

Artículo Original

# Riesgo patogénico por *Aspergillus fumigatus* en la producción de compost de *Musa paradisiaca*

## *Pathogenic risk by Aspergillus fumigatus in the compost production of Musa paradisiaca*

<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.624.016>

Víctor Manuel Beteta Alvarado <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-7720-9433>

Jorge Rafael Díaz Dumont <sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-0921-338X>

Luis Eduardo Oré Cierto <sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-2836-2436>

Juan Daniel Oré Cierto <sup>3</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-1788-5146>

Gianmarco García Curo <sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-6685-3207>

Luis Pablo Díaz Tito <sup>4</sup>

<https://orcid.org/0000-0001-7602-7638>

Casiano Aguirre Escalante <sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-0683-8675>

Recibido: 17/03/2022

Aceptado: 26/07/2022

### RESUMEN

*Aspergillus fumigatus* es un hongo con características de saprofito que crece en las partes muertas y en descomposición de la materia orgánica. La presencia de terapias inmunosupresoras o de antifúngicos pueden convertirlo en un patógeno fúngico oportunista causante de enfermedades como aspergilosis pulmonar crónica (CPA), aspergilosis invasiva aguda y síndrome de alergias. Pacientes que sufren de enfermedad pulmonar severa como la pulmonar obstructiva crónica (EPOC) tienen un mayor riesgo de desarrollar aspergilosis pulmonar crónica y aspergilosis pulmonar necrosante crónica (CNPA) que pueden causar crecimiento de hongos en los tejidos dañados. Por otro lado, una de las fuentes más comunes de estos hongos son la generación de compost. Estos fertilizantes orgánicos no dañan al medio ambiente y podrían resultar una estrategia eficaz para salvaguardar el medio ambiente. El compost orgánico promueve el suelo con mejor capacidad de retención de agua y resistencia a la sequía. Entre los residuos agrícolas postcosecha más comunes utilizados en la formación de compost, se pueden mencionar a las cáscaras de yuca, de maní, de frutas y verduras, desechos de cervecería, cascarilla de cacao, cascarilla de cola, maíz, conchas de plátano (*Musa paradisiaca*). Esta investigación tuvo por objetivo determinar la calidad del compost producido a partir de la cáscara de plátano con el fin de aprovechar hasta un 70% de su biomasa en la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, Perú. Los resultados mostraron que la degradación aerobia de la cáscara de *M. paradisiaca* generó emisiones de CO<sub>2</sub> (88,61%), así como compost (6,57 %) y lixiviados (4,82 %). Sin embargo, los efectos fitotóxicos usando el índice de germinación mostraron una inhibición completa de las semillas probadas posiblemente debido al gran contenido de minerales (alto contenido de salinidad del compost y lixiviado), presencia de metales pesados, compuestos orgánicos presentes, o la presencia de hongos tales como el *A. fumigatus*.

**Palabras clave:** *Aspergillus fumigatus*, compost, *Musa paradisiaca*, enfermedades pulmonares.

### ABSTRACT

*Aspergillus fumigatus* is a saprophytic fungus that grows on dead and decomposing parts of organic matter. The presence of immunosuppressive or antifungal therapies can make it an opportunistic fungal pathogen causing diseases such as chronic pulmonary aspergillosis (CPA), acute invasive aspergillosis, and allergy syndrome. Patients suffering from severe lung disease such as chronic obstructive pulmonary disease (COPD) are at increased risk of developing chronic pulmonary aspergillosis and chronic necrotizing pulmonary aspergillosis (CNPA) which can cause fungal growth in damaged tissues. On the other hand, one of the most common sources of these fungi is the generation of compost. These organic fertilizers do not harm the environment and could be an effective strategy to safeguard the environment. Organic compost promotes soil with better water holding capacity and drought resistance. Among the most common postharvest agricultural residues used in the formation of compost, we can mention cassava shells, peanut shells, fruit and vegetable shells, brewery waste, cocoa shells, tail shells, corn, banana shells (*Musa paradisiaca*). The objective of this research was to determine the quality of the compost produced from the banana peel in order to take advantage of up to 70% of its biomass in the Provincial Municipality of Leoncio Prado, Peru. The results showed that the aerobic degradation of the shell of *M. paradisiaca* generated CO<sub>2</sub> emissions (88.61%), as well as compost (6.57%) and leachates (4.82%). However, the phytotoxic effects using the germination index showed a complete inhibition of the tested seeds, possibly due to the high mineral content (high salinity content of the compost and leachate), the presence of heavy metals, organic compounds present, or the presence of fungi such as *A. fumigatus*.

**Keywords:** *Aspergillus fumigatus*, compost, *Musa paradisiaca*, pulmonary diseases

<sup>1</sup> Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, Pampa, Perú.

<sup>3</sup> Consultor Constructor & Auditor LEOC E.I.R.

<sup>4</sup> Universidad Privada San Juan Bautista, Lima, Perú.

