

Valorización y aplicabilidad de residuos agrícolas de cultivos de tomate como biomasa para la producción de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* (Orellanas)

Trabajo de grado para otorgar el título de Ingeniera Química

Modalidad: investigación

Silvia Fernanda Ruiz Lizcano

Director:

Jaidier Muñoz Guerrero

Biólogo

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

“A veces uno amanece con ganas de extinguirse... como si fuéramos velitas sobre un pastel de alguien inapetente.

A veces nos arden terriblemente, los labios y los ojos y nuestras narices se hinchan y somos horribles y lloramos y queremos extinguirlos...

Así es la vida, un constante querer apagarse y encenderse”

Julio Cortázar

Agradecimientos

Agradezco a todos aquellos que estuvieron antes, durante y después de este proceso; a mi madre y padre por darme su espacio, tiempo, perseverancia y paciencia. A mis queridos cuatro licenciados, hermanos de la misma madre y de otra madre a la vez, por estar ahí presentes en todo momento y aún más en esta última parte. A mi director, el profesor Jaider por decidir apoyarme y orientarme en este proceso. A mis amigos más cercanos de la universidad y de la carrera por compartir este camino juntos, pero no revueltos. Y finalmente, a mi compañera de viaje por seguir conmigo, tan rebelde y dulce a la vez, mi pequeña axolotl, ternurita de ojitos bambi y color mondongo.

Tabla de contenido

Introducción	11
1. Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos	13
2. Marco teórico	14
2.1 Historia y generalidades de los cultivos de tomate y maíz	14
2.1.1 Historia y generalidades del cultivo del tomate	14
2.1.2 Historia y generalidades del cultivo del maíz	16
2.2 Historia y generalidades de los hongos	18
2.2.1 Ciclo de vida de los macrohongos.....	19
2.2.2 Pleurotus ostreatus.....	20
2.3 Agricultura sostenible	21
2.4. Economía circular	22
2.5. Aprovechamiento de residuos	23
3. Estado del arte	25
4. Metodología	28
4.1 Etapa 1: Recopilación de información	28
4.1.1 Área de estudio.....	28
4.2 Etapa 2: Caracterización fisicoquímica de los residuos	30
4.3 Etapa 3: Acondicionamiento del sustrato.....	30
Inoculación, fructificación y cosecha del hongo Pleurotus ostreatus.....	30
4.3.1 Acondicionamiento del sustrato	30
4.3.2 Inoculación e incubación.....	31
4.3.3 Fructificación y cosecha.....	32
4.4 Etapa 4. Residuos gastados del cultivo de hongos	33
4.5 Etapa 5. Costo-beneficio	34
5. Resultados	36

6. Conclusiones46

Referencias bibliográficas48

Apéndices51

Lista de tablas

Tabla 1 Taxonomía del maíz, del tomate de invernadero y del hongo orellana.....	14
Tabla 2 Tratamientos para la cosecha del hongo <i>Pleurotus ostreatus</i> (orellanas)	29
Tabla 3 Tratamientos para el cultivo de plántulas de tomate tipo chonto bajo invernadero	33
Tabla 4 Variables estudiadas en el sondeo de la región de estudio.....	36
Tabla 5 Características físicas de los residuos de tomate y del maíz	37
Tabla 6 Caracterización química de los residuos del tomate y el maíz.....	39

Lista de figuras

Figura 1 Ciclo de vida del hongo	19
Figura 2 Diagrama del sistema de la economía circular	23
Figura 3 Mapa del área de estudio de la investigación	28
Figura 4 Panorama de la finca El Uvo, vereda Moralito, municipio San José de Miranda.	29
Figura 5 Invernadero para el cultivo del hongo	31
Figura 6 Obtención de primordios <i>Pleurotus ostreatus</i> en residuos del tomate y del maíz	40
Figura 7 Variación media semanal de la temperatura y humedad relativa	41
Figura 8 Siembra de las plántulas de tomate.....	43

Lista de apéndices

Apéndice A Tablas de parámetros de control de temperatura y humedad relativa.....51
Apéndice B Dimensiones del invernadero53
Apéndice C Parámetros del termohigrómetro.....54

Resumen

Título: Valorización y aplicabilidad de residuos agrícolas de cultivos de tomate como biomasa para la producción de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* (Orellanas)*

Autora: Silvia Fernanda Ruiz Lizcano[†]

Palabras claves: Residuos de tomate, hongos comestibles, sustratos, reciclaje de nutrientes

Se estudió el potencial de los residuos de tomate de invernadero como biomasa para el cultivo de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus*. En la cosecha del hongo se analizaron 3 tratamientos, cuyos sustratos fueron los residuos de tomate (RT), los residuos del maíz (RM) como parte de las mezclas de sustratos y tierra como sustrato de control negativo. Para el cultivo del hongo *P. ostreatus* se estudiaron 25 experimentos. Se evidenció que en el cultivo de orellanas solo hubo la invasión del micelio (masa blanquecina) y la aparición de los primeros primordios de 3 cm de longitud, debido a los valores de celulosa y hemicelulosa, del 36,7% y 35,9% en los RT y del 26,4% y 26,6% en los RM, respectivamente; al porcentaje de materia orgánica del 82,44% para el RT y del 83,49% para el RM, que inhibieron el crecimiento del hongo. Sumado a esto, se evidenciaron fluctuaciones entre los 30° a 50°C en la temperatura y del 50%-80% en la humedad relativa en el transcurso de 6 semanas. Por otro lado, los sustratos degradados por este hongo se usaron como bioabono en cultivos de tomate con el modelo de economía circular. Tras la cosecha del hongo se reintegraron los sustratos degradados del hongo (SDH) usando 3 nuevos tratamientos, para la nueva siembra de plántulas de tomate. En la siembra de tomate se estudiaron la apariencia, tamaño y color a 30 plántulas de tomate semanalmente durante 3 a 4 semanas. Respecto a esta siembra, las plántulas del tomate crecieron entre los 20 a 50 cm, de color verde vivo, con 5 a 10 hojas por planta. Y finalmente, se estimó valor del costo beneficio a partir de 325 kg de RT, 520 kg de RM y los 368,87 kg de orellanas a \$11500 pesos, y cuyo valor fue de 0,13.

