formuladas como inoculantes de interés biotecnológico en agricultura y tareas ambientales, en particular, es un campo poco estudiado y que merece poner un foco sobre ello puesto que los antecedentes planteas un futuro a corto y medio plazo prometedor con este tipo de microorganismos.

4. Conclusiones

Tras la revisión de la literatura científica consultada, en este trabajo se extrajeron las siguientes conclusiones:

- i. El proceso de compostaje sigue siendo la alternativa prioritaria para la gestión y valorización de residuos orgánicos. Los beneficios de la aplicación de compost como enmienda orgánica al suelo son evidentes, aun así, ante las demandas de una agricultura cada vez más sostenible, el uso de microorganismos como inoculantes constituye una herramienta biotecnológica muy interesante para la elaboración de bioproductos mejorados y personalizados en función de las demandas actuales.
- ii. El suelo de montaña es un hábitat rico en microorganismos diversos como las bacterias de los géneros *Bacillus*, *Rhizobium* y *Streptomyces*; los hongos de las divisiones Ascomycota, Basidiomycota, y Zygomycota, y arqueas de los filos Euryarchaeota y Thaumarchaeota, que varían en función de factores tan variados como las condiciones climáticas, el tipo de vegetación, los valores de pH del suelo o la presencia de animales. No obstante, este ambiente ha sido poco explorado y explotado por lo que el estudio de su microbioma abre nuevas vías para el desarrollo de herramientas microbiológicas de importancia económica en procesos de Biotecnología agrícola y ambiental.
- iii. Los estudios relativos a la recolección de microorganismos edáficos en ecosistemas montañosos para su posterior empleo como herramientas biotecnológicas, específicamente en estrategias de bioaumentación de compostaje, son escasos o nulos. Sin embargo, en base a trabajos previos, de

características similares, pero basados en otro tipo de ambientes, que emplean microorganismos como inoculantes, se puede presumir que el aislamiento y caracterización de los microorganismos de montaña y su posterior formulación e incorporación durante alguna de las etapas del proceso de compostaje, permitirá la optimización de este proceso y del producto finalmente obtenido. Además, las capacidades que pueden portar microorganismos aún sin estudiar, pueden proveer de nuevas y particulares funcionalidades a los compost, satisfaciendo un amplio abanico de necesidades.



5. Bibliografía

1. Abtahi, H., Parhamfar, M., Saeedi, R., Villaseñor, J., Sartaj, M., Kumar, V., Coulon, F., Parhamfar, M., Didehdar, M., Hamed seifi, & Koolivand, A. (2020). Effect of competition between petroleum-degrading bacteria and indigenous compost microorganisms on the efficiency of petroleum sludge bioremediation: Field application of mineral-based culture in the composting process. *Journal of Environmental Management*, 258, 110013. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110013>
2. Adeleke, K. A., Atoloye, I. A., Creech, J. E., Dai, X., & Reeve, J. R. (2021). Nutritive and non-nutritive effects of compost on organic dryland wheat in Utah. *Agronomy Journal*, 113(4), 3518–3531. <https://doi.org/10.1002/agj2.20698>
3. Ahmad, M., Pataczek, L., Hilger, T. H., Zahir, Z. A., Hussain, A., Rasche, F., Schafleitner, R., & Solberg, S. Ø. (2018). Perspectives of Microbial Inoculation for Sustainable Development and Environmental Management. *Frontiers in Microbiology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02992>
4. Alvarenga, P., Fernández-Rodríguez, D., Abades, D. P., Rato-Nunes, J. M., Albarrán, Á., & López-Piñeiro, A. (2022). Combined use of olive mill waste compost and sprinkler irrigation to decrease the risk of As and Cd accumulation in rice grain. *Science of The Total Environment*, 835, 155488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155488>
5. Annala, M. J., Lehosmaa, K., Ahonen, S. H. K., Karttunen, K., Markkola, A. M., Puumala, I., & Mykrä, H. (2022). Effect of riparian soil moisture on bacterial, fungal and plant communities and microbial decomposition rates in boreal stream-side forests. *Forest Ecology and Management*, 519, 120344. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120344>
6. Arbaugh, B. M., Rezaei, F., Mohiti-Asli, M., Pena, S., Scher, H. B., & Jeoh, T. (2022). A Strategy for Stable, On-Seed Application of a Nitrogen-Fixing Microbial Inoculant by Microencapsulation in Spray-Dried Cross-linked Alginates. *ACS Agricultural Science & Technology*, 2(5), 950–959. <https://doi.org/10.1021/acsagscitech.2c00107>

7. Arfarita, N., Lestari, M. W., & Prayogo, C. (2020). Utilization of Vermiwash for the Production of Liquid Biofertilizers and Its Effect on Viability of Inoculant Bacteria and Green Bean Germination. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 42(1). <https://doi.org/10.17503/agrivita.v42i1.2263>
8. Awasthi, M. K., Selvam, A., Chan, M. T., & Wong, J. W. C. (2018). Biodegradation of oily food waste employing thermophilic bacterial strains. *Bioresource Technology*, 248, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.115>
9. Balogun, R. B., Ogbu, J. U., Umeokechukwu, E. C., & Kalejaiye-Matti, R. B. (2016). *Effective Micro-organisms (EM) as Sustainable Components in Organic Farming: Principles, Applications and Validity* (pp. 259–291). https://doi.org/10.1007/978-3-319-26803-3_12
10. Bastida, F., Jehmlich, N., Lima, K., Morris, B. E. L., Richnow, H. H., Hernández, T., von Bergen, M., & García, C. (2016). The ecological and physiological responses of the microbial community from a semiarid soil to hydrocarbon contamination and its bioremediation using compost amendment. *Journal of Proteomics*, 135, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2015.07.023>
11. Beniston, J. W., Lal, R., & Mercer, K. L. (2016). Assessing and Managing Soil Quality for Urban Agriculture in a Degraded Vacant Lot Soil. *Land Degradation & Development*, 27(4), 996–1006. <https://doi.org/10.1002/ldr.2342>
12. Biala, J., Wilkinson, K., Henry, B., Singh, S., Bennett-Jones, J., & De Rosa, D. (2021). The potential for enhancing soil carbon levels through the use of organic soil amendments in Queensland, Australia. *Regional Environmental Change*, 21(4), 95. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01813-y>
13. Bong, C. P. C., Lim, L. Y., Ho, W. S., Lim, J. S., Klemeš, J. J., Towprayoon, S., Ho, C. S., & Lee, C. T. (2017). A review on the global warming potential of cleaner composting and mitigation strategies. *Journal of Cleaner Production*, 146, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.066>

