

# Residuos agroindustriales como sustratos para la producción de biomasa fúngica: enfoque en bagazo de caña

*Sara Alzate-Mejía, Johan Camilo Cuartas-Quintero, Giselle Vanessa Herrera-Yatacué<sup>1</sup>, Victor Hugo Grisales-Díaz<sup>2</sup>, Adalucy Alvarez-Aldana<sup>3</sup>*

## RESUMEN

Actualmente la eliminación de residuales representa una problemática ya que algunos de estos en su gran mayoría no son aprovechados y en muchos casos simplemente afectan al medio ambiente, es por esto que muchos de ellos han sido propuestos para evaluar sus potenciales como posibles sustratos. El bagazo de caña hace parte de los residuos agrícolas más producidos en Colombia. En el presente artículo se ha decidido utilizar el bagazo de caña ya que es un residuo disponible localmente y se presentan las cantidades necesarias para llevar a cabo el producto de interés, además es estable, es decir, no se descompone fácilmente bajo las condiciones ambientales. Por otro lado, también se ha decidido mencionar algunos otros residuos que también han demostrado tener un potencial alto, tales como, cascarilla de arroz y café, papa y maíz.

Esta revisión tiene como objetivo evaluar el uso de residuos agroindustriales con énfasis principal en el bagazo de caña como sustrato para la producción de biomasa fúngica.

**Palabras clave:** Residuos agroindustriales, bagazo de caña, biomasa, sustrato, hongos.

1. Semilleristas Microorganismos de Importancia en Salud Humana y Animal “Obvio Microbio”. contacto:sara-alzatem@unilibre.edu.co johanc.cuartasq@unilibre.edu.co gisellev-herreray@unilibre.edu.co.
2. Docente investigador. Grupo de Investigación Microbiotec. Facultad de Ciencias de la Salud, Exactas y Naturales. Universidad Libre Pereira - Contacto: victorh.grisalesd@unilibre.edu.co
3. Docente investigador. Líder del semillero Obvio microbio. Grupo de investigación MICROBIOTEC. Facultad de Ciencias de la Salud, Exactas y Naturales. Universidad Libre Pereira. Contacto: adalucya.alvareza@unilibre.edu.co

## Agroindustrial waste as substrates for production of fungal biomass: focus on cane bagasse

### ABSTRACT

Currently the elimination of residuals represents a problem since some of these are mostly not used and in many cases simply to the environment, that is why many of them have been proposed to evaluate their possible as possible substrates. Cane bagasse is one of the most produced agricultural residues in Colombia. In this article, it has been decided to use cane bagasse since it is a locally available waste and the quantities necessary to carry out the product of interest are presented, it is also stable, that is, it does not decompose easily under environmental conditions. On the other hand, it has also been decided to mention some other residues that have also shown to have a high potential, such as rice and coffee husks, potatoes and corn. The objective of this review is to evaluate the use of agro-industrial waste with main emphasis on sugarcane bagasse as a substrate for the production of fungal biomass. Keywords: agro-industrial waste, sugarcane bagasse, brown

**Keywords:** Agro-industrial waste, sugarcane bagasse, biomass, substrate, fungi.

## INTRODUCCIÓN

La microbiota del suelo se compone de una gran variedad de microorganismos los cuales son los responsables de la descomposición de materia orgánica, reutilización de nutrientes y conservación del mismo, entre otras más funciones (1). Los hongos se conocen como uno de los organismos principales de la microbiota del suelo, a su vez, en la naturaleza estos microorganismos cuentan con la mayor distribución ya que se pueden encontrar en diversos lugares y ambientes, contando con una gran capacidad de adaptación, pueden sobrevivir en diferentes tipos de sustratos, grados de temperatura y condiciones atmosféricas como, por ejemplo, suelo, agua, aire, sobre la superficie de objetos inanimados, entre otros (2). A pesar de que crecen en diferentes hábitats los hongos necesitan elementos específicos para llevar a cabo un óptimo crecimiento y por consiguiente su reproducción (3).

La cantidad de biomasa fúngica está relacionada con la profundidad del suelo y las condiciones de los nutrientes, generalmente los hongos presentan mayor biomasa que las bacterias y regularmente los medios de crecimiento para hongos contienen bioelementos primarios como carbono y nitrógeno (4).

La selección de los componentes de un medio de cultivo para la producción de biomasa debe estar basada tanto en el rendimiento como en la disponibilidad y costo de estos. Además, se debe tener

en cuenta que el sustrato a utilizar sea de preferencia del hongo (5)(6) y una alternativa como sustrato son los residuos agroindustriales los cuales son materiales que se generan a partir de productos primarios o de su industrialización y así mismo son susceptibles para su aprovechamiento o transformación (7) estos desechos han incrementado gracias al crecimiento de la agroindustria convirtiéndose en un riesgo para el balance del ecosistema y generando gran preocupación lo cual lleva a una búsqueda de soluciones para el consumo de estos (8).

