

Usos de los hongos: ¡Nuestro mundo se está enmohecando!

Señorita: Me encantan los hongos en la comida (especialmente en la pasta), pero acabo de oír hablar de vestidos hechos con hongos: ¿será posible?



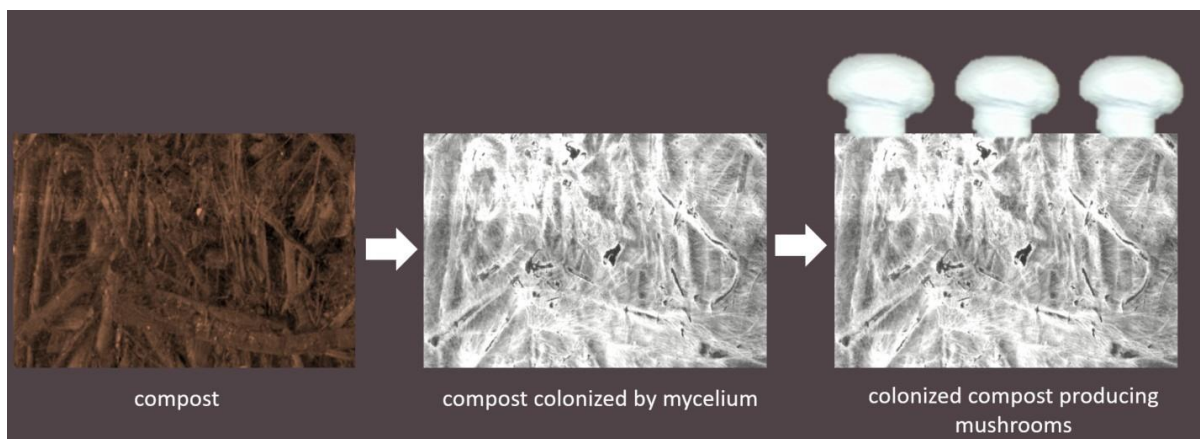
Imagen cortesía de Hanneke Wetzer

Han AB Wösten

Usos de los hongos: ¡Nuestro mundo se está enmohecando!

Sinopsis

Los hongos suelen asociarse con enfermedades, muerte y descomposición. Esto se ilustra con los nombres de los hongos, como trompeta de la muerte, boleto de bruja y huevo del diablo. De hecho, hay algo de verdad detrás de la reputación de los hongos. Por ejemplo, algunos de estos hongos pueden infectar árboles. El ejemplo más famoso es un individuo de un hongo de miel que mató a muchos árboles en un bosque de Oregón, Estados Unidos. De hecho, este individuo es el organismo más grande de la Tierra. ¿Cómo es esto posible? Para entenderlo, tenemos que darnos cuenta de que los hongos son las estructuras reproductivas de un hongo. La mayor parte del "cuerpo" de estos hongos crece sin ser detectado en el suelo, en un tronco de un árbol caído o, en el caso de una infección, en un organismo vivo como un árbol. Este cuerpo está formado por una red de células similares a filamentos llamadas hifas. La red, llamada micelio, puede ser muy grande y decide en momentos específicos cuándo hacer hongos para producir esporas (similares a los frutos en el caso de las plantas). Para que esto ocurra, algunas de las hifas escapan del suelo, del tronco o del organismo vivo y crecen en el aire. El micelio del organismo más grande de la Tierra había colonizado 10 km² de suelo de un bosque en un período de unos pocos miles de años y fue capaz de infectar los árboles de este bosque.