* Proyecto de grado. Modalidad investigación

[†] Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Biólogo Jaider Muñoz Guerrero

Abstract

Title: Assessment and applicability of agricultural residues from tomato crops as biomass for the production of edible mushrooms *Pleurotus ostreatus* (Oyster mushrooms)[‡]

Author: Silvia Fernanda Ruiz Lizcano[§]

Keywords: Tomato residues, mushrooms, substrates, nutrient recycling

The project studied residues from greenhouse tomato crops as biomass to produce edible mushrooms from genus *Pleurotus ostreatus*. Three treatments were analyzed in the mushroom harvest, T1 consisting of tomato residues (TR), T2 was a 50:50 mixture between tomato and corn residues (CR), and T3 included soil, for a total of 25 testing units, to which temperature and humidity were daily recorded. Thus, it was evident that the mushroom's growth only showed two stages: mycelium invasion and appearance from first primordium of 3 cm long because of a shortage of nutrients in the substrates, low percentages of cellulose (36,7%) and hemicellulose (35,9%) in the T1 and 26,4% of cellulose and 26,6% of hemicellulose for T2. In regard to the biomass percentages, T1 had 82,44% of it, whereas T2 contained 83,49% which provoked the slow mushroom's growth for a six-week period in the greenhouse. On top of that, environmental conditions such as temperature and humidity fluctuated greatly. The former had values between 30°C and 50°C, and the latter varied within a 50% and 80% frame. With the substrate degraded by this fungus (SDF), it was possible to use it as bio fertilizer in the tomato crops based on the circular economy model. Once the tomato crops were harvested, the SDF was mixed with soil to have three new treatments. The appearance, shape and color of 30 tomato crops were closely observed during 3 to 4 weeks. These new tomato seedlings showed better stalk growth (20 to 50 cm long), their color was a vibrant green and each seedling had 5 to 10 leaves. With all of this, it was estimated the cost-benefit analysis from 325 kg of TR and 520 kg of CR resulting in 368,87 kg of mushroom at \$11.500 (COP) and whose value was 0,13.

[‡] Degree project. Research modality

[§] Physicochemical Engineering School. School of Chemical Engineering. Director, Biologist
Jaider Muñoz Guerrero

Introducción

Colombia es un país con vastas regiones ecosistémicas con suelos ricos, que propician gran variedad de cultivos agrícolas para suplir necesidades alimentarias favoreciendo el desarrollo de una economía agroindustrial importante y a la vez, el aprovechamiento de la biodiversidad de la cual el país es referente a nivel mundial. A través de los años, las prácticas agrícolas implementadas en el labrado de la tierra y el posterior desarrollo de los cultivos se ha caracterizado por la alta presencia de agroquímicos como pesticidas o fertilizantes sintéticos durante las distintas etapas de crecimiento y desarrollo de los cultivos, generando impactos a largo plazo en el medio ambiente, por su alta residualidad en los suelos y aguas superficiales y en los mismos alimentos, siendo difícil su remediación. (García, 2013)

Según de lo anterior, el poco aprovechamiento de los residuos agroindustriales en Colombia (Figuerola et al. , 2015) es un problema puntual que, aparte de seguir contaminando los suelos, evita el reúso de estos (Araos, 2021) y, por lo tanto, se descartan de las cadenas productivas agrícolas que buscan mantener los suelos y generar subproductos agropecuarios desde una bioeconomía circular.

De esta forma, el presente proyecto investigativo se plantea como objetivo evaluar la factibilidad y viabilidad del aprovechamiento de los residuos agrícolas, específicamente del cultivo de tomate de invernadero en una zona de Santander, para producir hongos comestibles o setas, los cuales tienen la capacidad de degradar estos residuos y realizar una recirculación de los materiales (Montenegro et al. , 2021) a los ciclos productivos muy similar a los ciclos biogeoquímicos naturales, como lo afirma Araos (2021), pues es necesario darles una segunda oportunidad a todos los desechos de los cultivos, ya sea en forma de abonos, fertilizantes orgánicos, o la generación de

biogás, entre otros y así estos podrán incorporarse posteriormente al terreno como fertilizante natural.