14. Buernor, A. B., Kabiru, M. R., Bechtaoui, N., Jibrin, J. M., Asante, M., Bouraqqadi, A., Dahhani, S., Ouhdouch, Y., Hafidi, M., & Jemo, M. (2022). Grain Legume Yield Responses to Rhizobia Inoculants and Phosphorus Supplementation Under Ghana Soils: A Meta-Synthesis. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.877433>
15. Buntic, A., Stajkovic-Srbinovic, O., Knezevic, M., Kuzmanovic, D., Rasulic, N., & Delic, D. (2019). Development of liquid rhizobial inoculants and pre-inoculation of alfalfa seeds. *Archives of Biological Sciences*, 71(2), 379–387. <https://doi.org/10.2298/ABS181008062B>
16. Burbano Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 82. <https://doi.org/10.22267/rcia.183501.85>
17. Burg, P., Masan, V., Cizkova, A., & Badalikova, B. (2019, May 22). *Impact of compost application in vineyards on changes of physical properties of soil*. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N263>
18. Camacho Céspedes, F., Uribe Lorío, L., Newcomer, Q., Masters, K., & Kinyua, M. (2018). Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). *UNED Research Journal*, 10(2), 330–341. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2163>
19. Campo Martínez, A. D. P. A. S. R. L. M. V. S. P. F. A. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 79–87.
20. Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., & Jiménez-Morales, M. F. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(8), 25. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>
21. Castaño, C., Dejene, T., Mediavilla, O., Geml, J., Oria-de-Rueda, J. A., & Martín-Pinto, P. (2019). Changes in fungal diversity and composition along a chronosequence of Eucalyptus grandis plantations in Ethiopia.

Fungal Ecology, 39, 328–335.
<https://doi.org/10.1016/j.funeco.2019.02.003>

22. Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., & Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, 248, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>
23. Chen, X., Zhao, Y., Zhao, X., Wu, J., Zhu, L., Zhang, X., Wei, Z., Liu, Y., & He, P. (2020). Selective pressures of heavy metals on microbial community determine microbial functional roles during composting: Sensitive, resistant and actor. *Journal of Hazardous Materials*, 398, 122858. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122858>
24. Chimenos, J. M., Segarra, M., Fernández, M. A., & Espiell, F. (1999). Characterization of the bottom ash in municipal solid waste incinerator. *Journal of Hazardous Materials*, 64(3), 211–222. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(98\)00246-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(98)00246-5)
25. Chojnacka, K., Gorazda, K., Witek-Krowiak, A., & Moustakas, K. (2019). Recovery of fertilizer nutrients from materials - Contradictions, mistakes and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 485–498. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.063>
26. Cocetta, G., Passera, A., Vacchini, V., Shahzad, G.-R., Cortellino, G., Picchi, V., Ferrante, A., Casati, P., & Piazza, L. (2021). Use of microbial inoculants during cultivation maintain the physiological, nutritional and technological quality of fresh-cut romaine lettuce. *Postharvest Biology and Technology*, 175, 111411. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111411>
27. Correa, O. (2013). LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO Y SU ROL INDISCUTIDO EN LA NUTRICIÓN VEGETAL. In M. Diaz Zorita, M. Fernández Canigia, & R. Lavado (Eds.), *APORTES DE LA MICROBIOLOGÍA A LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS* (1st ed., pp. 1–10).
28. Dai, X., Wang, X., Gu, J., Song, Z., Guo, H., Shi, M., & Li, H. (2022). Mechanism associated with the positive effect of nanocellulose on nitrogen retention in a manure composting system. *Journal of Environmental Management*, 316, 115308. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115308>

29. Daskal, S., Asi, O., Sabbah, I., Ayalon, O., & Baransi-Karkaby, K. (2022). Decentralized Composting Analysis Model—Benefit/Cost Decision-Making Methodology. *Sustainability*, *14*(24), 16397. <https://doi.org/10.3390/su142416397>
30. De la Mora, A. V. F. V. J. (2016). Sucesión bacteriana del género *Bacillus* en el proceso de compostaje y lombricompostaje con diferentes fuentes de estiércol. *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*, *10*(1), 23–31.
31. de Vries, F. T., Griffiths, R. I., Bailey, M., Craig, H., Girlanda, M., Gweon, H. S., Hallin, S., Kaisermann, A., Keith, A. M., Kretzschmar, M., Lemanceau, P., Lumini, E., Mason, K. E., Oliver, A., Ostle, N., Prosser, J. I., Thion, C., Thomson, B., & Bardgett, R. D. (2018). Soil bacterial networks are less stable under drought than fungal networks. *Nature Communications*, *9*(1), 3033. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05516-7>
32. Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A. M., Brewer, T. E., Benavent-González, A., Eldridge, D. J., Bardgett, R. D., Maestre, F. T., Singh, B. K., & Fierer, N. (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science*, *359*(6373), 320–325. <https://doi.org/10.1126/science.aap9516>
33. Demichelis, F., Pleissner, D., Fiore, S., Mariano, S., Navarro Gutiérrez, I. M., Schneider, R., & Venus, J. (2017). Investigation of food waste valorization through sequential lactic acid fermentative production and anaerobic digestion of fermentation residues. *Bioresource Technology*, *241*, 508–516. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.174>
34. Ding, J., Jiang, X., Guan, D., Zhao, B., Ma, M., Zhou, B., Cao, F., Yang, X., Li, L., & Li, J. (2017). Influence of inorganic fertilizer and organic manure application on fungal communities in a long-term field experiment of Chinese Mollisols. *Applied Soil Ecology*, *111*, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.12.003>
35. EEA. European Environment Agency (2016). Circular economy in Europe — Developing the knowledge base, EEA Report No 2/2016.
36. Eldridge, D. J., Delgado-Baquerizo, M., Travers, S. K., Val, J., Oliver, I., Hamonts, K., & Singh, B. K. (2017). Competition drives the response