Los residuos agroindustriales se presentan como un medio de crecimiento ideal, pues se estaría utilizando un desecho que se está convirtiendo en problema y es una fuente potencial de carbono, el cual es un bioelemento esencial en los medios de cultivo para hongos. Generalmente la glucosa concede el más alto rendimiento en la producción de biomasa, sin embargo, es una fuente de carbono costosa (9) mientras que los residuos agroindustriales son utilizados como una actividad económica que se encarga de combinar el proceso productivo agrícola con el industrial, dando como resultado alimentos o materias primas semielaboradas (7).

En Colombia, se procesan 14.974.807 t/año de productos entre los cuales se ubica la caña, de esta producción se obtienen alrededor de 71.943.813 t/año de residuos que en la gran mayoría de los casos son incinerados o llevados

a rellenos sanitarios (10). El bagazo de caña hace parte de los residuos agrícolas más producidos en Colombia. El valle del río Cauca es el sector agroindustrial que destaca en Colombia por la siembra de caña, más de 240 mil hectáreas están sembradas en este cultivo (11) generando aproximadamente 6 millones de toneladas al año de bagazo de caña como producto de la transformación de la caña(12).

Para este caso se ha decidido utilizar el bagazo de caña ya que es un residuo disponible localmente y se presentan las cantidades necesarias para llevar a cabo el producto de interés, además es estable, es decir, no se descompone fácilmente bajo las condiciones ambientales. Por lo tanto, esta revisión tiene como objetivo evaluar el uso de residuos agroindustriales con énfasis en el bagazo de caña como sustrato para la producción de biomasa fúngica.

## METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una búsqueda sistemática de la literatura en las bases de datos Scopus, Google académico, ScienceDirect. Utilizando los terminos “fungi”, “growth”, “agro-industrial waste”, “sugarcane bagasse” empleando el conector Booleano “AND”. Se limitó la bibliografía a trabajos originales y revisiones publicados en los últimos 15 años, exceptuando Google académico ya que para esta base de datos solo se limitó con el criterio del periodo de tiempo. Se seleccionaron artículos que estuvieran relacionados con el objetivo del manuscrito teniendo en cuenta los términos de búsqueda en los títulos, resúmenes y palabras claves.

Específicamente en Scopus se utilizaron los descriptores “fungi”, “growth”, “agro-industrial residues”, “agro-industrial waste” y “sugarcane passage”.

Para el caso de google académico se utilizó “aspergillus”, “crecimiento”, “residuos agroindustriales” y “mohos”.

En Science Direct se usaron palabras de búsqueda como “fungi” and “agro-industrial waste” y con “fungi and agro-industrial sugar cane residues

## RESULTADOS

### • Scopus

Las búsquedas realizadas en esta base de datos arrojaron en total 511 artículos publicados en el periodo transcurrido entre 2007-2021, de los cuales 473 son trabajos originales (173 acceso libre) y 38 corresponden a revisiones.

### • Google académico

El total de resultados arrojados por esta base de datos fue 837 artículos, todos publicados entre 2006 y 2021.

### • Science Direct

En total se arrojaron 209 artículos de investigación con acceso libre en esta base de datos; publicados entre el 2006 y el 2021.

En la Tabla 1 se describen algunos artículos relacionados con el uso de residuos agroindustriales como sustrato para hongos.

**Tabla 1.** Artículos relacionados con el uso de residuos agroindustriales como sustrato

Título del artículo	Fecha	Autores	Revistas
Reproducción del hongo <i>Trichoderma harzianum</i> (biofungicida) aprovechando desechos agroindustriales (residuos de papa, tamo de frejol, bagazo de caña)	2009	Endara, M.A. (13)	Repositorio digital Universidad Técnica del Norte
Fibrolitic activity of four <i>Trichoderma</i> strains grown on agro-industrial residues	2019	García V, Loera O, Montes M, Mendoza G.D. (14)	Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo
Scanning agro-industrial wastes as substrates for fungal biopesticide production: Use of <i>Beauveria bassiana</i> and <i>Trichoderma harzianum</i> in solid-state fermentation	2021	Sala A, Vittone S, Barrena R, Sánchez A, Artola A. (15)	Journal of environmental management
Solid-State Cultivation of <i>Aspergillus niger</i> - <i>Trichoderma reesei</i> from Sugarcane Bagasse with Vinasse in Bench Packed-Bed Column Bioreactor	2021	Rocha L.M., Campanhol B.S., Bastos R.G. (16)	Journal of environmental management
Sugarcane bagasse as a source of carbon for enzyme production by filamentous fungi	2018	Lopes F, Barretta C, Andrade E, Alvim L.J., Bom R.A. (17)	Journal of environmental management
Production of cellulases by solid state fermentation using natural and pre-treated sugarcane bagasse with different fungi	2019	Borges G.S., Clarindo J, Bastos L, Borchardt L, Shimosakai de Lira T, Waldir P, Pinotti L.M. (18)	Journal of environmental management
Agricultural residues for cellulolytic enzyme production by <i>Aspergillus niger</i> : effects of pretreatment	2016	Salihu A, Abbas O, Sallau A.B., Alam M.Z. (19)	Journal of environmental management
Cellulase production from spent lignocellulose hydrolysates by recombinant <i>Aspergillus niger</i>	2009	Alriksson B, Rose S.H., Van Zly W.H., Sjöde A, Nilvebrant N.O., Jönsson L.J. (20)	Applied and Environmental Microbiology