\*Autor de Correspondencia: [jorge.diazdu@ciplima.org.pe](mailto:jorge.diazdu@ciplima.org.pe)

## Introducción

*Aspergillus fumigatus* es un hongo con características de saprófito que crece en las partes muertas y en descomposición de la materia orgánica. No es un patógeno primario; sin embargo, el uso de las terapias inmunosupresoras o el uso prolongado de antifúngicos pueden convertirlo en un patógeno fúngico oportunista (Chowdhary *et al.*, 2013). El género *Aspergillus* se divide en cinco secciones: *fumigati*, *nidulante*, *flavi*, *nigri* y *terrei*, pero solo se sabe que algunas especies como *A. fumigatus* y *A. flavus* son los principales hongos patógenos tanto en humanos como en animales. *A. fumigatus* es el patógeno fúngico oportunista más común que se puede encontrar en el aire. El espectro de enfermedades asociadas a *A. fumigatus* es muy amplio: causa aspergilosis pulmonar crónica (CPA), aspergilosis invasiva aguda y síndrome de alergias. La inmunodeficiencia del huésped, que incluye neutropenia, inmunosupresión inducida por corticosteroides y enfermedades hematológicas. El uso a largo plazo de fármacos citotóxicos como la ciclofosfamida (previene el rechazo del injerto en los pacientes) es el principal factor de riesgo predisponente responsable del desarrollo de aspergilosis. Los pacientes sometidos a trasplante de células madre hematopoyéticas (TPH) y los trasplantes de órganos sólidos (TOS) pueden adquirir algún tipo de defectos inmunitarios que también contribuyen al desarrollo de infecciones relacionadas con *Aspergillus* (Van de veerdonk *et al.*, 2017). Pacientes que sufren de enfermedad pulmonar severa como la pulmonar obstructiva crónica (EPOC) tienen un mayor riesgo de desarrollar aspergilosis pulmonar crónica y aspergilosis pulmonar necrosante crónica (CNPA) que pueden causar crecimiento de hongos en los tejidos dañados. Pacientes con larga estancia en unidades de cuidados intensivos (UCI) y los infectados con tuberculosis o virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) también corren un gran riesgo de desarrollar aspergilosis en los pulmones. El aspergilosis alérgico broncopulmonar (ABPA) ocurre principalmente en pacientes con asma y desarrollan inmediatamente una respuesta alérgica contra las conidias de Aspergilo. El desarrollo de IA en pacientes también se debe al desconocimiento y poca disponibilidad de pruebas microbiológicas para diagnosticar las infecciones (García-Rubio *et al.*, 2017). Las opciones de tratamiento están limitadas a sólo tres antifúngicos: polienos (anfotericina B), fármacos azólicos y equinocandinas. Los compuestos de triazol, que son los azoles más utilizados, incluyen itraconazol, voriconazol y posaconazol que representa la primera línea de terapia para el tratamiento de la aspergilosis. Camps *et al.*, (2012a,b). El desarrollo de resistencia a los azoles entre los aislamientos clínicos imparte un gran desafío para el tratamiento de la enfermedad relacionada con *Aspergillus* y exige una fuerte necesidad de desarrollar compuestos antifúngicos alternativos (Wadhwa & Kaur, 2022).

Algunas personas, en especial los trabajadores agrícolas, pueden estar expuestos a mayor riesgo de aspergilosis debido al contacto con pilas de compost (Mbareche *et al.*, 2017), ya que algunos de los hongos que allí proliferan, como las especies del género *Aspergillus*, son más propensos a ser aerosolizados, y es esta aerosolización preferencial la que podría contribuir a su amplia distribución en diferentes ambientes aéreos (Veillette *et al.*, 2018), así como también la temperatura, ventilación, y otros parámetros físico-químicos, incluidos los metales pesados, que ejercen alguna influencia sobre la comunidad microbiana (Shehata *et al.*, 2021, Wang *et al.*, 2022). Son estos hongos aerolizados los más dañinos a la salud por su facilidad de colonización.

Por otra parte, aunque la agricultura se considera la fuente primordial de alimentos, ésta enfrenta graves problemas ambientales debido al abuso de grandes cantidades de fertilizantes químicos que mejoran la producción de los cultivos. Un exceso de estos fertilizantes nitrogenados deteriora la fertilidad de los suelos y por ende la producción agrícola, además son costosos comparados con los fertilizantes orgánicos (Amanullah & Khalid, 2020, Carabassa *et al.*, 2020). Los fertilizantes orgánicos no dañan al medio ambiente y podrían resultar una estrategia eficaz para salvaguardar el medio ambiente. De hecho, son la fuente más adecuada para mejorar el suelo y su fertilidad (Guimarães *et al.*, 2013). El compost orgánico promueve el suelo con mejor capacidad de retención de agua y resistencia a la sequía. También es popularmente conocido por su naturaleza ecológica y económicamente atractiva. Más a menudo, también ayuda en la gestión sostenible de los residuos agrícolas y potencia la capacidad de reciclaje de los sustratos que se generan en la industria agrícola (Demir & Gulser, 2015). Cuando tales abonos orgánicos son preparados a partir de partes de plantas que poseen fitoconstituyentes como fenoles y alcaloides, proporcionan un mejor ambiente y más seguro para las plantas de cultivo a las que se aplican como fertilizante. Entre los residuos agrícolas postcosecha más comunes utilizados en la formación de compost, vale la pena mencionar a las cáscaras de yuca, de maní, de frutas y verduras, desechos de cervecería, cascarilla de cacao, cascarilla de cola, maíz, etc. (Mahboub-Khomami, 2015).

Estos residuos agrícolas se pueden compostar y utilizar como biofertilizante de valor agregado (Fiabane & Meléndez, 1997; Kaur *et al.*, 2019). El compostaje de estos desechos agrícolas se considera más respetuoso con el medio ambiente que los residuos municipales debido a que contiene menos cantidad de metales pesados contenido (Carabassa *et al.*, 2020). Aunque una serie de materias primas de los residuos agrícolas están disponibles, siempre hay una búsqueda constante de nuevas fuentes para encontrar un mejor sustrato que tenga un mayor valor nutritivo para reemplazar el fertilizantesquímicos (Suganthi & Kavitha, 2022). Por lo tanto, el compostaje es una importante alternativa de degradación biológica de la materia orgánica hasta su estabilización (Haug, 1993), que se lleva a cabo por diversas y sucesivas poblaciones de microorganismos (Canales & Padilla, 2010). Este proceso origina como producto final: dióxido de carbono, agua y calor, así como también sustancias húmicas (Ferreira *et al.*, 2018). En la producción industrial se puede reaprovechar rastrojos de uva (Fernández *et al.*, 2019), cáscara de *M. paradisiaca* (Kalemelawa *et al.*, 2012), restos de animales (Souza *et al.*, 2019), poda de plantas (Corrêa da Silva *et al.*, 2018) y diversos residuos de frutas y verduras