- of soil microbial diversity to increased grazing by vertebrate herbivores. *Ecology*, 98(7), 1922–1931. <https://doi.org/10.1002/ecy.1879>
37. Eldridge, S. M., Yin Chan, K., Donovan, N. J., Saleh, F., Orr, L., & Barchia, I. (2018). Agronomic and economic benefits of green-waste compost for peri-urban vegetable production: implications for food security. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 111(2–3), 155–173. <https://doi.org/10.1007/s10705-018-9931-9>
 38. Elhamdouni, D., Arioua, A., Karaoui, I., & Aallam, Y. (2021). Waste compost quality assessment for efficient use in agriculture: case of the developing countries. *Journal of Sedimentary Environments*, 6(3), 395–401. <https://doi.org/10.1007/s43217-021-00060-9>
 39. epdata. (2022). *Generación y tratamiento de residuos en España, en gráficos*.
 40. Fan, Y. Van, Klemeš, J. J., Lee, C. T., & Ho, C. S. (2018). Efficiency of microbial inoculation for a cleaner composting technology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(3), 517–527. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1439-5>
 41. Fang, F.-Z., Chen, S.-L., Gui, H.-Y., Li, Z.-J., & Zhang, X.-F. (2023a). Long-Read Sequencing Analysis Revealed the Impact of Forest Conversion on Soil Fungal Diversity in Limu Mountain, Hainan. *Microbial Ecology*, 86(2), 872–886. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02129-y>
 42. Fang, F.-Z., Chen, S.-L., Gui, H.-Y., Li, Z.-J., & Zhang, X.-F. (2023b). Long-Read Sequencing Analysis Revealed the Impact of Forest Conversion on Soil Fungal Diversity in Limu Mountain, Hainan. *Microbial Ecology*, 86(2), 872–886. <https://doi.org/10.1007/s00248-022-02129-y>
 43. Farhidi, F., Madani, K., & Crichton, R. (2022). How the US Economy and Environment can Both Benefit From Composting Management. *Environmental Health Insights*, 16, 117863022211284. <https://doi.org/10.1177/11786302221128454>
 44. Fleischer, P., Pichler, V., Fleischer Jr, P., Holko, L., Máliš, F., Gömöryová, E., Cudlín, P., Holeksa, J., Michalová, Z., Homolová, Z., Škvarenina, J., Štřelcová, K., & Hlaváč, P. (2017). Forest ecosystem

- services affected by natural disturbances, climate and land-use changes in the Tatra Mountains. *Climate Research*, 73(1–2), 57–71. <https://doi.org/10.3354/cr01461>
45. Florencio, C., Bortoletto-Santos, R., Favaro, C., Brondi, M., Velloso, C., Klaic, R., Ribeiro, C., Farinas, C., & Mattoso, L. (2022). AVANÇOS NA PRODUÇÃO E FORMULAÇÃO DE INOCULANTES MICROBIANOS VISANDO UMA AGRICULTURA MAIS SUSTENTÁVEL. *Química Nova*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170909>
46. Foyosal, M. J., & Lisa, A. K. (2018). Isolation and characterization of *Bacillus* sp. strain BC01 from soil displaying potent antagonistic activity against plant and fish pathogenic fungi and bacteria. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2), 387–392. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.01.005>
47. Fuchs, J. G. (2017). Composting process management and compost benefits for soil fertility and plants. *Acta Horticulturae*, 1164, 195–202. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1164.25>
48. Gazol, A., Camarero, J. J., Igual, J. M., González de Andrés, E., Colangelo, M., & Valeriano, C. (2022). Intraspecific trait variation, growth, and altered soil conditions at tree species distribution limits: From the alpine treeline to the rear edge. *Agricultural and Forest Meteorology*, 315, 108811. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.108811>
49. Geethamani, R., Soundara, B., Kanmani, S., Jayanthi, V., Subaharini, T. R., Sowbiyalakshmi, V., & Sowmini, C. (2021). Production of cost affordable organic manure using institutional waste by rapid composting method. *Materials Today: Proceedings*, 45, 764–768. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.803>
50. Geisen, S., Mitchell, E. A. D., Adl, S., Bonkowski, M., Dunthorn, M., Ekelund, F., Fernández, L. D., Jousset, A., Krashevskaya, V., Singer, D., Spiegel, F. W., Walochnik, J., & Lara, E. (2018). Soil protists: a fertile frontier in soil biology research. *FEMS Microbiology Reviews*, 42(3), 293–323. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuy006>