## DISCUSIÓN

### Residuos agroindustriales

En las últimas décadas se ha venido observando un gran incremento en el interés de las cuestiones medioambientales, es decir, la contaminación que puede llegar a causar un residuo agroindustrial, esto último ha abierto una puerta a la búsqueda de soluciones factibles y sostenibles (21).

Cabe destacar que existen distintas definiciones de agroindustria en este caso según Saval es una actividad económica que mezcla el proceso de producción agrícola con la producción industrial ya sea para generar alimentos o materias primas destinadas al comercio; a mayor incremento en la tendencia de generación de productos comercializables se deriva el incremento en la generación de residuos (22).

A partir de lo anterior se puede decir entonces que los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que dan a partir de un proceso productivo y que posteriormente no son de utilidad como materia prima en el resto de la cadena de producción (23).

Los diferentes sectores de la agroindustria generan residuos particulares, que pueden presentar características en su composición química o biológica que dan pie para ser aprovechadas en otra cadena de producción como alternativa para su tratamiento.

Se menciona que en Colombia las agroindustrias más representativas, son: la molinera de arroz, fábricas de chocolates y derivados, procesados como papa, yuca y plátano, industria azucarera, entre otros (24).

Por otra parte, Corredor y Pérez hacen un recuento de los residuos más utilizados con fines de aprovechamiento en otras cadenas de producción, estos son: aquellos provenientes de las frutas, bagazo de agave y caña de azúcar, la cascarilla de arroz, un residuo en la producción de tequila, mostos residuales, entre otros (25).

### Caña de azúcar

Colombia es un país sobresaliente por contar con una gran biodiversidad, diferentes tipos de clima y suelos, estos factores hacen que este territorio cuente con las características ideales para el cultivo de caña de azúcar (26). Donde destacan departamentos como, Valle del Cauca, Risaralda, Quindío, Caldas, Boyacá y Antioquía. Se estima que la cantidad sembrada con caña es de 470.000 hectáreas aproximadamente de las cuales cerca de 210.000 corresponden a caña de azúcar(25)(27). Efecto de la gran extensión del cultivo, la caña de azúcar ocupa la segunda posición entre los cultivos con mayor volumen de siembra y producción en el país, gracias a esto Colombia se ubicó en el puesto número uno entre los países productores de azúcar en el periodo 2016-2020 según la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar (ASOCAÑA) (28)(29).

## **Bagazo de caña de azúcar**

Como efecto de la gran siembra y producción de caña de azúcar se genera también grandes cantidades de desecho conocido como bagazo, se aproxima que el volumen emitido por los ingenios de este desecho es de 6 millones de toneladas por año, siendo el 85% utilizado de manera ineficiente como combustible para el uso de calderas y en procesos de generación de energía, el porcentaje restante es tratado por la industria de papel para la producción de este material aprovechamiento que se da gracias a la composición del bagazo, celulosa (50%), lignina (25%) y hemicelulosa (25%). (17)(28)(30). Por su disponibilidad y abundancia, el bagazo de caña de azúcar puede verse como alternativa en el uso como sustrato microbiano y así obtener productos de interés (31).

## **Biomasa lignocelulósica**

La mezcla de celulosa, lignina, hemicelulosa y otros compuestos en menor cantidad conforman lo que se conoce como biomasa lignocelulósica la cual básicamente es la unión de los carbohidratos presentes en las paredes de las plantas (32).

Esta biomasa es considerada una interesante fuente de energía y es ampliamente estudiada por sus beneficios en diferentes campos. Una de sus aplicaciones es el uso de esta como sustrato especialmente el bagazo de caña en fermentación de estado sólido con el fin de producir células a

partir de hongos filamentosos obteniendo resultados muy eficientes y posicionando las diferentes biomasa lignocelulósicas como alternativa de medio de cultivo frente a los medios tradicionales (18).