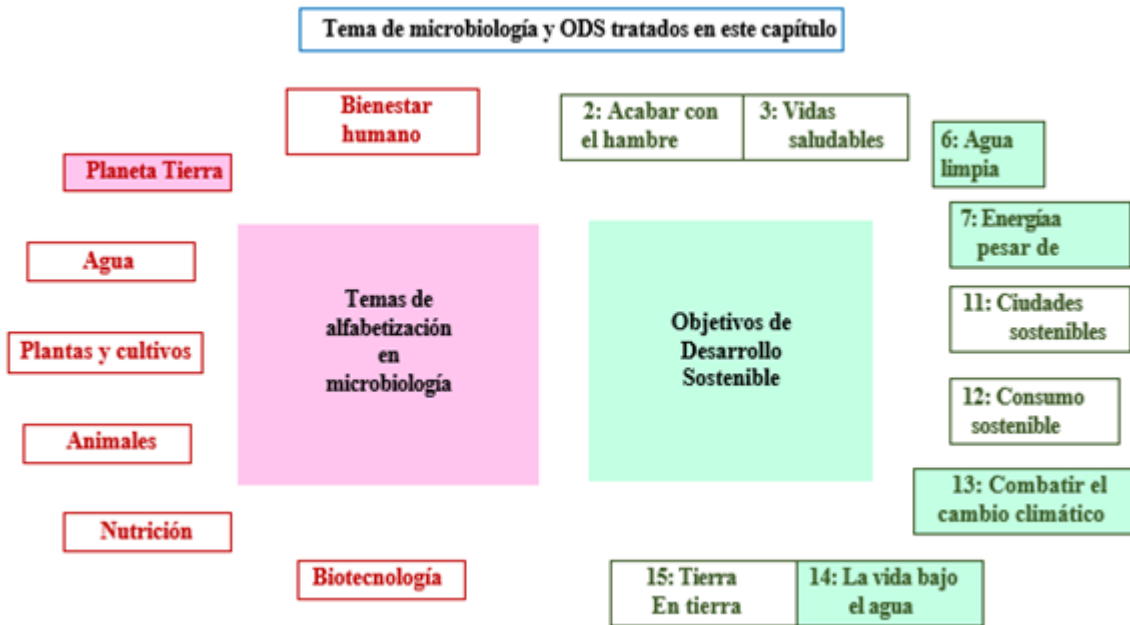
Ciclo de vida del champiñón blanco. Las esporas que se forman en el hongo se dispersan (por ejemplo, por el viento) y pueden terminar en un sustrato fresco como un montón de compost (izquierda). La espora germina y forma un micelio dentro del compost, en este caso visible por su apariencia blanca. Una vez que el micelio ha alcanzado una "masa crítica" que puede alimentar a los hongos, el hongo puede decidir producir estos cuerpos fructíferos. Una caída de la temperatura y los niveles ambientales de CO₂ desencadenan la formación del champiñón blanco.

Las setas también pueden causar la muerte de seres humanos, ya que entre el 1 y el 2% de ellas son venenosas. Por ejemplo, el emperador romano Claudio fue asesinado en el año 54 d. C. por su esposa Agripina, que había convencido a Claudio de que nombrara a su hijo Nerón como sucesor en lugar de a su propio hijo británico. Para acelerar la sucesión, se dice que Agripina mezcló la manita de nabo, un hongo pegajoso y altamente venenoso, en su cena, que consistía en un plato de la sabrosa seta de César. Esto demuestra que las setas también pueden ser muy útiles (véase el vídeo 1). Por ejemplo, sirven como alimento, favorecen nuestra salud y proporcionan materiales sostenibles que pueden sustituir a los materiales no sostenibles, como los plásticos. Por tanto, las setas pueden contribuir de forma significativa a los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Un marco de educación en microbiología centrado

La microbiología y el contexto social

La microbiología: Hongos, micelio, sustituto de carne, seguridad alimentaria, productos farmacéuticos, estimulación inmunológica, materiales de micelio, reciclaje de residuos.
Cuestiones de sostenibilidad: comida, salud, reciclaje y economía circular, cambio climático, reducir la contaminación.



Usos de los hongos: ¡Nuestro mundo se está enmohecendo! La microbiología

1. **Economía circular y supraciclaje.** En una economía circular, los residuos agrícolas no se consideran una partida de débito en el presupuesto, como en una economía lineal, sino más bien recursos valiosos. En la actualidad, se queman grandes cantidades de paja en los campos, a pesar de que existe una legislación que prohíbe esta práctica debido a la contaminación y la emisión de gases de efecto invernadero que genera. Por ejemplo, en 2009 se quemaron 250.000 millones de kilos de paja solo en China. Estos residuos agrícolas podrían haberse utilizado en una amplia variedad de procesos que los convierten en productos valiosos. Por ejemplo, la paja podría haberse reciclado cultivando hongos comestibles o medicinales en ella o convirtiéndola en materiales fúngicos sostenibles que puedan reemplazar a los plásticos o a los materiales de construcción no sostenibles.