51. Głąb, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopec, M., Mierzwa–Hersztek, M., & Tabor, S. (2018). Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. *Geoderma*, 315, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.034>
52. González-Domínguez, B., Niklaus, P. A., Studer, M. S., Hagedorn, F., Wacker, L., Haghipour, N., Zimmermann, S., Walthert, L., McIntyre, C., & Abiven, S. (2019). Temperature and moisture are minor drivers of regional-scale soil organic carbon dynamics. *Scientific Reports*, 9(1), 6422. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42629-5>
53. Gulcicek, O.; Ünyayar, A. ; Ozer, E.; Sansarci, O. (2019). Thermophilic Bacteria Investigation in Petroleum Contaminated Soils by Different Isolation Method. *GAZI UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE*, 32(2), 409–424.
54. Guo, H., Gu, J., Wang, X., Yu, J., Nasir, M., Zhang, K., & Sun, W. (2020). Microbial driven reduction of N₂O and NH₃ emissions during composting: Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar. *Journal of Hazardous Materials*, 390, 121292. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121292>
55. Guo, X., Wang, Y., Hu, J., Wang, D., Wang, J., & Shakeel, M. (2023). Mixed inoculation of dark septate endophytic and ericoid mycorrhizal fungi in different proportions improves the growth and nutrient content of blueberry seedlings. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 157(3), 497–506. <https://doi.org/10.1080/11263504.2023.2165558>
56. Harindintwali, J. D., Zhou, J., & Yu, X. (2020). Lignocellulosic crop residue composting by cellulolytic nitrogen-fixing bacteria: A novel tool for environmental sustainability. *Science of The Total Environment*, 715, 136912. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.136912>
57. Hu, C., & Qi, Y. (2013). Long-term effective microorganisms' application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China. *European Journal of Agronomy*, 46, 63–67. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.12.003>

58. Hu, T., Wang, X., Zhen, L., Gu, J., Zhang, K., Wang, Q., Ma, J., & Peng, H. (2019). Effects of inoculation with lignocellulose-degrading microorganisms on antibiotic resistance genes and the bacterial community during co-composting of swine manure with spent mushroom substrate. *Environmental Pollution*, 252, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.078>
59. Huang, Y., Sun, L., Zhao, J., Huang, R., Li, R., & Shen, Q. (2015). Utilization of different waste proteins to create a novel PGPR-containing bio-organic fertilizer. *Scientific Reports*, 5(1), 7766. <https://doi.org/10.1038/srep07766>
60. Hwang, H. Y., Kim, S. H., Kim, M. S., Park, S. J., & Lee, C. H. (2020). Co-composting of chicken manure with organic wastes: characterization of gases emissions and compost quality. *Applied Biological Chemistry*, 63(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0483-8>
61. Insam, H., Delgado-Granados, H., Nagler, M., Waldhuber, S., Podmirseg, S. M., & Quideau, S. (2017). Soil microbiota along Ayoloco glacier retreat area of Iztaccíhuatl volcano, Mexico. *CATENA*, 153, 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.001>
62. Istifadah, A., Firman, A., & Desiana, M. (2020). EFFECTIVENESS OF COMPOST AND MICROBIAL-ENRICHED COMPOST TO SUPPRESS POWDERY MILDEW AND EARLY BLIGHT DISEASES IN TOMATO. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 30(2). <https://doi.org/10.36899/JAPS.2020.2.0031>
63. John, J., Kernaghan, G., & Lundholm, J. (2017). The potential for mycorrhizae to improve green roof function. *Urban Ecosystems*, 20(1), 113–127. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0573-x>
64. Jurado, M. M., Suárez-Estrella, F., Vargas-García, M. C., López, M. J., López-González, J. A., & Moreno, J. (2014). Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: Effects on process efficiency and final product maturity. *Process Biochemistry*, 49(11), 1958–1969. <https://doi.org/10.1016/J.PROCBIO.2014.08.003>
65. Kaisermann, A., Vries, F. T., Griffiths, R. I., & Bardgett, R. D. (2017). Legacy effects of drought on plant–soil feedbacks and plant–plant

- interactions. *New Phytologist*, 215(4), 1413–1424.
<https://doi.org/10.1111/nph.14661>
66. Kelley, A., Ann, C., & Maltais-Landry, G. (2020). Food-Based Composts Provide More Soil Fertility Benefits Than Cow Manure-Based Composts in Sandy Soils. *Agricultura*, 10(3), 69.
67. Kerr, D. D., & Ochsner, T. E. (2020). Soil organic carbon more strongly related to soil moisture than soil temperature in temperate grasslands. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 587–596.
<https://doi.org/10.1002/saj2.20018>
68. Khiari, Z., Kaluthota, S., & Savidov, N. (2020). Phosphorus delays the onset of nitrification during aerobic digestion of aquaculture/aquaponic solid waste. *Biochemical Engineering Journal*, 155, 107493.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2020.107493>
69. Kuipers, A., Galama, P., Leso, L., Bruegemann, K., & Klopčič, M. (2022). A Composting Bedding System for Animals as a Contribution to the Circular Economy. *Processes*, 10(3), 518.
<https://doi.org/10.3390/pr10030518>
70. Kurup, R., Ram, V., & Kumari, K. (2016). Isolation and Screening of Actinomycetes for Antimicrobial Activities from Marine Soil Sediments and Sponges. *West Indian Medical Journal*.
<https://doi.org/10.7727/wimj.2016.194>
71. Larreguy, C., Carrera, A. L., & Bertiller, M. B. (2017). Reductions of plant cover induced by sheep grazing change the above-belowground partition and chemistry of organic C stocks in arid rangelands of Patagonian Monte, Argentina. *Journal of Environmental Management*, 199, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.086>
72. Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular. 8 de abril. Jefatura del Estado. Boletín Oficial de Estado (BOE), 85. (n.d.). *Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular*.
73. Li, H., Zhang, T., Shaheen, S. M., Abdelrahman, H., Ali, E. F., Bolan, N. S., Li, G., & Rinklebe, J. (2022). Microbial inoculants and struvite improved organic matter humification and stabilized phosphorus during swine manure composting: Multivariate and multiscale investigations.