(Tratsch *et al.*, 2019) así como de diversas biomásas (Ramos, 2015; Bárbaro *et al.*, 2019; Rodas-Gaitán *et al.*, 2019). Para poder compostar los residuos hay que tener en cuenta múltiples factores tales como: Temperatura, su variabilidad es un indicador del proceso de maduración del compost (Vargas-Pineda *et al.*, 2019), y puede variar desde los 55 a 60 °C en la primera etapa (Termófilo), hasta estabilizar su temperatura entre 30 a 35 °C (mesófila) (CEMPRE, 1998), pH: debe estar comprendido entre 6 y 7,5 para una adecuada actividad de los microorganismos (FAO, 2013, Brutti, 2001), Conductividad eléctrica: puede afectar el proceso de germinación de las plantas (Bernal *et al.*, 2017), producido por la concentración de sales en el compost (Maheshwari, 2014) es preferible que se mantenga por debajo de 10 (US Composting Council, 2002), Aireación: la compactación podría afectar el flujo de aire y consecuentemente la calidad del compost (Picado, 2005), por ello los volteos del compost son importantes, Relación C/N: determina la cantidad de carbono disponible para la obtención de energía para los microorganismos en los procesos de composta. Por su parte el nitrógeno es un parámetro importante para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos descomponedores (Richard, 1992), del mismo modo esta relación debe de mantenerse entre 25 a 35 (Picado, 2005) con una relación (10:1 – 15:1) como sugiere FAO, (2013). Estabilidad: la tasa de respiración o actividad respiratoria suele ser un indicador inverso de la degradación, ya que mientras más bajo sea, mayor será la estabilidad del compost (Zucconi *et al.*, 1987), por tanto, se sugiere que su valor sea menor de 6 mg CO<sub>2</sub>/gSV (BSI, 2011), o se encuentre por debajo de 7 mgO<sub>2</sub>/gMS (Önorm, 1991), Madurez: la medición de la calidad del compost esta expresada a través del nivel de toxicidad mediante el índice de germinación (Diaz *et al.*, 2011), y debe de estar entre 65% a 85% (NADF, 2012), o establecida en +/- 5% en biomásas generada (Önorm, 1993).

Muchos estudios han tratado también de investigar técnicas alternativas al compostaje, como la generación de compost por anaerobiosis (Chanakya & Sreasha, 2012), producción de biocarbon (Sial *et al.*, 2018), aceleración de la degradación de mediante el uso de aceleradores biológicos (Kalemelawa *et al.*, 2012), aplicación de calor y el cultivo de larvas biodegradadoras (Isibika *et al.*, 2019) todas estas alternativas parten de mejorar la eficiencia del reaprovechamiento de la cáscara del *Musa paradisiaca*, así como también de mejorar sus propiedades fisicoquímicas (Kalemelawa *et al.*, 2012).

Esta investigación tiene por objetivo determinar la calidad del compost producido a partir de la cáscara de *Musa paradisiaca* (Plátano) que podría ser aprovechado hasta un 70% de su biomasa de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado. Estos residuos se disponen mezclados con otros residuos domésticos en camas de composta o en celdas transitorias generando una problemática ambiental al contaminar los suelos, produciendo emisiones y posibles vectores.

## Materiales y métodos

La investigación se desarrollo en la ciudad de Tingo María, región Huánuco, en las instalaciones del laboratorio de Calidad del Aire de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, con residuos de cáscara de *Musa paradisiaca* obtenidos de la planta de compostaje de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

Para el desarrollo de la investigación se adaptó un diseño experimentan aplicado, en su forma de diseño completamente al azar (DCA), constituido por un tratamiento y cinco repeticiones, en las que se evaluó el proceso de composta de la cáscara de *M. paradisiaca*. Para el experimento se procedió a caracterizar la cáscara de *M. paradisiaca*, y posteriormente elaborar las camas de composta, conformado por 5 contenedores plásticos de 35 L en los que se llevó a cabo el proceso de composta, colocándose en cada uno de ellos 10 Kg de cáscara verde picada en trozos menores de 3 cm, el compostador contaba con orificios de drenaje en un extremo de la base y estaba inclinado 5°, para poder drenar los lixiviados del proceso de composta a un segundo contenedor de 3 L. En el manejo del sistema de compostaje se voltearon e hidrataron las camas cada 7 días cuando la temperatura superaba los 40 °C. Cada 20 días se midió el volumen líquido, y después de 100 días de composta se determinaron los parámetros de calidad: pH, conductividad, salinidad y potencial de óxido reducción, así como la estabilidad degradativa por el método espirométrico usando el test AT4 (actividad respiratorias a los 4 días, equipo Oxitop). El análisis de la toxicidad se determinó mediante el Índice de Germinación Relativa (IGR), por método de siembra en placas de semillas de mastuerzo, mientras que la eficiencia de biodegradación se calculó de manera gravimétrica, por diferencia de peso en incineración con mufla a 550°C.