Así, los residuos de cultivos de tomate como hojas y tallos, en algunos casos se aprovechan como fertilizantes orgánicos para los suelos de invernaderos (Araos, 2021) y en otras ocasiones, estos junto con frutos de tomates que no logran ser comercializados, se convierten en comida para el ganado bovino (Ojeda et al. , 2001). De esta forma, en las veredas del municipio de San José de Miranda, Santander, donde el cultivo de tomate en invernadero se ha incrementado en los últimos años en vista de las condiciones ambientales del territorio y del suelo, de ahí que es interesante como zona de estudio en la producción tomate tipo chonto (*Solanum lycopersicum*) y en el aprovechamiento de los residuos derivados. Por ello, aprovechar estos residuos para producir hongos comestibles brinda un valor económico considerable (Bermúdez, 2019) que podría beneficiar a los campesinos de la región y así lograrían equilibrar las inversiones que realizan, ya que el precio del tomate varía constantemente en los distintos mercados del país y también, aportarían a las mejoras de las condiciones ambientales con actividades de economía circular y disminución de residuos que generan contaminación. (Grazini, 2018)

Por ello, la producción de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus* con residuos agrícolas como biomasa favorece su crecimiento y calidad según el estudio realizado por Piña et al. (2016) sobre residuos agrícolas y agroindustriales en cultivos y producción de hongos comestibles. Asimismo, este procedimiento a lo largo de su elaboración consta de etapas de preparación del sustrato, siembra y cosecha, entre otras, lo cual genera la pregunta, ¿Qué tan viable es darles un segundo uso a los residuos agrícolas del tomate para la producción de hongos comestibles de *Pleurotus ostreatus*?

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Valorar el aprovechamiento de los residuos agrícolas de cultivos de tomate para potenciar su uso como sustrato en la producción de hongos comestibles de género *Pleurotus ostreatus*.

1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente los residuos agrícolas de cultivos de tomate bajo invernadero y del maíz a campo abierto de una zona rural del municipio de San José de Miranda, para el uso como sustratos en la producción de hongos de *Pleurotus ostreatus*.
- Determinar la viabilidad productiva de la cosecha de hongos orellanas con residuos del cultivo de tomate y del maíz.
- Analizar el potencial de los residuos generados en la producción de *Pleurotus ostreatus* como bioabono para el cultivo de tomate mediante la proposición de un modelo de economía circular.
- Evaluar financieramente la factibilidad y viabilidad económica del producto obtenido de la cosecha de hongos orellanas.

2. Marco teórico

2.1 Historia y generalidades de los cultivos de tomate y maíz

2.1.1 Historia y generalidades del cultivo del tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) (ver Tabla 1) es una planta originaria del sur de América en la región de los bajos Andes y en lengua Náhuatl, la palabra tomate se llamaba tomatl pero con el tiempo se adaptó al nombre de tomate. Fue introducida en Europa por los colonizadores españoles, pero solo hasta el siglo XVIII se cultivó como alimento comestible ya que se dudaba de que fuera comestible. Para el siglo XIX, se convirtió en una de las hortalizas más cultivadas y predominantes en el mundo tras los mejoramientos genéticos de las semillas de tomate (Mejía et al. , 2021).

Tabla 1

Taxonomía del maíz, del tomate de invernadero y del hongo orellana

	Maíz¹	Tomate tipo chonto²	Hongo orellana³
Reino	Plantae	Plantae	Fungi
División	Magnoliophyta		Eumycota
Clase	Liliopsida		Holobasidiomycete
Orden	Poales	Solanoideae	Agaricales
Familia	Poaceae	Solenaceae	Lentinaceae
Género	Zea	Solanum	Pleurotus
Especie	<i>mayz L.</i>	<i>lycopersicum L.</i>	<i>Ostreatus</i>
Nombre científico	<i>Zea mays L.</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>

Nota: tomado de ¹ Muñiz, 2022; ² Mejía Leal et al. , 2021, ³ Guzmán et al. , 1982

Existen variedades de tomate como el milano, el cherry, el chonto y el industrial y cuya diferencia entre ellos radica en el tamaño, forma y coloración. En otras investigaciones sobre este,

el tomate posee un alto valor nutricional que incluye proteínas, hidratos, fibra, ácidos entre otros (Cámara de Comercio Bogotá, 2015).

Actualmente, los cultivos de tomate bajo invernaderos son más versátiles dado que las semillas son híbridas y por ello, tienen ventajas como alto vigor, buena uniformidad, alta producción, excelente calidad y tolerancia a algunas enfermedades (Cámara de Comercio Bogotá, 2015).

Morfológicamente el tomate es una planta que puede cultivarse erguida, rastrera o semi erguida que en producción necesita estar sujeta con alambres o estacas. Tiene raíces principales, laterales y rastreras con una profundidad de 1,5 metros. Además, su tallo con 2 cm de espesor, al crecer es delicado hasta que se vuelve semi leñoso, es erguido, pero tiende a agacharse a medida que crece; en él, se desarrollan las hojas y las flores, su estructura tiene epidermis, concha, cilindro vascular y tejido medular. Sus hojas son simples, pero se desarrollan dentadas, con pelos glandulares, para un total de 7 a 9 hojas. Sus flores están en racimos simples ubicadas en diferentes niveles según su inflorescencia para un total de 3 o más de 30 flores dependiendo de la variedad de tomate. El fruto puede ser esférico, plano o en forma de pera de color amarillo, rojo, naranja, entre otros, con un diámetro entre 3-16 cm según la variedad de sus semillas en el interior. (Mejía et. al, 2021)