- Bioresource Technology*, 351, 126976.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126976>
74. Liao, H., Gao, S., Hao, X., Qin, F., Ma, S., Chen, W., & Huang, Q. (2021). Soil aggregate isolation method affects interpretation of protistan community. *Soil Biology and Biochemistry*, 161, 108388. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108388>
75. Lim, S. L., Lee, L. H., & Wu, T. Y. (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 111, 262–278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>
76. Liu, H., Chen, D., Zhang, R., Hang, X., Li, R., & Shen, Q. (2016). Amino Acids Hydrolyzed from Animal Carcasses Are a Good Additive for the Production of Bio-organic Fertilizer. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01290>
77. Lobo, C. B., Juárez Tomás, M. S., Viruel, E., Ferrero, M. A., & Lucca, M. E. (2019). Development of low-cost formulations of plant growth-promoting bacteria to be used as inoculants in beneficial agricultural technologies. *Microbiological Research*, 219, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.10.012>
78. Marcos, M. S., Bertiller, M. B., & Olivera, N. L. (2019). Microbial community composition and network analyses in arid soils of the Patagonian Monte under grazing disturbance reveal an important response of the community to soil particle size. *Applied Soil Ecology*, 138, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.03.001>
79. Meyer-Kohlstock, D., Hädrich, G., Bidlingmaier, W., & Kraft, E. (2013). The value of composting in Germany – Economy, ecology, and legislation. *Waste Management*, 33(3), 536–539. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.020>
80. Mir, M. A., Ashraf, M. W., Hussain, A., & Mir, B. A. (2022). Isolation, Detection, and Estimation of Various Amylase Producing Bacteria in Various Soil Samples. *Current Organocatalysis*, 9(1), 46–52. <https://doi.org/10.2174/2213337208666210609124432>

81. Mitchell, R. J., Keith, A. M., Potts, J. M., Ross, J., Reid, E., & Dawson, L. A. (2012). Overstory and understory vegetation interact to alter soil community composition and activity. *Plant and Soil*, 352(1–2), 65–84. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0980-y>
82. Mulidzi, A. R. (2021). Evaluating Sustainable Use and Management of Winery Solid Wastes through Composting. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 42(2). <https://doi.org/10.21548/42-2-4685>
83. Naik, K., Mishra, S., Srichandan, H., Singh, P. K., & Choudhary, A. (2020). Microbial formulation and growth of cereals, pulses, oilseeds and vegetable crops. *Sustainable Environment Research*, 30(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-00051-x>
84. Namasivayam, S. K. R., & Bharani, R. S. A. (2012). Effect of Compost Derived from Decomposed Fruit Wastes by Effective Microorganism (EM) Technology on Plant Growth Parameters of Vigna mungo. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 03(11). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000167>
85. Ney, L., Franklin, D., Mahmud, K., Cabrera, M., Hancock, D., Habteselassie, M., & Newcomer, Q. (2018). Examining trophic-level nematode community structure and nitrogen mineralization to assess local effective microorganisms' role in nitrogen availability of swine effluent to forage crops. *Applied Soil Ecology*, 130, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.06.015>
86. Ney, L., Franklin, D., Mahmud, K., Cabrera, M., Hancock, D., Habteselassie, M., Newcomer, Q., Dahal, S., & Subedi, A. (2019). Sensitivity of Nematode Community Analysis to Agricultural Management Practices and Inoculation with Local Effective Microorganisms in the Southeastern United States. *Soil Systems*, 3(2), 41. <https://doi.org/10.3390/soilsystems3020041>
87. Nor, M. N. M. (2020). Isolation and Characterization of Effective Microorganism from Oil Palm Rhizospheric Soil and Evaluation of Their Potential as Biofertiliser. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 515(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/515/1/012040>

88. Ojeda-Quintana, L. J., Hernández-Rodríguez, C., López-Melian, A., & Frómata-Milanés, C. (2020). Evaluación de diferentes sustratos enriquecidos con microorganismos para la producción de compost en áreas naturales. *Temas Agrarios*, 25(2), 129–140. <https://doi.org/10.21897/rta.v25i2.2455>
89. Ozores-Hampton, M. (2019). Past, present, and future of compost utilization in horticulture. *Acta Horticulturae*, 1266, 309–314. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1266.43>
90. Palhares Farias, T., de Melo Castro, E., Marucci Pereira Tangerina, M., Quintino da Rocha, C., Brito Bezerra, C. W., & de Souza Moreira, F. M. (2022). Rhizobia exopolysaccharides: promising biopolymers for use in the formulation of plant inoculants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53(4), 1843–1856. <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00824-z>
91. Pant, R., Kaur, H., Tiwari, K., Singh, A., Srivastava, S., Patrick, N., & Gupta, A. (2023). Isolation, Characterization of *B. subtilis* from Song River Shore and their Application to Wastewater Treatment. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 17(1), 597–608. <https://doi.org/10.22207/JPAM.17.1.58>
92. Patel, H. K., Vyas, R., & Shelat, H. (2022). Selective Enrichment Method for Isolation of Efficient Phosphate Solubilizing Bacteria from Soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(12), 1532–1541. <https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2055054>
93. Pereira, A. P. A., Durrer, A., Gumiere, T., Gonçalves, J. L. M., Robin, A., Bouillet, J.-P., Wang, J., Verma, J. P., Singh, B. K., & Cardoso, E. J. B. N. (2019). Mixed Eucalyptus plantations induce changes in microbial communities and increase biological functions in the soil and litter layers. *Forest Ecology and Management*, 433, 332–342. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.018>
94. Petersen, C., Dierking, K., Johnke, J., & Schulenburg, H. (2022). Isolation and Characterization of the Natural Microbiota of the Model Nematode *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Visualized Experiments*, 186. <https://doi.org/10.3791/64249>
95. Porazinska, D. L., Bueno de Mesquita, C. P., Farrer, E. C., Spasojevic, M. J., Suding, K. N., & Schmidt, S. K. (2021). Nematode community