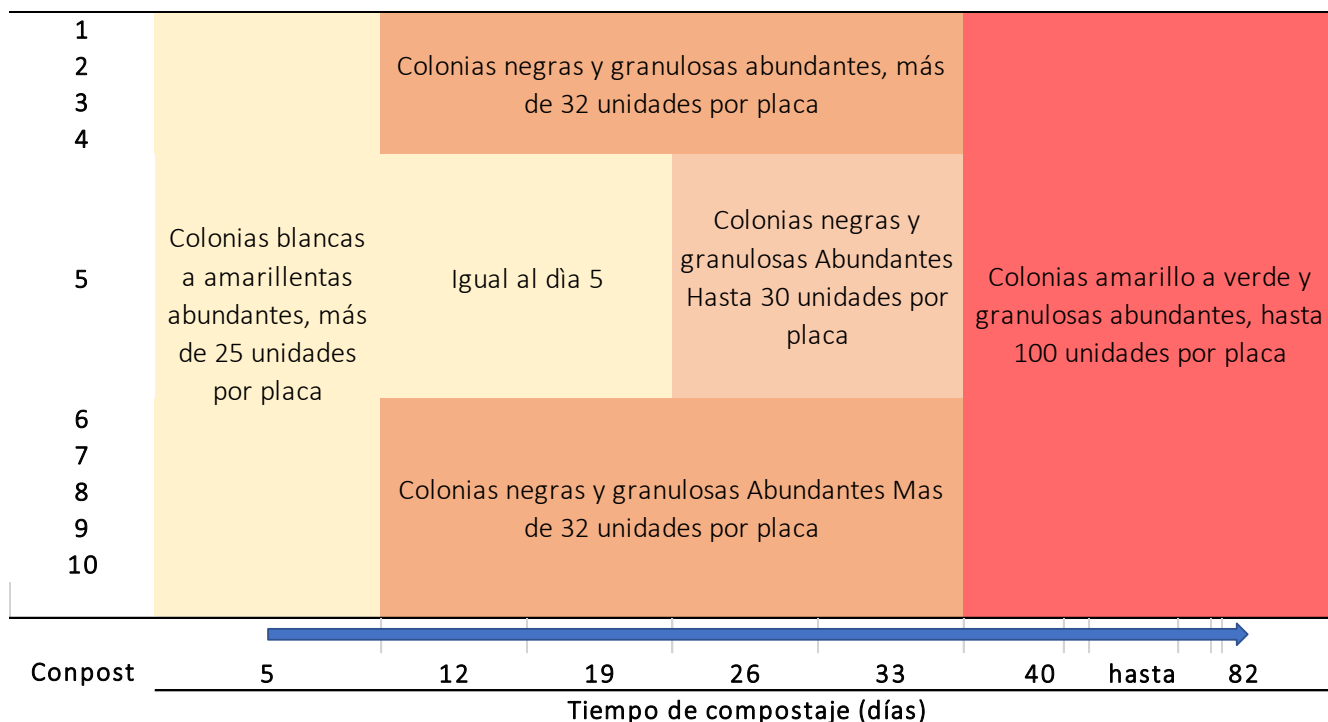
## Aislamiento e identificación del hongo

*Aspergillus fumigatus* fue aislado a partir cada compost cada 7 días en 12 oportunidades sucesivas. Para ello, se tomó 1 g de compost, se depositó en 100 mL de agua destilada esterilizada, y se agitó por 20 min a 25 °C. Después, se tomaron alícuotas de 100 µL y se sembraron en placas Petri con PDA a 28 °C por cinco días. Las colonias desarrolladas se seleccionaron y se repitió el mismo procedimiento de siembra antes descrito hasta lograr el aislamiento y purificación de la cepa fúngica. La identificación se realizó mediante las principales características morfológicas del hongo, macroscópicas (color, forma y tipo de colonia) y microscópicas (forma de las esporas, cabeza conidial y conidióforo). Una suspensión de esporas se preparó con el fin de realizar los inóculos en el medio de cultivo suplementado con metales tóxicos. Para ello, el hongo se sembró en un matraz Erlenmeyer de 250 ml suplementado con 50 ml de PDA, a 28 °C por 7 días. Luego se agregaron 100 mL de agua destilada a temperatura ambiente y se agitó cuidadosamente durante 5 min. El conteo de esporas se realizó con una cámara Neubauer.

## Resultados

La tabla 1 resume todas las características macroscópicas de las colonias aisladas del hongo en PDA en los 10 compost después de 5 días y reevaluadas cada 7 días en 12 veces sucesivas. Después de 7 días, las colonias fueron blancas-amarillentas (de 24 a 48 h de cultivo), volviéndose negras y granulosas, con reverso amarillo a verde. En cambio, las principales características microscópicas observadas fueron cabezas conidiales globosas de tono negro a café; conidióforos lisos de color café claro y conidios o esporas globosas. Ambas características macro y micro morfológicas fueron coincidentes para el hongo *Aspergillus fumigatus* (Abarca, 2000; Sáez *et al.*, 2002).

**Tabla 1. Caracterización de las colonias de *Aspergillus fumigatus* por compost de *Musa paradisiaca***



El proceso de degradación de cáscara de *M. paradisiaca* fue muy variable y dependió de muchos factores, en especial de la presencia de oxígeno y condiciones de manejo, por ello al evaluar la producción de compost, se obtuvo un tiempo de biodegradación física de hasta 80 días, similar al alcanzado por otros investigadores que lograron estabilidad de la composta a los 90 días (Sial *et al.*, 2018). Con la aplicación de distintos aceleradores biológicos, este tiempo se redujo entre 75 y 89 días (Ramos-Palomino, 2015), demostrándose así, que el uso de aceleradores biológicos no tuvo un efecto significativo en el tiempo de composta.