Las condiciones óptimas en el cultivo del tomate dependen del método de cultivo, la temperatura, la humedad, el pH, el clima y el suelo. Su clima es cálido porque no es bueno en las heladas. Su temperatura óptima está entre los 20°-25°C en el día y de 15°- 20°C en la noche. En el caso del suelo, debe ser permeable, arcilloso y rico en materia orgánica. Mientras que el pH puede ser ligeramente ácido o alcalino entre 6 y 7. (Cámara de Comercio Bogotá, 2015)

Si el cultivo se da bajo invernadero, allí se crean las condiciones óptimas para su producción. La tierra necesita ser fertilizada antes de sembrar y debe poseer alto contenido de N, P y K. Y como último requerimiento, el riego puede darse por surcos, goteo y/o aspersión ya que es sensible al exceso y escasez. Su regado óptimo se da muy temprano en la mañana o después de la puesta de sol (Mejía et al. , 2021).

Finalmente, la variedad de tomate Chonto Roble F1 se adapta al frío moderado a unos 1800-2200 msnm con un tamaño de 6-9 cm de diámetro, de rojo intenso y en forma de chonto, es enredadera y necesita tutorado. Da un rendimiento promedio por planta de 10 kg, dura entre 120 a 150 días el cultivo y tiene larga vida tras la cosecha (Mejía et al. , 2021).

2.1.2 Historia y generalidades del cultivo del maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es el cereal más antiguo de las civilizaciones americanas, los Olmecas, Teotihuacanos, Incas y Quechuas. La evidencia más antigua del maíz data de 5000 años en las cuevas de habitantes primitivos (Muñiz, 2022). Sus orígenes iniciaron en México y luego se expandieron por toda América. En los primeros viajes de Colón, este mencionó cuatro tipos de granos: amarillos, blancos, morados y colorados, que con el tiempo cambió al nombre de mahis por la memoria oral de las culturas. Tras la conquista, en el siglo XVI aproximadamente, los colonizadores europeos llevaron estos granos y lo esparcieron por los demás continentes.

El *Zea mays L.* (ver Tabla 1) pertenece a la familia de las gramíneas y es el segundo cultivo más sembrado del mundo. El maíz puede consumirse como alimento humano y de ganado o como materia prima para otros productos ya sea tierno o seco en forraje, ensilaje o harina. Además, el maíz contiene hidratos de carbono como el almidón de tipo amilosa y amilopectina, los cuales corresponden al 72%-73% de la composición del grano, azúcares como la glucosa, sacarosa y

fructosa, al igual que es rico en vitaminas del complejo B (B1 y B2) y minerales como el potasio y magnesio (Muñiz, 2022).

Desde hace tiempo han existido 7 tipos de maíz: tunicado, reventón, cristalino, amiláceo (Gigante del Cuzco), dentado, dulce y ceroso. En la morfología del maíz, las raíces son fasciculadas para anclarse a la tierra y absorber el agua y nutrientes. El tallo es erecto y macizo en su interior con una longitud de unos 4 metros con nudos y entrenudos un poco distantes, siendo así sus hojas largas y abrazadoras con una cantidad de 15 a 30, y su fruto o mazorca se forma por una parte central llamada olote en el cual nacen centenares de granos. Sus frutos pueden llegar a ser más de 100 mazorcas por cosecha (Taba et al. , 1997). Junto a ello, el maíz posee inflorescencia, (posición de las flores sobre las ramas o tallo de una planta), femenina o masculina, la primera da origen a la mazorca y la segunda a la espiga, respectivamente (Muñiz, 2022). Su ciclo de cultivo dura entre 3 y 10 meses, aproximadamente, según la semilla que se siembra (Taba et al. , 1997).

Es por ello, por lo que el desarrollo óptimo del maíz se da entre los 21° C y 32° C, en lugares con días soleados y noches frías dependiendo de la humedad relativa y el periodo de vegetación de la planta. El maíz necesita mucha agua en las fases finales de su desarrollo (germinación, floración y llenado del grano) y tiende a crecer en suelos fértiles, bien drenados, profundos y con buena retención de agua con el pH entre 5,5 y 7,8. (Muñiz, 2022)

El maíz puede cultivarse en diferentes condiciones climáticas debido a su adaptación, producción y consumo: de acuerdo con estudios de la FAO, este se produce en todos los continentes. En la industria, los productos y subproductos del maíz son el almidón industrial y alimenticio, entre otros, pero si este se fermenta se puede obtener etanol, alcohol industrial, dióxido de carbono, aminoácidos, biopolímeros y antibióticos. Este cultivo predomina en los Estados Unidos por encabezar la producción de esta semilla ya que se usa no solo para crear bioetanol como

respuesta a los combustibles fósiles, sino que también se usa en la industria textil, del papel, cosméticos adhesivos, entre otros. (Muñiz, 2022)