Además, en el caso de la caña de azúcar, el 25 % del peso total de la planta corresponde a residuos lignocelulósicos distribuido en hojas secas, hojas verdes, caña sobrante y cogollos (33).

## **Material lignocelulósico celulosa**

La celulosa es el polímero con mayor abundancia en la naturaleza la cual estructuralmente está compuesto por cadenas largas de glucosa unidas por enlaces 1,4- $\beta$  glucosídicos (34).

Consecuencia de que la mayor cantidad de material vegetal que se fusiona con el suelo es celulósica, el ciclo biológico del carbono se ve altamente impactado por la descomposición de la celulosa por medio de bacterias y hongos los cuales son los microorganismos con mayor papel en el ciclaje del material vegetal tanto así que una variación de estos puede modificar el contenido de materia orgánica presente en el suelo (35).

## **Degradación de la celulosa**

La celulosa es degradada por diferentes microorganismos a través de un grupo de enzimas. En la hidrólisis de este carbohidrato son protagonistas enzimas conocidas como celulasas, estas tienen la capacidad de hidrolizar enlaces

glucosídicos y por esto pertenecen a la superfamilia de las glicosil hidrolasas (36).

Sin importar el microorganismo que produzca celulasas el sistema básico de estas se conforma por 3 tipos de enzimas:

- 1) endoglucanasas o 1,4- $\beta$ -D-glucano-4-glucanohidrolasas, son responsables de hidrolizar la celulosa a glucooligosacaridos
- 2) exoglucanasas, que incluyen 1,4- $\beta$ -D-glucano-glucanohidrolasas (celodextrinasas) y 1,4- $\beta$ -D-glucano-celobiohidrolasas (celobiohidrolasas), capaces de liberar glucosa de la celulosa y glucooligosacaridos, y 3)  $\beta$ -glucosidasas o  $\beta$ -glucosidasa hidrolasas, las cuales degradan los oligosacáridos a glucosa (37).

### **Hongos filamentosos degradadores de celulosa**

Estos hongos filamentosos (mohos) , son microorganismos saprofitos que se reproducen mediante esporas tanto asexuales como sexuales (38).

Gran parte de la celulosis en la naturaleza es producto de la acción de estos hongos, gracias a la diversidad de sus sistemas celolíticos. Especies como *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, entre otras son buenas productoras de celulasas (39).

Sin embargo, *Trichoderma* sobresale como uno de los géneros mejores productores de esta enzima específicamente la especie *Trichoderma reesei* (mesófilo) y aislado

de las Islas de Salomón, inicialmente se nombró como *Trichoderma viride* (40).

En la industria este moho es altamente utilizado en la obtención de celulasas y hemicelulasas para la elaboración de cerveza, vino y alimentos procesados. Ha demostrado gran producción de celulasas cuando se utiliza cascarilla de arroz como sustrato a temperaturas entre 25 y 30 °C (41).

### **Residuos agroindustriales como sustrato**

Los residuos agroindustriales representan una dificultad debido a que al ser subproductos generan una gran problemática al ambiente (42), se menciona que en Ecuador la producción de maíz presenta inconvenientes en cuanto a la eliminación de sus residuales como tuzas, rastrojo y hojas ya que estos no contienen ningún uso a pesar de tener nutrientes que posiblemente facilitarían el crecimiento de microorganismos. Alrededor del 70% es desechado y eliminado en el medio ambiente sin ningún tratamiento previo.

Así como el maíz en donde se ve como desecho aún tiene un gran potencial como sustrato y ante la necesidad de desarrollar alternativas que permitan la utilización de otro tipo de elementos desechados en procesos productivos como lo son la cascarilla de arroz y de café. Ambas cascarillas presentan algunas limitaciones. En Colombia según el Dane

en 2015 la producción de arroz era de aproximadamente 1.558.044 toneladas, de estas 389.511 correspondía a cascarilla, siendo esta última cifra relevante para tener en cuenta que deben ser aprovechado de la manera más eficiente para así reducir la contaminación por la acumulación de este residuo (47).

La cascarilla de arroz, es un tejido vegetal lignocelulósico formado por un 85% de material orgánico, contiene de 35 a 40% de celulosa, 16 a 20% de hemicelulosa y 20 a 25% de lignina, D-xilosa y pequeñas cantidades de D-galactosa (43). El 50% es utilizado en la industria florícola y en criaderos, pero ese otro 50% no es aprovechado, y en medio de su mala distribución solo aporta negativas y afecta al medio ambiente. Por esta razón se incluye este residuo para encontrar otra alternativa de uso (44).

Por otra parte el café es considerado uno de los productos más importantes a nivel mundial y a nivel nacional, su cultivo es el más relevante en el sector agrícola (22). la cascarilla representa el 43 % del peso así que es un residuo que aporta un gran porcentaje de contaminación y por esta razón se ha postulado como fuente de investigación para su aprovechamiento (45).