- diversity and function across an alpine landscape undergoing plant colonization of previously unvegetated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, *161*, 108380. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108380>
96. Pukalchik, M., Kydralieva, K., Yakimenko, O., Fedoseeva, E., & Terekhova, V. (2019). Outlining the Potential Role of Humic Products in Modifying Biological Properties of the Soil—A Review. *Frontiers in Environmental Science*, *7*. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00080>
97. Qi, C., Yin, R., Gao, X., Chen, J., Wang, R., Xu, Z., Luo, W., Li, G., & Li, Y. (2022). Development of Solid-State Anaerobic Digestion and Aerobic Composting Hybrid Processes for Organic Solid Waste Treatment and Resource Recovery: a Review. *Current Pollution Reports*, *8*(3), 221–233. <https://doi.org/10.1007/s40726-022-00223-w>
98. Rajaeifar, M. A., Tabatabaei, M., Ghanavati, H., Khoshnevisan, B., & Rafiee, S. (2015). Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *51*, 886–898. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.037>
99. Ram, D., & Pandya, D. (2022). Isolation of Potential Anti-Microbial Compounds from Actinomycetes Found in Soil Surrounding Medicinal Plants of Saurashtra, Gujarat, India. *REVISTA DE FARMACOGNOSIA*, *18*(80), 821–829.
100. Ranieri R., P., Jean-Pierre, B., José L. de M. Gonçalves, Paulo C. O., T., Fabiano, de C. B., Yann, N., Julianne de C., O., José C., de D. J., Bruno, B., & Jean-Paul, L. (2018). Nitrogen fixation rate of *Acacia mangium* Wild at mid rotation in Brazil is higher in mixed plantations with *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden than in monocultures. *Annals of Forest Science*, *75*(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0695-9>
101. Reppun, F., Syvertsen, J., Martin, J., Deenik, J., & Hoy, C. (2021). Soil management practices of farmers in the Kāne‘ohe Bay watershed and potential for implementing algae-based soil amendments. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *45*(5), 689–717. <https://doi.org/10.1080/21683565.2020.1813233>

102. Riaz, L., Wang, Q., Yang, Q., Li, X., & Yuan, W. (2020). Potential of industrial composting and anaerobic digestion for the removal of antibiotics, antibiotic resistance genes and heavy metals from chicken manure. *Science of The Total Environment*, 718, 137414. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137414>
103. Rodrigo-Illarri, J., Rodrigo-Clavero, M.-E., Romero, C. P., & Suárez-Romero, P. (2022). Do Solid Waste Landfills Really Affect Land Use Change? Answers Using the Weighted Environmental Index (WEI). *Remote Sensing*, 14(21), 5502. <https://doi.org/10.3390/rs14215502>
104. Roy, E. D., Esham, M., Jayathilake, N., Otoo, M., Koliba, C., Wijethunga, I. B., & Fein-Cole, M. J. (2021). Compost Quality and Markets Are Pivotal for Sustainability in Circular Food-Nutrient Systems: A Case Study of Sri Lanka. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.748391>
105. Sánchez Gómez, T. M. (2009). Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros microbial. In *Agronomía Tropical* (Vol. 59, Issue 3). Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000300007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
106. Sano, M., Yada, R., Nomura, Y., Kusukawa, T., Ando, H., Matsumoto, K., Wada, K., Tanaka, T., Ohara, H., & Aso, Y. (2020). Microbial Screening Based on the Mizoroki–Heck Reaction Permits Exploration of Hydroxyhexylitaconic-Acid-Producing Fungi in Soils. *Microorganisms*, 8(5), 648. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8050648>
107. Santos, M. S., Rodrigues, T. F., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2021). The Challenge of Combining High Yields with Environmentally Friendly Bioproducts: A Review on the Compatibility of Pesticides with Microbial Inoculants. *Agronomy*, 11(5), 870. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050870>
108. Saravanan, A., Kumar, P. S., Nhung, T. C., Ramesh, B., Srinivasan, S., & Rangasamy, G. (2022). A review on biological methodologies in

- municipal solid waste management and landfilling: Resource and energy recovery. *Chemosphere*, 309, 136630. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136630>
109. Sayara, T., Borràs, E., Caminal, G., Sarrà, M., & Sánchez, A. (2011). Bioremediation of PAHs-contaminated soil through composting: Influence of bioaugmentation and biostimulation on contaminant biodegradation. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 65(6), 859–865. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.05.006>
110. Sayara, T., Basheer-Salimia, R., Hawamde, F., Sánchez, A. (2020). Recycling of Organic Wastes through Composting: Process Performance and Compost Application in Agriculture. *Agronomy*, 10, 1838. <https://doi:10.3390/agronomy10111838>
111. Seipel, T., Ishaq, S. L., & Menalled, F. D. (2019). Agroecosystem resilience is modified by management system via plant–soil feedbacks. *Basic and Applied Ecology*, 39, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2019.06.006>
112. Seleiman, M. F., Elshayb, O. M., Nada, A. M., El-leithy, S. A., Baz, L., Alhammad, B. A., & Mahdi, A. H. A. (2022). Azolla Compost as an Approach for Enhancing Growth, Productivity and Nutrient Uptake of *Oryza sativa* L. *Agronomy*, 12(2), 416. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020416>
113. Shanmugam, K., Kumar, K., Abhimanyu, S., Selvaraju, S., Narayana, Bs. L., Sharanprasath, R., Kumar, Tn., Manikandan, R., & bala, Sh. (2023). Microbial isolation and characterization of arsenic degrading microbes from soil and its RAPD analysis for bioremediation. *Biomedical and Biotechnology Research Journal (BBRJ)*, 7(1), 93. https://doi.org/10.4103/bbrj.bbrj_330_22
114. Sharma, B., Vaish, B., Monika, Singh, U. K., Singh, P., & Singh, R. P. (2019). Recycling of Organic Wastes in Agriculture: An Environmental Perspective. *International Journal of Environmental Research*, 13(2), 409–429. <https://doi.org/10.1007/s41742-019-00175-y>