2. **Los hongos como alimento.** La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ha calculado que la producción de alimentos debe aumentar en un 70% para el año 2050 para alimentar a la población humana mundial. Esto se debe en gran medida al aumento del número de personas en el planeta, pero también a que la gente se volverá más rica. Sin embargo, se espera que el volumen total de tierra cultivable aumente solo en un pequeño porcentaje. Esto implica que la tierra cultivable debe ser más productiva, pero también que se debe utilizar menos superficie para cultivar alimentos para animales destinados a la producción de carne.

Un marco de educación en microbiología centrado

Los hongos son muy atractivos para ayudar a reducir el consumo de carne porque estos cuerpos fructíferos se pueden cultivar en paja de desechos de baja calidad que no se puede utilizar como alimento o los hongos son un alimento de alta calidad, ya que reciclan estos desechos de baja calidad y los convierten en alimentos de alta calidad. Los hongos están compuestos de un 5-15% de materia seca, de la cual el 20% es proteína. Además, son ricos en fibra, bajos en calorías (27-30 kcal/100 gr) y tienen una composición equilibrada de minerales y vitaminas. También es interesante que los hongos como el hongo ostra tengan una textura en boca similar a la de la carne, lo que los hace interesantes como sustituto de la carne.

El consumo de hongos aumentó de 1 a 4,7 kg per cápita en el período 1997 a 2013. Esto estuvo acompañado de un aumento en la producción de hongos comestibles a 35 mil millones de kg a nivel mundial y unas ventas que superaron los 39 mil millones de dólares estadounidenses en 2013. Se espera que el consumo aumente aún más en los próximos años, debido a una creciente conciencia de la necesidad de reducir el consumo de carne y reemplazar esta parte de la dieta con alternativas más sostenibles.

Se consideran comestibles unas 7000 especies de setas, de las cuales 2000 se consideran cuerpos fructíferos comestibles de alto valor. El champiñón blanco (*Agaricus bisporus*) es el hongo comestible más popular en el mundo occidental, pero solo ocupa el cuarto lugar a nivel internacional. *Lentinula* (shiitake y parientes), *Pleurotus* (hongos ostra) y *Auricularia* (hongos oreja de madera) componen el top 3 mundial de los hongos más consumidos. Es interesante el hecho de que más del 80% de los hongos comestibles no se pueden cultivar en granjas de hongos. Por lo tanto, muchos hongos comestibles sabrosos como los boletus aún tienen que recolectarse en la naturaleza. Comprender cómo se desarrollan estos hongos ayudará a cultivar estos cuerpos fructíferos también en las granjas.



Una selección de hongos gourmet, incluidos hongos shiitake y hongos ostra.

3. *Los hongos como fuentes de fármacos.* Se sabe que más de 700 hongos comestibles

Un marco de educación en microbiología centrado

poseen importantes propiedades farmacológicas y el mercado de estos hongos representó unas ventas anuales globales de 24 mil millones de dólares estadounidenses en 2013. Los hongos producen una amplia variedad de moléculas con actividad farmacéutica y nutracéutica. A continuación, se presentan algunos ejemplos. Los hongos, como los 4 hongos cultivados más importantes, producen antioxidantes que protegen contra los radicales libres que pueden inducir enfermedades como el cáncer (tenga en cuenta que la vitamina C es un antioxidante). Los hongos como *Agaricus* también producen moléculas anticancerígenas. Por ejemplo, los extractos del hongo almendra, *Agaricus blazei*, pueden matar células cancerosas en experimentos de laboratorio. Además, los hongos comestibles producen refuerzos inmunológicos que ayudan a prevenir diversas enfermedades. Los hongos también parecen tener propiedades antidiabéticas y antiobesidades. Por ejemplo, los extractos del hongo ostra dorado *Pleurotus citrinopileatus* reducen el peso de los ratones obesos y ayudan a mejorar la tolerancia a la glucosa y a reducir los triglicéridos, el colesterol y las lipoproteínas de baja densidad. Además, los hongos comestibles como el shiitake producen estatinas, que se utilizan para reducir el colesterol en sangre. Las ventas de estos compuestos representaron un valor de 5.8 mil millones de dólares estadounidenses en 2018.