La pulpa del café está compuesta de 7.5-15% de proteína, 2-7% de grasa y de 21-32% de carbohidratos siendo estos ideales para usarse en nuevos procesos(46), como el que se ha mencionado a lo largo de este artículo.

## **Producción de hongos en residuos agro industriales**

El cultivo de hongos se ha extendido de gran manera en todo mundo, de acuerdo con la base de datos estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAOSTAT) se ha informado que China se posiciona como el mayor productor de hongos, le sigue Estados Unidos y los Países bajos (48).

Los residuos tanto agrícolas como industriales han sido buscados como sustratos en el cultivo de hongos y un factor importante de estos que se tiene en cuenta es la relación Carbono-Nitrógeno debido a que esto tiene influencia directa sobre el crecimiento del micelio, el peso del hongo y su rendimiento (49).

Los métodos de cultivo de los hongos varían dependiendo en qué lugar del mundo se realice por tanto se debe decir que se han realizado diversos estudios para comprobar su capacidad de crecimiento en desechos como paja de trigo, paja de cebada, cascarilla de arroz, cascara de maíz, bagazo de caña y también se ha reportado que se ha hecho hasta combinación entre estos (50).

De acuerdo con Kumla, J reporta que en la especie que una especie que tiene una buena eficiencia biológica (EB) en la cascara del arroz es la especie *Pleurotus ostreatus* en cuanto al bagazo de caña las especies las especies con buen EB

son *Lentinula edodes*, *Pleurotus dimor*,  
*Pleurotus florida* (51).

### Conclusión

En base a los resultados es posible utilizar el bagazo de la caña de azúcar como sustrato para producir biomasa fúngica

debido a la gran cantidad que se produce al final de los diferentes procesos que utilizan la caña como materia prima, además ofrece la posibilidad de disminuir la acumulación industrial de este desecho a su vez que se controla por medio de su aprovechamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Reyes I, Valery A. Efecto de la fertilidad del suelo sobre la microbiota y la promoción del crecimiento Del maíz (zea mays l.) Con azotobacter spp. Bioagro [Internet]. 2007 Dec [cited 2021 Oct 26];19(3). Available from: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612007000300001](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612007000300001)
2. Godoy P. Infecciones Fúngicas Sistémicas [Internet]. 3rd ed. Riera F, editor. Valdivia, Chile: Recursos Fotográficos; 2019 [cited 2021 Oct 26]. 1–20 p. Available from: [http://circulomedicocba.org/wp-content/uploads/2020/02/Manual-de-Micologia-3ra-edicion\\_final.pdf](http://circulomedicocba.org/wp-content/uploads/2020/02/Manual-de-Micologia-3ra-edicion_final.pdf)
3. Saranraj P, Manigandan M. Prevalence of fungi in an open environment and production of low cost culture medium for fungal cultivation using agroindustrial wastes. Int J Innov Agric Sci [Internet]. 2018 [cited 2021 Oct 26];2(1):122–45. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/325604616\\_PREVALENCE\\_OF\\_FUNGI\\_IN\\_AN\\_OPEN\\_ENVIRONMENT\\_AND\\_PRODUCTION\\_OF\\_LOW\\_COST\\_CULTURE\\_MEDIUM\\_FOR\\_FUNGAL\\_CULTIVATION\\_USING\\_AGROINDUSTRIAL\\_WASTES](https://www.researchgate.net/publication/325604616_PREVALENCE_OF_FUNGI_IN_AN_OPEN_ENVIRONMENT_AND_PRODUCTION_OF_LOW_COST_CULTURE_MEDIUM_FOR_FUNGAL_CULTIVATION_USING_AGROINDUSTRIAL_WASTES)
4. P. Saranraj, S. Aubu. Utilization of agroindustrial wastes for the cultivation of industrially important fungi - a review. Int J Innov Agric Sci [Internet]. 2017 [cited 2021 Sep 8];1. Available from: [www.researchgate.net/publication/319301889\\_UTILIZATION\\_OF\\_AGROINDUSTRIAL\\_WASTES\\_FOR\\_THE\\_CULTIVATION\\_OF\\_INDUSTRIALLY\\_IMPORTANT\\_FUNGI\\_-\\_A\\_REVIEW](http://www.researchgate.net/publication/319301889_UTILIZATION_OF_AGROINDUSTRIAL_WASTES_FOR_THE_CULTIVATION_OF_INDUSTRIALLY_IMPORTANT_FUNGI_-_A_REVIEW)
5. Kassa A, Brownbridge B, Parker B, Skinner M, Gouli V, Gouli S, et al. Whey for mass production of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae*. Mycol Res [Internet]. 2008 Jan 14 [cited 2021 Sep 8];112(Pt 5):583–91. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18396025/>
6. Barajas C, Del Pozo E, García I, Méndez A. Obtención de conidios del aislamiento Ma-002 de *Metarhizium anisopliae* (METSCH) Sorokin mediante una alternativa de cultivo bifásico . Rev Protección Veg [Internet]. 2010 Sep [cited 2021 Oct 26];25(3). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522010000300005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522010000300005)
7. Villa María Cristina. Soluciones agroindustriales. 2012 [cited 2021 Oct 25];16. Available from: [https://www.academia.edu/12038278/Soluciones\\_agroindustriales](https://www.academia.edu/12038278/Soluciones_agroindustriales)