Otro indicador que se consideró para determinar el fin del proceso de composta fue medir la actividad respiratoria del compost en función al consumo de oxígeno y su comparación con el valor de 7 mgO<sub>2</sub>/gMS establecido en la normativa austriaca (Önorm, 1991). Se determinó un valor de 9,1 mgO<sub>2</sub>/gMS después de 100 días de composta, lo que demostraría que aún hay actividad de microorganismos, y que los indicadores físicos: temperatura, volumen y peso no determinaron el fin del proceso de maduración del compost.

Respecto a la eficiencia degradativa, se logró descomponer la cáscara de *M. paradisiaca* hasta un 93,43%, por encima del 80% obtenido en estudios de la composta de hojas de *M. paradisiaca* (Chanakya & Sreesha, 2012), en ambos casos el proceso de degradación estuvo condicionado a la presencia de lignina, que los hace resistentes a los procesos degradativos.

**Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de la degradación de la cáscara de *Musa paradisiaca***

Parámetro	Aerobiosis	
	Compost	Lixiviado
pH	9,47	10,09
Potencial de oxido reducción (mV)	-175,60	-211,10
Salinidad (%)	214,60	322,50
Conductividad (us)	110,80	166,30

Por otra parte, la degradación aerobia de la cáscara de *M. paradisiaca* generó emisiones de CO<sub>2</sub> (88,61%), así como compost (6,57 %) y lixiviados (4,82 %) evaluándose su efecto fitotóxico mediante el índice de germinación. Los resultados lograron una inhibición completa de la germinación posiblemente debido al gran contenido de minerales (alto contenido de salinidad del compost y lixiviado, tabla 2), así como también a la presencia de metales pesados o compuestos

orgánicos en proceso de degradación que inhiben la germinación (Forte *et al.*, 1981), por tanto no podrían ser usados para la agricultura al superar el 65% establecido en la normatividad mexicana (NADF, 2012) por su alta toxicidad.

En este caso, el reaprovechamiento de la cáscara de *M. paradisiaca* fue afectado por múltiples factores, sólo siendo efectivo o aprovechable el 11,39% del carbono de la cáscara de *M. paradisiaca*, ya que gran parte del mismo fue liberado a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, pero ese carbono restante presenta una alta toxicidad, por lo que requeriría de un proceso adicional de biodegradación o ser mezclado con otras enmiendas de tipo agrícola, para así darle provecho a las características mejoradoras de las propiedades físico químicas del suelo (Fiabane & Meléndez, 1997).

Por ello, el producto de la composta de la cáscara de *M. paradisiaca* en esta investigación logró degradar hasta un 93,43% de la misma, reaprovechando apenas un 6,57% de la cáscara de *M. paradisiaca*

## Discusión

La tabla 1, muestra los resultados encontrados en las diferentes colonias de hongos determinadas en 10 de los compost preparados a partir de *Musa paradisiaca*. Algunas características macro y micro morfológicas tales como: color de las colonias; de blanco-amarillento, pasando a negras y granuladas, con reverso amarillo a verde, y la presencia de cabezas conidiales globosas de tono negro a café; conidióforos lisos de color café claro y conidios o esporas globosas señalan que las especies de hongos aisladas corresponden con el género *Aspergillus fumigatus* (Abarca, 2000; Sáez *et al.*, 2002). Otro hecho importante es que el número de colonias determinadas fue de 30 unidades entre los 12 y 33 días de fermentación, a 100 unidades a partir de los 40 días de preparación del compost, lo cual demuestra que estos hongos tienen el sustrato perfecto para su desarrollo. Sin embargo, la presencia de este tipo de hongos tiene consecuencias graves sobre la salud humana. Wang *et al.*, (2022) indican que la generación de compost a partir de desechos vegetales o animales, es un proceso bioquímico que implica la interacción de diversas comunidades microbianas para convertir los desechos orgánicos ricos en nutrientes en fertilizantes y enmiendas de suelo (Robertson *et al.*, 2019). Los hongos juegan un papel importante en compostaje debido a su capacidad para usar sustratos de carbono como fuente de alimento y ataque residuos orgánicos que son demasiado secos, ácidos o bajos en nitrógeno para la descomposición bacteriana (Langarica-Fuentes *et al.*, 2014). Sin embargo, algunas operaciones que implican un movimiento vigoroso durante el compostaje, como mover y manipular el material de compostaje están asociados con la liberación de grandes cantidades de bioaerosoles (Mbareche *et al.*, 2017, Gao *et al.*, 2018). La exposición a microorganismos en aerosol puede tener efectos adversos en salud humana (Ferguson *et al.*, 2021). Los bioaerosoles fúngicos consisten en esporas, fragmentos de micelio y desechos que son fácilmente inhalados por los trabajadores y causan numerosos síntomas, incluyendo alergias, irritación e infecciones oportunistas. La exposición pulmonar a largo plazo a bioaerosoles fúngicos puede asociarse con enfermedades crónicas, mientras que los efectos de la exposición a corto plazo van desde irritación de los ojos y la nariz hasta tos y dolor de garganta. Dada la inhalación de hongos puede promover problemas de salud humana, ha habido muchos estudios sobre el abundancia y composición de hongos en el aire de los sitios de compostaje (He *et al.*, 2019, Wang *et al.*, 2022).