2.2 Historia y generalidades de los hongos

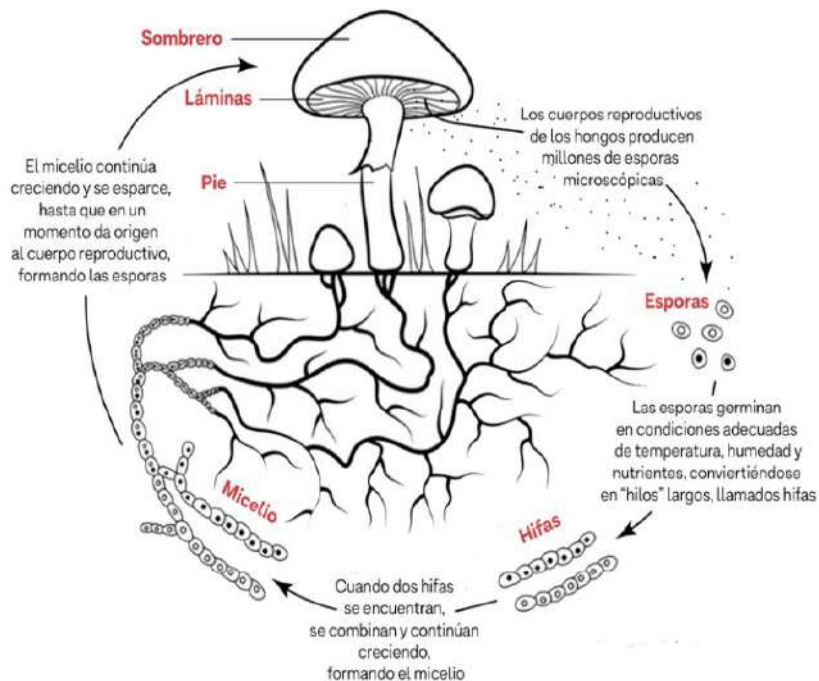
En la antigüedad, los hongos eran considerados como plantas por su dependencia al sustrato, sus esporas, por compartir un pasado con los animales, y a su vez, por la idea que se tenía sobre el verdadero hongo ya que esta se debía a la carencia de células flageladas, cuerpos filamentosos (hifas) y su pared celular de quitina (Berbee et al. , 2010 como cito a Hibbett et al, 2007). Pero hasta 1969 Wittaker presentó una nueva clasificación de reinos refutando la idea de que los hongos se clasificaban en el reino de las plantas. Con ello, los hongos fueron clasificados como un tercer reino por ser multicelulares y fotosintéticos; por las relaciones mutuales con el 92% de las plantas; por tener una nutrición heterótrofa osmotrófica, es decir, que liberan al medio enzimas y absorben materia orgánica restante (Salcedo, 2019); hacen parte de este reino los mohos, las levaduras, las setas, las yescas, las rayas y los tizones. (Montenegro et al. , 2022).

La producción y consumo de hongos comestibles data desde los siglos VII, X, XI en China y Japón, desde el siglo XII en Francia, y a la par de estos países van México y la India con el consumo de más de 275 especies, ya que se da como alimento por sus beneficios medicinales y se usa en rituales por sus poderes espirituales. Actualmente, los hongos son organismos megadiversos, peculiares y fundamentales para los ecosistemas existentes, y esto se debe a sus funciones de descomposición y relaciones mutualistas o patógenas con las plantas y animales (Montenegro et al. , 2022).

2.2.1 Ciclo de vida de los macrohongos

Como lo comentan Montenegro et al. , (2022), estos seres se reproducen por medio de millones de esporas (1mm de espesor, y en conjunto de 300 unidades), que germinan en condiciones adecuadas de temperatura, humedad y nutrientes convirtiéndose así en grandes hilos largos (hifas); estas hifas tienden a entrelazarse y crecer en conjunto formando un tejido (micelio), que corresponde al cuerpo del hongo o también conocido como “el verdadero hongo”. Este cuerpo del hongo tiende a expandirse en forma de telaraña blanca en busca de alimento, creciendo por debajo de las setas en el suelo hasta dar origen al cuerpo reproductivo del hongo (Carpóforo), el responsable del nacimiento de esporas (ver Figura 1). A su vez, algunos hongos descomponen compuestos orgánicos no complejos como la hemicelulosa y celulosa produciendo una degradación total de estos ya que de la lignina y celulosa liberada del proceso se producen enzimas peroxidadas (Montenegro et al , 2021).

Figura 1
Ciclo de vida del hongo



Nota: tomada de (Montenegro et al., 2022, pág. 23.)

2.2.2 *Pleurotus ostreatus*

Las orellanas (*Pleurotus ostreatus*) son parte del reino fungi y se les conoce como setas u hongos verdaderos y superiores (Benavides, 2013), carecen de clorofila, son buenos degradando madera y proliferan en época de lluvia, son de climas templados y/o subtropicales especialmente en residuos de lignina y celulosa. Normalmente, la carne de este hongo es blanca y tierna, pero con el tiempo tiende a corroerse. Su clasificación taxonómica se muestra en la tabla 1, y comúnmente se le conoce como seta, pero el nombre científico *Pleurotus ostreatus* proviene del latín *pleuro* que significa lado, posición lateral, estípite (tallo), en otras palabras, posición del tallo respecto al pileo (sombrero); y *-uos* cuyo significado es oreja u oído por la similitud a este, pero a estas palabras les antecede otras de origen griego como *pleura*: costado y *-us* y *-otos*: oído; entretanto. También la palabra *ostreatus* se debe a la semejanza con la concha u ostra. Este hongo se caracteriza por ser carnoso sin tallo y muy pequeño (Montenegro et al. , 2022)