8. Piña-Guzmán AB, Nieto-Monteros DA, Robles-Martínez F. Utilization of agricultural and agroindustrial residues in the cultivation and production of edible mushrooms (*Pleurotus* spp.). *Rev Int Contam Ambient* [Internet]. 2016 [cited 2021 Oct 25];32(Especial Residuos Solidos):141–51. Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20173172268>
9. Garza Pérez CN. Evaluación de residuos agroindustriales como fuente de carbono en la producción de hongos entomopatógenos [Internet]. Universidad autónoma de Nuevo León ; 2014 [cited 2021 Oct 26]. Available from: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/4316>
10. Peñaranda Gonzalez Laura Victoria, Montenegro Gómez Sandra Patricia, Giraldo Abad Paula Andrea. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en Colombia. *Rev Investig Agrar y Ambient UNAD* [Internet]. 2017 [cited 2021 Oct 25];2:141–50. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6285350>
11. Asocaña. Sector Agroindustrial de la Caña [Internet]. 2017 [cited 2021 Oct 26]. Available from: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
12. Asocaña, Carvajal A. Energía: La nueva agenda del sector azucarero [Internet]. 20017 [cited 2021 Oct 27]. Available from: <https://www.asocana.org/StaticContentFull.aspx?SCid=167>
13. Endara Borja MA. Reproducción del hongo *trichoderma harzianum* (biofungicida) aprovechando desechos agroindustriales (residuos de papa, tamo de fréjol, bagazo de caña) [Internet]. [Ibarra, Ecuador]: Universidad Técnica del Norte; 2009 [cited 2021 Oct 25]. Available from: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/387>
14. García V, Loera O, Montes M del C, Mendoza G. Fibrolytic activity of four *Trichoderma* strains grown on agro-industrial residues. *Rev la Fac Ciencias Agrar Univ Nac Cuyo* [Internet]. 2019 [cited 2021 Oct 26];51(2):192–200. Available from: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1853-86652019000200015&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1853-86652019000200015&lng=es&nrm=iso)
15. A S, S V, R B, A S, A A. Scanning agro-industrial wastes as substrates for fungal biopesticide production: Use of *Beauveria bassiana* and *Trichoderma harzianum* in solid-state fermentation. *J Environ Manage* [Internet]. 2021 Oct 1 [cited 2021 Oct 26];295. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34214791/>

16. LM R, BS C, RG B. Solid-State Cultivation of *Aspergillus niger*-*Trichoderma reesei* from Sugarcane Bagasse with Vinasse in Bench Packed-Bed Column Bioreactor. *Appl Biochem Biotechnol* [Internet]. 2021 Sep 1 [cited 2021 Oct 26];193(9):2983–92. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33999390/>
17. Ferreira FL, Dall’Antonia CB, Shiga EA, Alvim LJ, Pessoni RAB. Sugarcane bagasse as a source of carbon for enzyme production by filamentous fungi1. *Hoehnea* [Internet]. 2018 Jan [cited 2021 Oct 26];45(1):134–42. Available from: <http://www.scielo.br/j/hoehnea/a/hxbbBvp8wQ34DZ93XxXcWHk/?lang=en>
18. Salomão GSB, Agnezi JC, Paulino LB, Hencker LB, de Lira TS, Tardioli PW, et al. Production of cellulases by solid state fermentation using natural and pretreated sugarcane bagasse with different fungi. *Biocatal Agric Biotechnol* [Internet]. 2019 Jan 1 [cited 2021 Oct 26];17:1–6. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S187881811830361X>
19. Salihu A, Abbas O, Sallau A, Alam M. Agricultural residues for cellulolytic enzyme production by *Aspergillus niger*: effects of pretreatment. *3 Biotech* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2021 Oct 26];5(6):1101–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28324400/>
20. Alriksson B, Rose SH, Zyl WH van, Sjöde A, Nilvebrant N-O, Jönsson LJ. Cellulase Production from Spent Lignocellulose Hydrolysates by Recombinant *Aspergillus niger*. *Appl Environ Microbiol* [Internet]. 2009 Apr [cited 2021 Oct 26];75(8):2366. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19111111/>
21. Liuzzi S, Sanarica S, Stefanizzi P. Use of agro-wastes in building materials in the Mediterranean area: a review. *Energy Procedia* [Internet]. 2017 Sep 1 [cited 2021 Oct 26];126:242–9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217336330>
22. Saval Susana. Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Rev la Soc Mex Biotecnol y bioingeniería AC* [Internet]. 2012 [cited 2021 Oct 26];16(2):14–20. Available from: [https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista\\_2012\\_V16\\_n2.pdf](https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf)
23. Corredor YAV, Pérez LIP. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Rev Fac Ciencias Básicas* [Internet]. 2018 Apr 15 [cited 2021 Oct 26];14(1):59–72. Available from: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108>