Los hongos no comestibles también son de interés por sus propiedades farmacéuticas. Por ejemplo, los extractos del hongo Reishi, *Ganoderma lucidum*, tienen una alta actividad contra la *Candida* que causa candidiasis oral, candidiasis vaginal (también conocida como infección por levaduras), así como infecciones potencialmente mortales en personas con un sistema inmunológico comprometido. Alrededor de 1,5 millones de personas mueren cada año por infecciones fúngicas en el mundo, siendo la *Candida* uno de los patógenos fúngicos más prevalentes. Con el desarrollo de la resistencia a los antifúngicos, existe la necesidad de nuevos antifúngicos para poder tratar eficazmente a los pacientes. Otro ejemplo de hongo no comestible es el *Fomes fomentarius* (ver también la siguiente sección). Estos hongos se usaban como astringente para detener el sangrado de las heridas, pero también tienen actividades antiinflamatorias, antiinfecciosas y antitumorales.

Hongos como materiales. Los hongos y sus micelios se pueden utilizar para producir una amplia variedad de materiales. La parte interna de los hongos del hongo de pezuña *Fomes fomentarius* se ha utilizado durante miles de años como yesca (ver video 2). El hombre de hielo Ötzi, que vivió alrededor del 3300 a. C., llevaba un hongo así en su bolsa cuando se dirigía a las montañas en la frontera con Austria y en Italia. El hongo *Fomes fomentarius* también se ha utilizado para producir ropa y sombreros y se lo conoce como Amadou. Por lo tanto, el uso de hongos, o su micelio, como material no es nuevo, pero sus usos potenciales se han explorado más a fondo en las últimas dos décadas.

Un marco de educación en microbiología centrado



Composición de paneles compuestos de micelio (Mogu) sobre una pared utilizada para mejorar la acústica de un edificio.

Se distinguen dos tipos de materiales fúngicos: materiales fúngicos puros y materiales compuestos (ver videos 3 y 4). El micelio de los hongos formadores de hongos puede crecer a través de material orgánico muerto como corrientes de desechos agrícolas. Durante su crecimiento, por ejemplo en la paja, degradan parcialmente el sustrato para alimentar a las hifas. Al mismo tiempo, estas hifas unen las fibras de paja no digeridas. El hongo se inactiva posteriormente en un momento determinado secando el sustrato o mediante un tratamiento térmico. Esto evita que el hongo degrade completamente la paja, dando como resultado un material compuesto que consiste principalmente en la corriente de desechos con el micelio del hongo uniendo las fibras del sustrato. Este material espumoso tiene excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico y se puede utilizar para reemplazar materiales de aislamiento térmico no sostenibles como lana de vidrio y lana de roca o materiales acústicos no sostenibles. Además, puede reemplazar materiales de embalaje a base de petróleo. La densidad del material compuesto espumoso se aumenta mediante prensado. De este modo, se obtiene un material similar al aglomerado que no requiere el uso de pegamentos no sostenibles que se utilizan normalmente en el proceso de producción de aglomerado. Este tipo de material de origen fúngico no solo se puede utilizar para sustituir al aglomerado, sino también como material de construcción, por ejemplo, en sustitución de los ladrillos.

Un material fúngico puro se produce cuando se permite que el hongo degrade todo el material corriente de desechos que se utiliza como fuente de alimento. La piel fúngica formada en la superficie del sustrato o de los hongos también son materiales fúngicos puros. Estos materiales tienen propiedades similares a las de los textiles o pueden reemplazar al cuero. Además, pueden tener propiedades mecánicas que los hacen interesantes para reemplazar polímeros como plásticos o incluso elastómeros como el caucho.

Un marco de educación en microbiología centrado



Micelio puro con propiedades similares a las del cuero (izquierda) y a las del textil (derecha).

En conjunto, los hongos y sus micelios pueden utilizarse para crear una gama de materiales que pueden utilizarse para sustituir a los materiales no sostenibles. Las principales ventajas son que los materiales fúngicos se fabrican a partir de corrientes de desechos y que no necesitan un gran aporte de energía para su producción. Además, pueden degradarse en la naturaleza cuando ya no son necesarios.