De esta manera, el cultivo de hongos se ha convertido en una alternativa de alimento para el consumo humano debido a su valor nutricional y según Benavides (2013) la producción de hongos varia ya que sus instalaciones dependen del volumen de producción y del tipo de proceso (continuo o discontinuo) tomando en cuenta que el sustrato a utilizar debe ser leñoso- celuloso húmedo pero en los últimos años se han podido implementar como sustratos residuos agrícolas. Su ciclo de producción es de 15-30 días para incubar y crecer, de 15-20 días en la producción de primordios y de 45-60 días la cosecha del hongo, la cual puede ser de 2 o 3 cosechas por ciclo de siembra. (García et al. , 2012)

El cultivo de orellanas (*Pleurotus ostreatus*) tiene unas características específicas como lo son: rangos de temperatura en la incubación entre los 28°C-30°C, para su posterior desarrollo y fructificación, además, la humedad relativa necesaria debe ser del 85%-95% (Benavides, 2013),

junto con una intensidad lumínica de 400-600 lux para la producción de los cuerpos fructíferos; mientras que, los sustratos a usar deben tener en su composición C, N, P; y los subproductos agrícolas más usados deben estar constituidos principalmente de celulosa con el 40-60%, hemicelulosa con el 15-80% y lignina con el 10-30% (Leal, 1985).

2.3 Agricultura sostenible

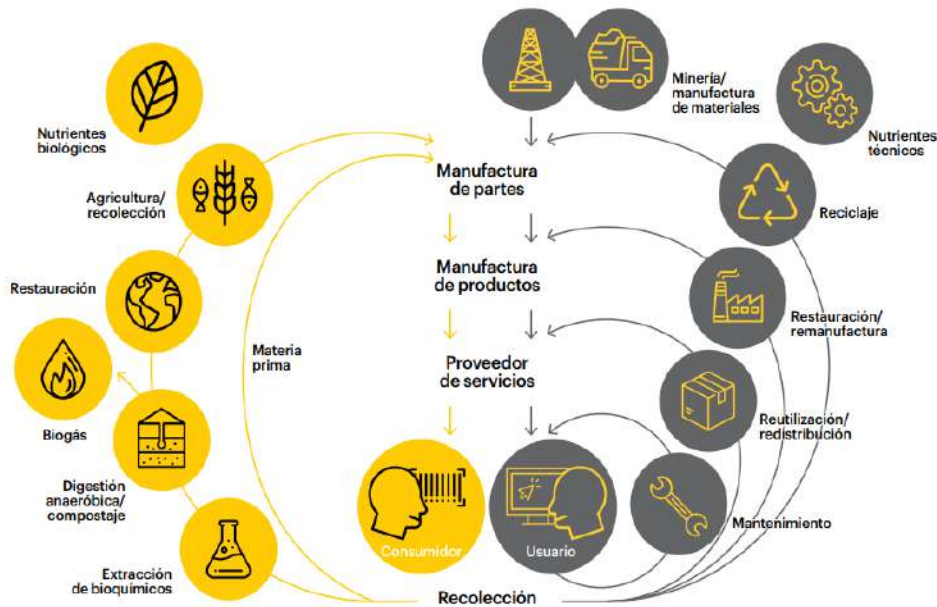
La agricultura ha pasado por diferentes procesos a lo largo de la historia como lo comenta García (2009), iniciando con la recolección de frutos, seguido de la revolución agrícola con la labranza y la extensión de cultivos, que luego pasa a una revolución tecnológica por la implementación de máquinas; más adelante, al uso de plaguicidas y abonos con la llamada revolución verde, hasta que finalmente, se llegó a la revolución genética con las semillas modificadas genéticamente para el rendimiento de los cultivos. Es por esto, que todos estos cambios en la agricultura son insostenibles en un futuro venidero para el ambiente, la economía y la sociedad.

Según la Organización de Naciones Unidas (ONU), en el informe Brundtland (1987) recoge las preocupaciones de la declaración de Estocolmo (1972) y la carta mundial de la naturaleza (1982) sobre el desarrollo sostenible definiendo la palabra sostenible como “aquello que satisfaga las necesidades presentes sin afectar en un futuro las necesidades venideras” (García, 2009). Mientras que, desde la perspectiva de la ecología y sus leyes, se fundamenta que (1) nada ocurre de forma aislada; (2) el sistema se estabiliza por las dinámicas compensatorias; (3) la naturaleza es indestructible, y (4) en ella no existe desperdicio porque las materias primas no son renovables, así que, todo cambio importante realizado por el ser humano resultará probablemente perjudicial para el sistema. (García, 2009)

2.4. Economía circular

La economía circular parte del principio de que nada se desperdicia, todo se transforma y consume, en consecuencia su enfoque no es del todo afín con la economía actual. De este modo, como cito Grazini (2018) autores como Jaron et al. , (2013) plantean que existen unas causas tanto ambientales, de recursos, climáticas y económicas para definir la economía circular, siendo estas causas las siguientes: el cuidado del agua, aire y suelo (en las ambientales), los recursos materiales y la energía (en las de recursos), los gases de efecto invernadero (en las climáticas) y la disponibilidad de servicios, la competencia u otros (en las económicas).