Por otra parte, la banana es una de las frutas más codiciadas a nivel mundial, con un mercado de consumo que la coloca en primer lugar debido a su sabor particular y a sus altos valores nutricionales. El cultivo de las diferentes especies de banana es frecuentemente llevado a cabo en las regiones tropicales y sub-tropicales. La *Musa sp.* (Banana), pertenece a la familia de las *Musaceae* y tiene un rol importante en la generación de residuos postcosecha (Mohapatra *et al.*, 2010). Varias partes de la planta son obtenidas como desecho agrícola del cultivo de la banana, y ellas han sido estudiadas para la generación de compost tales como: la concha de la banana, el pseudotallo y las hojas secas. A pesar de esto, un gran porcentaje de esta fuente de lignina y componentes nutricionales no es utilizada con la frecuencia que debería hacerse en las áreas de cultivo. De allí que este trabajo propuso la creación de un compost a base de cáscara de *Musa paradisiaca* para ser aprovechado hasta en un 70% de su biomasa. Los resultados mostraron una degradación de hasta el 93 % de la biomasa con grandes emisiones de dióxido de carbono (88,61%), así como de compost (6,57 %) y lixiviados (4,82 %). Sin embargo, los resultados de germinación de plántulas, que definen la calidad del compost no fueron los esperados, y esto pudo deberse no sólo a la presencia de metales pesados presentes en el compost sino también al no control de hongos. Ali *et al.*, (2021) han señalado que las enfermedades fúngicas afectan la calidad de la frutas y por ende los subproductos que se obtienen después de la postcosecha y se ha llegado a detectar hasta cuatro especies de hongos *Aspergillus*: dos de *Aspergillus fumigatus*, uno de *Aspergillus flavus* y uno de *Aspergillus niger* (Ali *et al.*, 2021). En un estudio conducido por Selvam & Kumar, (2022) usando compost basado en la bellota de las flores del banano después de 90 días de preparación se encontró que hubo un cambio de coloración a marrón negrusco con textura similar a suelo con ausencia de olor. El rendimiento fue de un 50% del material original, mucho mayor que el obtenido en este trabajo que apenas alcanzó 6,57%, con una relación C/N 46:1 y un pH cercano 9.23 después de los 90 días después de su preparación. La estabilidad y madurez del compost preparado fueron determinadas basadas en parámetros fisicoquímicos. Ya que la relación C:N fue muy alta, el proceso de descomposición madurado lentamente de manera de que todo el contenido de nitrógeno no se volatilizar en forma de amoníaco, de esta manera se bajo el pH a 8,1. En este caso el porcentaje de germinación de las semillas de arroz fue de un 100 %, lo queda cuenta de la efectividad de usar este compost como fertilizante efectivo. Algunos factores como ausencia de metales pesados o un control de la formación de hongos pudo haber tenido efecto en estos resultados.

## Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflicto de intereses.

## Agradecimientos

A nuestros colegas investigadores.

## Referencias

- Ali, F., Akhtar, N., Shafique, S., & Shafique, S. (2021). Isolation and identification of *Aspergilli* causing Banana fruit rot. *Open Journal of Chemistry*, 4(1), 8-18. <http://doi:10.30538/psrp-ojc2021.001>
- Amanullah, & Khalid, S. (2020) Agronomy- Food Security- Climate Change and the Sustainable Development Goals. In: *Agronomy-Climate Change & Food Security*, Dr. Amanullah (editor) Intechopen, Pakistan pp 1–9. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/72575> (Acceso noviembre 2021).
- Bárbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 126-136. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>
- Bernal, M. P., Sommer, S. G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L. & Michel Jr, F. C. (2017). Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits. *coQAdvances in agronomy*, 144, 143-233. <http://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.03.002>
- Camps, S. M., van der Linden, J. W., Li, Y., Kuijper, E. J., van Dissel, J. T., Verweij, P. E., & Melchers, W. J. (2012b). Rapid induction of multiple resistance mechanisms in *Aspergillus fumigatus* during azole therapy: a case study and review of the literature. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 56(1), 10-16. <http://dx.doi.org/10.1128/AAC.05088-11>
- Camps, SM., Dutilh, BE., Arendrup, MC., Rijs, AJ., Snelders, E., Huynen, MA., & Melchers, WJ. (2012a). Discovery of a HapE mutation that causes azole resistance in *Aspergillus fumigatus* through whole genome sequencing and sexual crossing. *PLoS One*, 7(11), e50034. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0050034>
- Canales, M., & Padilla, D. (2010). Evaluación de técnicas para acelerar el compostaje de rastrojo vegetal y estiércol de vacuno en el centro modelo de tratamiento de residuos de la UNALM (CEMTRAR). Lima, Perú. Disponible en: [https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id\\_investigador=1985](https://ctivitae.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=1985) (Acceso agosto 2021).
- Carabassa, V., Domene, X., & Alcañiz, J. M. (2020). Soil restoration using compost-like-outputs and digestates from non-source-separated urban waste as organic amendments: Limitations and opportunities. *Journal of environmental management*, 255, 109909. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109909>
- CEMPRE. (1998). Residuos Sólidos Urbanos: Manual de Gestión Integral. Parte 2: Reciclaje de la materia orgánica – Compostaje. Disponible en: [http://www.cempre.org.uy/pub/girsu/paginas177\\_208.pdf](http://www.cempre.org.uy/pub/girsu/paginas177_208.pdf) (Acceso octubre 2021).
- Chanakya, H. N., & Sreasha, M. (2012). Anaerobic retting of banana and arecanut wastes in a plug flow digester for recovery of fiber, biogas and compost. *Energy for Sustainable Development*, 16(2), 231-235. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.01.003>
- Chowdhary, A., Kathuria, S., Xu, J., & Meis, J. F. (2013). Emergence of azolerresistant *Aspergillus fumigatus* strains due to agricultural azole use creates an increasing threat to human health. *PLOS Pathogens*, 9(10), e1003633. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.ppat.1003633>
- Corrêa da Silva, C. H., Cipriano Rocha, F., & Gonzaga Galindo da Silva, L. L. (2018). Production of organic compost from different plant waste generated in the management of a green urban space. *Revista Ciência Agronômica*, 49(4), 558-565. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180063>
- Demir, Z., & Gülser, C. (2015) Effects of rice husk compost application on soil quality parameters in greenhouse conditions. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(3), 185. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/300072452\\_Effects\\_of\\_rice\\_husk\\_compost\\_application\\_on\\_soil\\_quality\\_parameters\\_in\\_greenhouse\\_conditions](https://www.researchgate.net/publication/300072452_Effects_of_rice_husk_compost_application_on_soil_quality_parameters_in_greenhouse_conditions) (Acceso noviembre 2021).
- Diaz, L. F., De Bertoldi, M., & Bidlingmaier, W. (2011). *Compost science and technology* (Vol. 8). Netherlands: Elsevier. Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/compost-science-and-technology/diaz/978-0-08-043960-0> (Acceso noviembre 2021).
- FAO. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor*. Santiago de Chile: FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf> (Acceso noviembre 2021).