Es evidente que su biodegradabilidad implica que deben protegerse contra la degradación durante el uso, lo mismo se aplica a otros productos naturales como la madera y el algodón.

Evitar que los materiales fúngicos se humedezcan y, por lo tanto, sean vulnerables a la degradación microbiana. Aún es necesario realizar muchas investigaciones para ampliar aún más la cartera de materiales y mejorar las propiedades de los materiales fúngicos que ya se han desarrollado. Esto se puede hacer variando el flujo de desechos y los hongos formadores de hongos que se utilizan, y variando las condiciones de crecimiento y/o el posprocesamiento, como el recubrimiento o el prensado.

Pertinencia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Desafíos

La dimensión microbiana de la producción de hongos y material fúngico se relaciona con varios ODS (aspectos microbianos en cursiva), incluidos

- **Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible** (acabar con el hambre y la malnutrición, aumentar la productividad agrícola). Hongos, además, sus micelios pueden utilizarse como alimento de alta calidad que puede incorporarse a una dieta sin carne. Los hongos pueden cultivarse en corrientes de desechos orgánicos y no requieren tierras cultivables para su producción.

- **Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos en todas las edades** (mejorar la salud, reducir enfermedades prevenibles y muertes prematuras). Los hongos comestibles producen muchos compuestos nutraceuticos y farmaceuticos que pueden prevenir o tratar enfermedades. Estas moléculas van desde minerales hasta vitaminas y desde antibióticos hasta moléculas que refuerzan el sistema inmunológico, que son

Un marco de educación en microbiología centrado

antiinflamatorias o anticancerígenas.

- **Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles** (lograr prácticas de producción y uso/consumos sostenibles, reducir la producción de residuos/liberación de contaminantes al medio ambiente, alcanzar ciclos de vida de cero residuos, informar a las personas sobre prácticas de desarrollo sostenible). Los flujos de desechos agrícolas se pueden mejorar en la economía circular para producir hongos comestibles y medicinales y para producir materiales. Los hongos comestibles se pueden utilizar en dietas sin carne. Además, los materiales fúngicos sostenibles pueden reemplazar materiales no sostenibles y tóxicos como plásticos y materiales de construcción.

- **Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos** (reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigar las consecuencias del calentamiento global, desarrollar sistemas de alerta temprana para las consecuencias del calentamiento global, mejorar la educación sobre la producción de gases de efecto invernadero y el calentamiento global). La producción de carne produce cantidades sustanciales de emisiones de gases de efecto invernadero. Los niveles de emisión son mucho más bajos en el caso de la producción de hongos a partir de desechos agrícolas. La emisión neta será incluso positiva cuando se utilicen corrientes de desechos que de otro modo se quemarían en los campos. La producción de materiales fúngicos también retendrá carbono en las corrientes de desechos (lo que se conoce como secuestro de carbono). En contraste, los materiales producidos a partir de recursos no renovables, como el petróleo, contribuyen en gran medida a la emisión de gases de efecto invernadero.

- **Objetivo 14. Conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible** (Reducir la contaminación de los sistemas marinos por sustancias químicas tóxicas, nutrientes agrícolas y desechos como los plásticos). Los plásticos están contaminando los océanos y los mares. Si se sustituyen los plásticos por productos biodegradables, como materiales fúngicos, se detendrá la acumulación de plásticos en los océanos y los mares.

- **Objetivo 15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, combatir la desertificación y detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad** (reducir la contaminación de los ecosistemas terrestres, reducir el uso de la tierra para la agricultura y *detener la pérdida de biodiversidad*). Los plásticos están contaminando los ecosistemas terrestres. Si se sustituyen los plásticos por productos biodegradables, como los hongos, se detendrá la acumulación de plásticos en estos ecosistemas. Además, la producción de hongos se puede realizar en tierras no cultivables, lo que reduce la necesidad de explotar ecosistemas naturales como los bosques, lo que también contribuirá a reducir la pérdida de biodiversidad.