Por esta razón, la escasez de recursos naturales y el crecimiento exponencial de la población han potenciado que los fundamentos de la economía circular ayuden a contrarrestar la producción y comercialización de las empresas por lo que, se pasa de extraer, producir y desechar a ahorrar energía, a reducir costos a los productores y consumidores, a aliviar la presión sobre la naturaleza, a competir y ser creativas en el mercado, así como se muestra en la figura 2 (Grazini ., 2018)

Figura 2*Diagrama del sistema de la economía circular*

Nota: Tomado de Graziani, ., pág. 25, 2018. Elaborado por Ellen MacArthur Foundation, 2013

2.5. Aprovechamiento de residuos

La gestión del aprovechamiento de residuos es necesaria en la economía circular y esta tiende a complementarse con las definiciones de sistema, sistemas sociales, residuos sólidos y gestión de residuos sólidos. Bertalanffy (1997) define al sistema como una red de interacciones complejas entre el conjunto y ellos mismos, como afirma Simón (1962) citado por Segura (p.2) (2020), su definición coincide con lo anterior por la complejidad de las relaciones internas que constituyen al sistema. Mientras que para Farrah (2005), el sistema son las relaciones interrelacionadas que dependen de las funciones de otros.

Con ello, Bertoglio (1993) comenta que al hablar de sistemas sociales se refieren a proveer al ser humano de bienes y servicios, pero para Moransky et al. , (1978), estos sistemas sociales interactúan con otros sistemas que crean unas entradas y generan salidas que a su vez trabajan en función de otro y si hay una falla, ésta se transmite a todo el sistema.

No obstante, los conceptos de residuos sólidos y su gestión van en función de su fuente de origen la cual puede ser orgánica, doméstica, hospitalaria e industrial (Doble et al. , 2005), y tras aprovechar, tratar y transformar, finalmente se dispone controladamente (Blanco, 2014). Por lo tanto, en países como Alemania, Japón, Suiza, Bélgica, Dinamarca y Noruega existen sistemas de gestión de residuos muy eficientes por el compromiso e intervención por parte de los involucrados, los ciclos de producción cerrados, las buenas prácticas y la economía circular.

Caso contrario ocurre en América latina ya que solo se centran en prevenir, tratar y aprovechar los residuos sin adaptarse a los sistemas sociales, económicos y ambientales. Y para Colombia, si bien las normativas de la protección del medio ambiente están, son pocos quienes las cumplen por la carencia de sistemas de control eficientes. (Cortés, 2018).

3. Estado del arte

Cárdenas (2017), elaboró un cultivo de hongos *Pleurotus ostreatus* en Málaga, Santander, usando como sustratos los residuos de café de consumo humano (OC), bagazo de caña de azúcar (OA), tallo de maíz (OM) y hojas de plátano (OP). A los cuatro sustratos se les evaluó el efecto de manera individual sobre la producción de hongos a treves de los indicadores de eficiencia biológica, el rendimiento, el tiempo de incubación, el tiempo de aparición de primordios, la cantidad de cuerpos fructíferos y la productividad. A los sustratos y cuerpos fructíferos se les evaluó el contenido nutricional con un análisis proximal. Además, concluyó que (1) el OC obtuvo la mejor eficiencia biológica de orellanas con el 41,28%, (2) los mejores rendimientos en la cosecha fueron 22,25% con el OM y 18,9% con el OC, (3) el OM obtuvo la mejor cosecha de carpóforos con $667,7 \pm 78,22$ g y (4) el mayor número de primordios fueron de $94,8 \pm 7,08$ con el OM y $94,8 \pm 3,36$ con el OC, entre otras.

Flórez (2008) estudio el control biológico de nematodos fitoparásitos en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) con micelio de hongos del género *Pleurotus ostreatus* y hongos micorrízicos como sustratos. Se usaron dos concentraciones diferentes para los hongos micorrízicos (35 g y 70 g) y para los *Pleurotus ostreatus* (140 g y 280 g), analizando las variables de altura, producción de frutos, control de nematodos, entre otras. Concluyendo que el uso de hongos para controlar nematodos es viable ya que los tratamientos que usaron con los hongos llegaron a tener entre 5 y 7 nematodos en comparación con el tratamiento que no tuvo hongos ya que su valor fue de 83 nematodos.

Gómez et al. , (2013), caracterizaron fisicoquímicamente los residuos agrícolas de los cultivos del cacao, cítricos (Limón, mandarina y naranja), fique y tomate chonto (*Solanum lycopersicum*) en Santander. De ello concluyeron que, los residuos del cultivo del cacao (hojas,

tallos y frutos) obtuvieron los mejores resultados de la caracterización con humedades de 17,98%, 71,68% y 85,47%, y en las cenizas con valores de 2,09%, 2,39% y 6,69%. Pero, los resultados de los residuos del tomate (planta y frutos de descarte) mostraron que presentaron humedades del 89,75% y 91,97%, y cenizas del 1,6% y 5,73%, respectivamente.

Oliveira et al. , (2022), estudio la viabilidad del sustrato gastado de hongos como fuente de nutrientes para plántulas de tomate y desarrollar un sistema integrado de coproducción de tomates y hongos. Para la producción de plántulas se evaluaron diferentes composiciones con sustrato gastado de hongos de *Pleurotus ostreatus* o sustrato colonizado con *Agaricus bisporus*. Los parámetros evaluados fueron la tasa de germinación, la calidad de las plántulas y el análisis fisicoquímico. En este sistema de cocultivo entre tomate Cherry y champiñón, el tratamiento con el sustrato colonizado con *A. bisporus* se diferenció de otros, presentando este tratamiento altos rendimientos de tomate (2,35 kg/maceta) y champiñones (1,33 kg/maceta) dentro de el mismo cubo. Con este sistema de coproducción, se redujo en 60 días el tiempo de producción de tomate y se prolongó en 120 días la producción continua de hongo.