- Ferguson, R., Neath, C., Nasir, Z. A., Garcia-Alcega, S., Tyrrel, S., Coulon, F., Dumbrell, A. J., Colbeck, I., & Whitby, C. (2021) Size fractionation of bioaerosol emissions from green-waste composting. *Environment International*, 147, 106327. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106327>
- Fernández, A. S., Martínez, L., & Uliarte, E. M. (2019). Performance of grape marc and organic residues compost as substrate in lettuce (*Lactuca sativa*) seedlings. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 51(2), 261-269. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1853-86652019000200020&lng=es&tlng=en](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652019000200020&lng=es&tlng=en) (Acceso noviembre 2021).
- Ferreira, A., Dias, N. S., Sousa J., Souto de F., Ferreira, A. C., Fernandes, C. S., & Leite, T. S. (2018). Composting of household organic waste and its effects on growth and mineral composition of cherry tomato. *Revista Ambiente & Água*, 13(3), e2141. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2141>
- Fiabane, C., & Meléndez, L. (1997). Elaboración de compost utilizando aserrín de pino (*Pinus radiata* D. Don) y su evaluación como fertilizante en un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Memoria de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de agronomía. 112p. Disponible en: [https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/INFORME%20FINAL%20PP%20-%20CD.pdf](https://web2.unas.edu.pe/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/INFORME%20FINAL%20PP%20-%20CD.pdf) (Acceso octubre 2021).
- Forte, M., Pera, A., De Bertoldi, M., & Zucconi, F. (1981). Evaluating Toxicity of Immature Compost. *BioCycle*, 22(2), 54. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8229728> (Acceso noviembre 2021).
- Gao, M., Qiu, T., Sun, Y., & Wang, X. (2018) The abundance and diversity of antibiotic resistance genes in the atmospheric environment of composting plants. *Environment International*, 116, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.04.028>
- García-Rubio, R., Cuenca-Estrella, M., & Mellado, E. (2017). Triazole resistance in *Aspergillus* species: an emerging problem. *Drugs*, 77(6), 599-613. <http://dx.doi.org/10.1007/s40265-017-0714-4>
- Guimarães, D. V., Gonzaga, M. I., da Silva, T. O., da Silva, T. L., da Silva, D., Días, N. & Matias, M. I. (2013). Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. *Soil and Tillage Research*, 126, 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.07.010>
- Haug, R. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. <https://doi.org/10.1201/9780203736234>
- He, P., Wei, S., Shao, L., & Lü, F. (2019) Aerosolization behavior of prokaryotes and fungi during composting of vegetable waste. *Waste Manag*, 89, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.008>
- Isibika, A., Vinnerås, B., Kibazohi, O., Zurbrugg, C., & Lalander, C. (2019). Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Waste Management* 100, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.017>
- Kalemelawa, F., Nishihara, E., Endo, T., Ahmad, Z., Yeasmin, R., Tenywa, M. M., & Yamamoto, S. (2012). An evaluation of aerobic and anaerobic composting of banana peels treated with different inoculums for soil nutrient replenishment. *Bioresource Technology*, 126, 375-382. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.030> .
- Kaur, P., Kocher, GS. & Taggar, MS. (2019). Enhanced bio-composting of rice straw using agricultural residues: an alternate to burning. *International Journal of Recycling of Organic Waste*, 8(1), 479–483. *Waste in Agriculture* <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0263-9>
- Langarica-Fuentes, A., Zafar, U., Heyworth, A., Brown, T., Fox, G. & Robson, G.D. (2014) Fungal succession in an in-vessel composting system characterized using 454 pyrosequencing. *FEMS Microbiol. Ecol.* 2014, 88, 296–308. <https://doi.org/10.1111/1574-6941.12293>
- Mahboub-Khomami A. (2015). The possibility using the composted peanut shells in the growth of marigold and Viola tricolor plants. *Journal of Ornamental Plants*, 5(1), 61–6. Disponible en: [https://jornamental.rasht.iau.ir/article\\_513292.html](https://jornamental.rasht.iau.ir/article_513292.html) (Acceso noviembre 2021).
- Maheshwari, D. K. (2014). *Composting for sustainable agriculture* (Vol. 3): Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-31908004-8>
- Mbareche, H., Veillette, M., Bonifait, L., Dubuis, M. E., Benard, Y., Marchand, G., Bilodeau, G. J., & Duchaine, C. (2017) A next generation sequencing approach with a suitable bioinformatics workflow to study fungal diversity in bioaerosols released from two different types of composting plants. *Science of the Total Environment*. 601–602, 1306–1314. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.235>
- Mohapatra, D., Mishra, S., & Sutar, N. (2010). Banana and its by-product utilisation: an overview. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 69(5), 323–329. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/230650431\\_Banana\\_and\\_its\\_by-product\\_utilisation\\_An\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/230650431_Banana_and_its_by-product_utilisation_An_overview) (Acceso noviembre 2021).