24. Cury R, Aguas M, Martínez A, Olivero V, Chams C. Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Rev Colomb Cienc Anim - RECIA* [Internet]. 2017 May 5 [cited 2021 Oct 26];9(S1):122–32. Available from: <https://revistas.unisucre.edu.co/index.php/recia/article/view/530>
25. López-Bustamante JF. La caña de azúcar (*saccharum officinarum*) para la producción de panela. Caso: Nordeste del departamento de Antioquia [Internet]. 2015 [cited 2021 Oct 26]. Available from: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/3586>
26. Becerra Quiroz AP, Buitrago Coca AL, Pinto Baquero P. Sostenibilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca, Colombia. *Ing Solidar* [Internet]. 2016 Oct 1 [cited 2021 Oct 26];12(20):133–49. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/313267488\\_Sostenibilidad\\_del\\_aprovechamiento\\_del\\_bagazo\\_de\\_cana\\_de\\_azucar\\_en\\_el\\_Valle\\_del\\_Cauca\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/313267488_Sostenibilidad_del_aprovechamiento_del_bagazo_de_cana_de_azucar_en_el_Valle_del_Cauca_Colombia)
27. Barona-Rodríguez AF, Insuasty-Burbano OI, Viveros-Valens CA, Ángel-Sánchez JC, Ramírez-Durán J. Evaluación de cultivares de caña de azúcar (*Saccharum spp.*) para producción de panela en el departamento de Boyacá, Colombia. *Rev UDCA Actual & Divulg Científica* [Internet]. 2020 Jul 7 [cited 2021 Oct 26];23(2). Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0123-42262020000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-42262020000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
28. Cueva-Orjuela JC, Hormaza-Anaguano A, Merino-Restrepo A, Cueva-Orjuela JC, Hormaza-Anaguano A, Merino-Restrepo A. Sugarcane bagasse and its potential use for the textile effluent treatment. *DYNA* [Internet]. 2017 Dec 1 [cited 2021 Oct 26];84(203):291–7. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532017000400291](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532017000400291)
29. Asocaña. Informe anual 2019 - 2020 [Internet]. 2020 [cited 2021 Oct 26]. Available from: <https://www.asocana.org/modules/documentos/vistadocumento.aspx?id=15398>
30. Becerra-Quiroz AP. Evaluación de la sustentabilidad del aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar en el Valle del Cauca – Colombia a partir del análisis de ciclo vida [Internet]. [Bogotá]: Universidad Distrital Francisco José de Caldas; 2016 [cited 2021 Oct 26]. Available from: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/3267>

31. Pandey A, Soccol CR, Nigam P, Soccol VT. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresour Technol* [Internet]. 2000 Aug 1 [cited 2021 Oct 26];74(1):69–80. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085249900142X>
32. Manals-Cutiño EM, Penedo-Medina M, Salas-Tort D. Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal. *Tecnol y química* [Internet]. 2016 May [cited 2021 Oct 26];35(2). Available from: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852015000200010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852015000200010)
33. Ruiz Silva D. Aislamiento e identificación de microorganismos lignocelulósicos a partir de suelos de cultivo de caña de Finca Balsora y Judea y compost del Ingenio Mayagüez. [Cali]: Universidad Icesi; 2017.
34. Gañán P, Zuluaga R, Castro C, Restrepo-Osorio A, Cock JV, Osorio M, et al. Celulosa: un polímero de siempre con mucho futuro. *Rev Colomb Mater* . 2017 Jun 7;1–4.
35. Gaitán Bohorquez D. Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). [Bogotá]: Pontificia Universidad Javeriana; 2007.
36. Gutiérrez-Rojas I, Moreno-Sarmiento N, Montoya D. Mecanismos y regulación de la hidrólisis enzimática de celulosa en hongos filamentosos: casos clásicos y nuevos modelos. *Rev Iberoam Micol* [Internet]. 2015 Jan 1 [cited 2021 Nov 12];32(1):1–12. Available from: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-micologia-290-articulo-mecanismos-regulacion-hidrolisis-enzimatica-celulosa-S1130140614000138>
37. De vires RP, Visser Jaap. *Aspergillus* Enzymes Involved in Degradation of Plant Cell Wall Polysaccharides . *Microbiol Mol Biol Rev* [Internet]. 2001 Dec [cited 2021 Nov 12];65(4):497–522. Available from: <https://journals.asm.org/doi/abs/10.1128/MMBR.65.4.497-522.2001>
38. Navarro-Reyes OE. *Micología Veterinaria* [Internet]. [Managua]: Universidad Nacional Agraria ; 2013 [cited 2021 Nov 12]. Available from: <https://repositorio.una.edu.ni/2470/1/nl73n322.pdf>