115. Shi, W., Dong, Q., Saleem, M., Wu, X., Wang, N., Ding, S., Huang, J., Wang, X., Zhou, B., & Gao, Z. (2022). Microbial-based detonation and processing of vegetable waste for high quality compost production at low temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 369, 133276. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133276>
116. Siddique, T., Okeke, B. C., Arshad, M., & Frankenberger, W. T. (2003). Enrichment and Isolation of Endosulfan-Degrading Microorganisms. *Journal of Environmental Quality*, 32(1), 47–54. <https://doi.org/10.2134/jeq2003.4700>
117. Siles, J. A., & Margesin, R. (2016). Abundance and Diversity of Bacterial, Archaeal, and Fungal Communities Along an Altitudinal Gradient in Alpine Forest Soils: What Are the Driving Factors? *Microbial Ecology*, 72(1), 207–220. <https://doi.org/10.1007/s00248-016-0748-2>
118. Silva Vale, A., Melo Pereira, G. V., Carvalho Neto, D. P., Sorto, R. D., Goés-Neto, A., Kato, R., & Soccol, C. R. (2021). Facility-specific ‘house’ microbiome ensures the maintenance of functional microbial communities into coffee beans fermentation: implications for source tracking. *Environmental Microbiology Reports*, 13(4), 470–481. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12921>
119. Šimonovičová, A., Kraková, L., Piecková, E., Planý, M., Globanová, M., Pauditšová, E., Šoltys, K., Budiš, J., Szemes, T., Gáfriková, J., & Pangallo, D. (2019). Soil Microbiota of Dystric Cambisol in the High Tatra Mountains (Slovakia) after Windthrow. *Sustainability*, 11(23), 6851. <https://doi.org/10.3390/su11236851>
120. Somerville, P. D., Farrell, C., May, P. B., & Livesley, S. J. (2019). Tree water use strategies and soil type determine growth responses to biochar and compost organic amendments. *Soil and Tillage Research*, 192, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.023>
121. Steidinger, B. S., Crowther, T. W., Liang, J., Van Nuland, M. E., Werner, G. D. A., Reich, P. B., Nabuurs, G. J., de-Miguel, S., Zhou, M., Picard, N., Herault, B., Zhao, X., Zhang, C., Routh, D., & Peay, K. G. (2019). Climatic controls of decomposition drive the global

- biogeography of forest-tree symbioses. *Nature*, 569(7756), 404–408.
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1128-0>
122. Suchini-Ramírez, J. G. (2012). *Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio* (pp. 1–47).
123. Tan, X., Chung, T., Chen, Y., Macarisin, D., LaBorde, L., & Kovac, J. (2019). The occurrence of *Listeria monocytogenes* is associated with built environment microbiota in three tree fruit processing facilities. *Microbiome*, 7(1), 115. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0726-2>
124. Tang, J., Wang, X., Hu, Y., Zhang, Y., & Li, Y. (2016). Lactic acid fermentation from food waste with indigenous microbiota: Effects of pH, temperature and high OLR. *Waste Management*, 52, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.034>
125. Tao, K., Zhang, X., Chen, X., Liu, X., Hu, X., & Yuan, X. (2019). Response of soil bacterial community to bioaugmentation with a plant residue-immobilized bacterial consortium for crude oil removal. *Chemosphere*, 222, 831–838. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.01.133>
126. Tkacz, A., Cheema, J., Chandra, G., Grant, A., & Poole, P. S. (2015). Stability and succession of the rhizosphere microbiota depends upon plant type and soil composition. *The ISME Journal*, 9(11), 2349–2359. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.41>
127. Totubaeva, N., Tokpaeva, Z., Kojobaev, K., Usabalieva, A., & Terekhova, V. (2022). Ecological Assessment of Technogenically Disturbed Soils of the Mountain Ecosystems of Kyrgyz Republic based on the TRIAD method. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(3), 2256–2272. <https://doi.org/10.15244/pjoes/143509>
128. Ulm, F., Avelar, D., Hobson, P., Penha-Lopes, G., Dias, T., Máguas, C., & Cruz, C. (2019). Sustainable urban agriculture using compost and an open-pollinated maize variety. *Journal of Cleaner Production*, 212, 622–629. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.069>
129. Vargas-Salgado, C., Aguila-León, J., Chiñas-Palacios, C., & Montuori, L. (2019, October 23). Potential of landfill biogas production for power generation in the Valencian Region (Spain). *Proceedings 5th*

CARPE Conference: Horizon Europe and Beyond.

<https://doi.org/10.4995/CARPE2019.2019.10201>

130. Varjani, S. J. (2017). Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresource Technology*, 223, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.037>
131. Varjani, S. J., & Upasani, V. N. (2016). Biodegradation of petroleum hydrocarbons by oleophilic strain of *Pseudomonas aeruginosa* NCIM 5514. *Bioresource Technology*, 222, 195–201. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.10.006>
132. Vasic, V., Djuric, S., Jafari-Hajnal, T., Orlovic, S., Vasic, S., Poljakovic Pajnik, L., & Galović, V. (2019). The microbiological response of forest soils after application of nicosulfuron, imazamox and cycloxydim. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(5), 2305–2312. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1862-0>
133. Vassilev, N., Vassileva, M., Martos, V., Garcia del Moral, L. F., Kowalska, J., Tylkowski, B., & Malusá, E. (2020). Formulation of Microbial Inoculants by Encapsulation in Natural Polysaccharides: Focus on Beneficial Properties of Carrier Additives and Derivatives. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00270>
134. Vishwakarma, K., Kumar, N., Shandilya, C., Mohapatra, S., Bhayana, S., & Varma, A. (2020). Revisiting Plant–Microbe Interactions and Microbial Consortia Application for Enhancing Sustainable Agriculture: A Review. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.560406>
135. Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Kumar, S., Zhang, Z., & Taherzadeh, M. J. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*, 301, 122778. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122778>
136. Wang, H., Chen, Z., Dharmasena, M., Greene, A. K., Gardener, B. M., Holden, B., & Jiang, X. (2021). Plant-Scale Validation of Physical Heat Treatment of Poultry Litter Composts Using Surrogate and