Un marco de educación en microbiología centrado

Posibles implicaciones para las decisiones

1. *Individual*

- a. Reemplazar la carne por alternativas como los hongos (¿los beneficios ambientales superan los beneficios de la carne, como el sabor y el contenido proteico óptimo?).
- b. Reemplazar los textiles actuales por telas hechas de hongos (¿los beneficios ambientales superan la elección restringida actualmente disponible de telas hechas de hongos en términos de diferentes materiales, colores y formas?).
- c. Reemplazar los materiales de construcción actuales, como los ladrillos, por materiales antifúngicos (¿los beneficios ambientales superan la inversión de tiempo para mantener los materiales antifúngicos en buenas condiciones?).

2. *Políticas comunitarias*

- a. Actividad económica local (reducción del número de agricultores que producen carne).

3. *Políticas nacionales*

- a. Subvenciones para introducir en el mercado materiales fúngicos sostenibles más caros
- b. Desincentivos, como los impuestos, para actividades económicas no sostenibles.

Participación de los alumnos

1. *Discusiones para la clase*

- a. Las consecuencias del cambio de una economía lineal a una circular para nuestra vida cotidiana
- b. ¿La gestión de residuos volverá a estar sujeta a una economía lineal cuando haya más demanda que oferta de flujos de residuos?

2. *Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas*

- a. ¿La expresión individual que requiere una amplia selección de productos de consumo creados por la industria en una economía lineal supera las consecuencias de una economía sostenible con menor diversidad de productos de consumo?
- b. ¿Puedes pensar en otros productos no sostenibles que podrían ser reemplazados por materiales fúngicos?

3. *Ceremonias*

- a. Los hongos y los materiales fúngicos se pueden cultivar en granjas, pero también se pueden crear en casa. ¿Cómo funcionaría esto?
- b. ¿Es posible producir un material fúngico puro a partir de un material compuesto fúngico?
- c. ¿Puedes imaginar por qué la gente prefiere utilizar fibras de paja y no polvo de paja?

Un marco de educación en microbiología centrado

La Base de evidencia, lecturas adicionales y materiales didácticos

Evidencia base

- Ferguson BA, Dreisbach TA, Parks CG, Filip GM, Schmitt CL (2003). Población a escala gruesa estructura de especies patógenas de *Armillaria* en un bosque mixto de coníferas en las Montañas Azules del noreste de Oregón. *Revista canadiense de investigación forestal*, 33:612-623.
[http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/ Cómo alimentar al mundo en 2050.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/Cómo_alimentar_al_mundo_en_2050.pdf).
- Grimm D, Wösten HAB (2018). Cultivo de hongos en la economía circular. *Applied Microbiology and Biotechnology* 102:7795-7803.
- Royse DJ, Baars J, Tan Q (2017). Panorama actual de la producción de hongos en el mundo. En: Zied DC, Pardo-Giminez A (eds). *Hongos comestibles y medicinales: tecnología y aplicaciones*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken, pp 5-13.
- Al-Obaidi JR, Jambari NN, Ahmad-Kamil EI (2021). Micofarmacéuticos y nutraceuticos:Agentes prometedores para mejorar el bienestar humano y la calidad de vida. *Journal of Fungi* 7:503.
- Kała K, Kryczyk-Poprawa A, Rzewińska, A, Muszyńska B (2020). Cuerpos fructíferos de hongos comestibles seleccionados como fuente potencial de lovastatina. *Investigación y tecnología alimentaria europea* 246:713–722.
<https://drug-dev.com/generic-statins-to-slash-global-market-value/>
- ApelacionesFVW, Wösten HAB (2021). Materiales miceliarios. *Enciclopedia de Micología* 2: 710-718.

Material didáctico

- Vídeo 1, Seis formas en que los hongos pueden salvar el mundo:
<https://www.youtube.com/watch?v=XI5frPV58tY>.
- Vídeo 2, Cómo se pueden utilizar los hongos como tinte: <https://www.youtube.com/watch?v=tM1DE5zERZU>.
- Vídeo 3, Cómo se pueden utilizar los hongos para fabricar materiales:
<https://www.youtube.com/watch?v=jnMXH5TqqG8>.
- Vídeo 4, Cómo se pueden utilizar los hongos para sustituir el plástico:
<https://www.youtube.com/watch?v=cApVVuuqLFY>