- NADF. (2012). Norma ambiental para el distrito federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal. Gaceta oficial del distrito federal. 15p. (69-83). Disponible en: [http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/images/stories/normatividaddf/nadf\\_020\\_ambt\\_2011.pdf](http://data.sedema.cdmx.gob.mx/padla/images/stories/normatividaddf/nadf_020_ambt_2011.pdf) (Acceso noviembre 2021).
- ÖNORM. (1991). S2200 Quality requirements for biowaste-compost - Marking of conformity. Viena. Austria. 14p. Disponible en: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M133z.pdf> (Acceso noviembre 2021).
- ÖNORM. (1993). Untersuchungsmethoden und Güteüberwachung von Müllkompost. Viena. Austria. 1993. 16p. Disponible en: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M133.pdf> (Acceso noviembre 2021).
- Picado J. & Añasco A. (2005). Preparación y Uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos. CEDECO. San José, Costa Rica. 66p. Disponible en: [http://www.ciaorganico.net/documypublic/641\\_Abonos\\_organicos\\_\(1\).pdf](http://www.ciaorganico.net/documypublic/641_Abonos_organicos_(1).pdf) (Acceso noviembre 2021).
- Ramos-Palomino, R. E. (2015). Evaluación de diferentes sustratos de materias orgánicas y con microorganismos eficientes en la preparación de compost, en la zona de Pangoa – Perú. Tesis para optar el título profesional de ingeniero en ciencias agrarias especialidad agronomía. Satipo, Perú. 70p. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/1908> (Acceso noviembre 2021).
- Richard, T. (1992). Municipal solid waste Composting: Physical and Biological processing. Biomass and Bioenergy Journal, 3(3-4), 163-180 [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(92\)90026-M](https://doi.org/10.1016/0961-9534(92)90026-M)
- Robertson, S., Douglas, P., Jarvis, D., & Marczyklo, E. (2019) Bioaerosol exposure from composting facilities and health outcomes in workers and in the community: A systematic review update. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 222, 364–386. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.02.006>
- Rodas-Gaitán, HA., Vázquez-Alvarado, RE., Olivares-Sáenz, E., Aranda-Ruiz, J. & Palma-García, JM. (2019). Estabilidad de compostas estáticas biodinámicas a partir de restos de cultivos regionales. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10(1), 187-195. <https://dx.doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1337>
- Selvam, S, & Kumar, K. S. (2022). Application of banana spathe extracts and compost for improving growth in rice plants. Journal of Applied Biology & Biotechnology. 10(01), 112-119, <https://doi.org/10.7324/JABB.2021.100114>
- Shehata, E., Cheng, D., Ma, Q., Li, Y., Liu, Y., Feng, Y., Ji, Z., & Li, Z. (2021). Microbial community dynamics during composting of animal manures contaminated with arsenic, copper, and oxytetracycline. Journal of Integrative Agriculture, 20, 1649–1659. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63290-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63290-7)
- Sial, T. A., Khan, M. N., Lan, Z., Kumbhar, F., Zhao, Y., Zhang, J., Sun, D., & Xiu, L. (2018). Contrasting effects of banana peels waste and its biochar on greenhouse gas emissions and soil biochemical properties, Process Safety and Environmental Protection, 122, 366-377. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.10.030>
- Souza, O., Federizzi, M., Coelho, B., Wagner, T. M., & Wisbeck, E. (2010). Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14(4), 438-443. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400014>
- Suganthi, S., & Kavitha, S. K. (2022) Application of banana spathe extracts and compost for improving growth in rice plants. Journal of Applied Biology and Biotechnology, 10(1), 112–119. <http://dx.doi.org/10.7324/JABB.2021.100114>
- Tratsch, M., Ceretta, V. M., Silva, C. A., Ferreira, L., Ademar-Avelar, P., & Brunetto, G. (2019). Composition and mineralization of organic compost derived from composting of fruit and vegetable waste. Revista Ceres, 66(4), 307-315. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201966040009>
- US Composting Council. (2002). Test methods for the examination of composting and compost. Reston, Vermont, USA: US Composting Council. Disponible en: <https://www.compostingcouncil.org/store/ViewProduct.aspx?id=13656204> (Acceso noviembre 2021).
- Van De Veerdonk, F. L., Gresnigt, M. S., Romani, L., Netea, M. G., & Latge, J. P. (2017). *Aspergillus fumigatus* morphology and dynamic host interactions. Nature Reviews Microbiology, 15(11), 661. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.90>



- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *ORINOQUIA*, 23(2), 123-129. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v23n2/0121-3709-rori-23-02-123.pdf> (Acceso octubre 2021).
- Veillette, M., Bonifait, L., Mbareche, H., Marchand, G., & Duchaine, C. (2018) Preferential aerosolization of Actinobacteria during handling of composting organic matter. *Journal of Aerosol Science*, 116, 83–91. <https://doi.10.1016/j.jaerosci.2017.11.004>
- Wadhwa, K., & Kaur, H. (2022). Triazole resistance in *Aspergillus fumigatus*-a comprehensive review, *Journal of Microbiology, biotechnology and Food Sciences*, 11(4), e4159. <https://doi.org/10.55251/jmbfs.4159>
- Wang, R., Yu, A., Qiu, T., Guo, Y., Gao, H., Sun, X., Gao, M., & Wang, X. (2022) Aerosolization Behaviour of Fungi and Its Potential Health Effects during the Composting of Animal Manure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 5644. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095644>
- Zucconi, F., & de Bertoldi, M. (1987). Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In *Compost: production, quality and use* (pp. 30-50). Netherlands: Elsevier. Disponible en: [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgict55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1463430](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgict55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1463430) (Acceso noviembre 2021).