- Indicator Microorganisms for *Salmonella*. *Applied and Environmental Microbiology*, 87(5). <https://doi.org/10.1128/AEM.02234-20>
137. Wang, S., & Wu, Y. (2021). Hyperthermophilic Composting Technology for Organic Solid Waste Treatment: Recent Research Advances and Trends. *Processes*, 9(4), 675. <https://doi.org/10.3390/pr9040675>
138. Wang, Y., Tang, Y., & Yuan, Z. (2022). Improving food waste composting efficiency with mature compost addition. *Bioresource Technology*, 349, 126830. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126830>
139. Weber, J., Kocowicz, A., Bekier, J., Jamroz, E., Tyszka, R., Debicka, M., Parylak, D., & Kordas, L. (2014). The effect of a sandy soil amendment with municipal solid waste (MSW) compost on nitrogen uptake efficiency by plants. *European Journal of Agronomy*, 54, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.014>
140. Weil, S., Martinez-Almoyna, C., Piton, G., Renaud, J., Boulangeat, L., Foulquier, A., Saillard, A., Choler, P., Poulénard, J., Münkemüller, T., & Thuiller, W. (2021). Strong links between plant traits and microbial activities but different abiotic drivers in mountain grasslands. *Journal of Biogeography*, 48(11), 2755–2770. <https://doi.org/10.1111/jbi.14235>
141. Wilpiseski, R. L., Aufrecht, J. A., Retterer, S. T., Sullivan, M. B., Graham, D. E., Pierce, E. M., Zablocki, O. D., Palumbo, A. V., & Elias, D. A. (2019). Soil Aggregate Microbial Communities: Towards Understanding Microbiome Interactions at Biologically Relevant Scales. *Applied and Environmental Microbiology*, 85(14). <https://doi.org/10.1128/AEM.00324-19>
142. Wu, S. C., Gao, J.-K., & Chang, B.-S. (2021). Isolation of lindane- and endosulfan-degrading bacteria and dominance analysis in the microbial communities by culture-dependent and independent methods. *Microbiological Research*, 251, 126817. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126817>
143. Wu, Y., Chen, Y., Shaaban, M., Zhu, D., Hu, C., Chen, Z., & Wang, Y. (2019). Evaluation of microbial inoculants pretreatment in straw and

- manure co-composting process enhancement. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118078. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118078>
144. Wulff, E. G., Mguni, C. M., Mansfeld-Giese, K., Fels, J., Lübeck, M., & Hockenhull, J. (2002). Biochemical and molecular characterization of *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. subtilis* and *B. pumilus* isolates with distinct antagonistic potential against *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. *Plant Pathology*, 51(5), 574–584. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.00753.x>
145. Yadav, R. (2015). Solid Waste Management. *Investigación Sobre La Contaminación*, 34(1), 93–102.
146. Yadav, S., Bharti, P. K., Chandrahas, C., Gaur, G. K., Abhishek, A., Singh, M., & Somangond, A. (2021). Aerobic composting of pig excreta as a model for inoculated deep litter system in sty using Indigenous Microorganisms (IMOs). *The Indian Journal of Animal Sciences*, 90(12), 1649–1654. <https://doi.org/10.56093/ijans.v90i12.113205>
147. Yang, Q., Zhang, S., Li, X., Rong, K., Li, J., & Jiang, L. (2023). Effects of microbial inoculant and additives on pile composting of cow manure. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1084171>
148. Yang, W., & Zhang, L. (2022). Addition of mature compost improves the composting of green waste. *Bioresource Technology*, 350, 126927. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.126927>
149. Yu, J., Gu, J., Wang, X., Guo, H., Wang, J., Lei, L., Dai, X., & Zhao, W. (2020). Effects of inoculation with lignocellulose-degrading microorganisms on nitrogen conversion and denitrifying bacterial community during aerobic composting. *Bioresource Technology*, 313, 123664. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123664>
150. Yu, J., Gu, J., Wang, X., Lei, L., Guo, H., Song, Z., & Sun, W. (2023). Exploring the mechanism associated with methane emissions during composting: Inoculation with lignocellulose-degrading microorganisms. *Journal of Environmental Management*, 325, 116421. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.116421>
151. Zainudin, M. H., Mustapha, N. A., Maeda, T., Ramli, N., Sakai, K., & Hassan, M. (2020). Biochar enhanced the nitrifying and denitrifying

- bacterial communities during the composting of poultry manure and rice straw. *Waste Management*, 106, 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.03.029>
152. Zhang, M., Li, R., Cao, L., Shi, J., Liu, H., Huang, Y., & Shen, Q. (2014). Algal sludge from Taihu Lake can be utilized to create novel PGPR-containing bio-organic fertilizers. *Journal of Environmental Management*, 132, 230–236. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.031>
153. Zhang, X., Li, S., Cheng, W., Zhao, Y., Cui, H., Xie, X., Wu, J., Wei, Z., & Liu, Y. (2021). Oxytetracycline stress reconstruct the core microbial community related to nitrogen transformation during composting. *Bioresource Technology*, 319, 124142. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124142>
154. Zhao, Q., Chu, S., He, D., Wu, D., Mo, Q., & Zeng, S. (2021). Sewage sludge application alters the composition and co-occurrence pattern of the soil bacterial community in southern China forestlands. *Applied Soil Ecology*, 157, 103744. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103744>
155. Zhu, A.-M., Wu, Q., Liu, H.-L., Sun, H.-L., & Han, G.-D. (2022). Isolation of rhizosheath and analysis of microbial community structure around roots of *Stipa grandis*. *Scientific Reports*, 12(1), 2707. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06708-4>