39. Ferrer- Marcelo Y, León-Rodríguez Ma, Michelena-Álvarez G. Selección de hongos aislados de bagazo de caña con actividad celulasa sobre celulosa cristalina para posibles aplicaciones industriales. ICIDCA Sobre los Deriv la Caña deAzúcar [Internet]. 2011 Jan [cited 2021 Nov 12];45. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/237030048\\_Seleccion\\_de\\_hongos\\_aislados\\_de\\_bagazo\\_de\\_cana\\_con\\_actividad\\_celulasa\\_sobre\\_celulosa\\_cristalina\\_para\\_posibles\\_aplicaciones\\_industriales](https://www.researchgate.net/publication/237030048_Seleccion_de_hongos_aislados_de_bagazo_de_cana_con_actividad_celulasa_sobre_celulosa_cristalina_para_posibles_aplicaciones_industriales)
40. Peterson R, Nevalainen H. *Trichoderma reesei* RUT-C30 - Thirty years of strain improvement. Microbiology [Internet]. 2012 Jan 1 [cited 2021 Nov 12];158(1):58–68. Available from: <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/micro/10.1099/mic.0.054031-0>
41. Manjarrés K, Piñeros Y, Rodríguez-Sandoval E. Evaluación del complejo enzimático producido mediante el cocultivo de *Aspergillus* sp. y *Trichoderma* sp. en fase sólida sobre residuos de palma. Bioagro [Internet]. 2011 Apr [cited 2021 Nov 12];23(1):19–26. Available from: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612011000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612011000100003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
42. Toledo-Álvarez MF. Residuos de maíz y quinua como potenciales sustratos para el cultivo de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* [Internet]. Escuela superior politécnica de Chimborazo ; 2008 [cited 2021 Nov 12]. Available from: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/229/1/236T0015.pdf>
43. Llanos-Páez O, Ríos-Naarro A, Jaramillo-Páez CA, Rodríguez-Herrera LF. La cascarilla de arroz como una alternativa en procesos de descontaminación | Producción + Limpia. Producción+Limpia [Internet]. 2019 Jan [cited 2021 Nov 12];11. Available from: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/view/1246>
44. Chumbo-Zambrano L, González-Velásquez JL. Ecotableros a base de residuos agroindustriales de cascarilla de arroz y bagazo de caña de azúcar en el cantón Tosagua, Manabí [Internet]. Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí; 2017 [cited 2021 Nov 12]. Available from: <http://190.15.136.145/bitstream/42000/673/1/TMA152.pdf>
45. Arias-Ortiz RA, Meneses-Cruz JD. Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol [Internet]. [Managua]: Universidad

Nacional Autónoma de Nicaragua; 2016 [cited 2021 Nov 12]. Available from: <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>

46. Semma- Jiménez JA, Torres-Valenzuela L, Martínez-Cortínez K, Hernández-Sandoval C. Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos . Rev Ion [Internet]. 2018 [cited 2021 Nov 12]; Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v31n1/0120-100X-rion-31-01-37.pdf>
47. Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado II Semestre de 2015. Recuperado de <http://www.dane.gov.co/index.php/agropecuario-alias/estadisticas-de-arroz-mecanizado-enam>
48. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT [Internet]. [cited 2021 Nov 24]. Available from: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
49. Grimm D, Wösten HAB. Mushroom cultivation in the circular economy. Appl Microbiol Biotechnol [Internet]. 2018 Sep 1 [cited 2021 Nov 24];102(18):7795–803. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30027491/>
50. Sadh PK, Duhan S, Duhan JS. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. Bioresour Bioprocess [Internet]. 2018 Dec 1 [cited 2021 Nov 24];5(1):1–15. Available from: <https://bioresourcesbioprocessing.springeropen.com/articles/10.1186/s40643-017-0187-z>
51. Kumla J, Suwannarach N, Sujarit K, Penkhrue W, Kakumyan P, Jatuwong K, et al. Cultivation of Mushrooms and Their Lignocellulolytic Enzyme Production Through the Utilization of Agro-Industrial Waste. Molecules [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2021 Nov 24];25(12). Available from: </pmc/articles/PMC7355594/>