Postemsky et al. , (2016) evaluaron el sustrato degradado por hongos (SDH) como sustrato residual del hongo (SRH) en la producción hortícola de cultivos de berenjena, pimiento, tomate y pepino. Usaron como sustratos residuales de hongos: *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lucidum* y *Agaricus bisporus*, como compost residual de hongo (CRH). La propiedades físicas obtenidas para el SRH de *P. ostreatus* fueron la densidad aparente (DA) con 0,11 (g*cm³) y la porosidad ocupada por el aire fue del 60%. En conclusión, comentaron que el SDH es apto para ser usado en la horticultura debido a la baja DA, la elevada porosidad ocupada por aire y por la capacidad de estimular la respuesta defensiva sistemática de las plantas.

Sánchez et al. , (2008) evaluó la producción de *P. pulmonarius* (IE-4) y *P. ostreatus* (IE-8), a través de la fermentación sólida (FS) de RT y de una combinación con madera de vid (MV) y paja de trigo (PT) para determinar la eficiencia biológica (EB), tasa de producción (TP), rendimiento (R) y cambios químicos de los sustratos después de la cosecha de hongos. Así que, de EB vario de 92 a 139,8%, con el mayor valor en RT (IE-4); la TP de 1.4 a 2.9 % y el R de 6.4 a 9.8 %. La bioconversión osciló entre 57.7 y 63.9 %, con el valor más alto en RT-PT (IE-8). Concluyendo que el RT mostró potencial como fuente lignocelulósica para el cultivo de *Pleurotus* spp ya que se produjeron $592,3 \pm 20$ g de orellanas en la primera cosecha.

Obodai et al. ,(2003) estudiaron 8 subproductos lignocelulósicos como sustratos para el cultivo ostra, *P. ostreatus*. Estos sustratos fueron aserrín compostado de *Triplochiton scleroxylon*, paja de arroz, hojas de plátano, rastrojos de maíz, hojas de maíz, cascara de arroz, aserrín fresco y pasto elefante. En cuanto a los mejores resultados fueron obtenidos por el aserrín compostados con $183,12 \pm 0,32$ g de setas en el rendimiento del hongo y 61% en la eficiencia biológica. Para el caso del rastrojo del maíz el valor del rendimiento fue de $87,8 \pm 0,21$ g de setas y del 29,26% en la eficiencia biológica.

Villegas, (2022), realizó un estudio en el cual la celulosa de residuos agrícolas como el tomate, el pimiento y berenjena en España, se sometió a varios métodos y aplicando el modelo de economía circular para diseñar ligno nano fibras con las cuales se propuso un prototipo de envases alimentarios sostenibles y funcionales a escala piloto. Es por ello por lo que, para los residuos del tomate, sus resultados mostraron que su composición química tanto para la planta (tallos y hojas) como la pulpa (tomate no comercializado) se obtuvo más celulosa en la pulpa con un 64,6% y más lignina con 15,9%, pero la planta obtuvo más hemicelulosa con 11,98% y más extraíbles con un 15,58%.

4. Metodología

La metodología de la investigación se realizó en varias etapas, desde la recopilación de información y la obtención de la biomasa residual, con su respectiva caracterización fisicoquímica, cosecha del hongo, hasta el uso del sustrato degradado del hongo *Pleurotus ostreatus* en el cultivo de tomate tipo chonto, como se muestra a continuación.

4.1 Etapa 1: Recopilación de información

Recopilación de información y obtención de residuos agrícolas.

4.1.1 Área de estudio

El área de estudio de la investigación se ubicó en la vereda Moralito del municipio de San José de Miranda y abarca (4) fincas, de las cuales se destaca la finca el Uvo ($6^{\circ}37'02.9''N$ $72^{\circ}44'08.4''W$), ya que fue el lugar de la cosecha del hongo comestible del estudio. (Ver Figuras 3 y 4)

Figura 3

Mapa del área de estudio de la investigación



Nota: (a) Mapa de Colombia. (b) Mapa del departamento de Santander. (c) Mapa de la vereda Moralito en el municipio de San José de Miranda, Santander. (d) Mapa de la finca el Uvo, en la vereda Moralito.

Figura 4

Panorama de la finca El Uvo, vereda Moralito, municipio San José de Miranda.



Los residuos agrícolas de la investigación se obtuvieron de uno de los agricultores de la región, éstos fueron de tomate tipo chonto en invernadero junto con los rastrojos del maíz sembrado a campo abierto, y también cultivados en las 4 fincas entrevistadas en la zona rural de San José de Miranda.

Estos residuos cuya composición fue principalmente de hojas, tallos, frutos de descarte y tuzas, se secaron a la intemperie en plástico negro; luego de ello, se trituraron con maquinaria agrícola (Triturador picador PENAGOS, TP-8AMG) y finalmente, se recolectaron según las proporciones establecidas en lo planteado en la tabla 2; se almacenaron en costales de fibra blanca de 5 kilos, previamente marcados, en un cuarto de la finca El Uvo.

Tabla 2

*Tratamientos para la cosecha del hongo *Pleurotus ostreatus* (orellanas)*

Tratamientos	No. Bolsas	Sustrato	% Peso
1	5 x Duplicado	Residuos de tomate (Hoja-tallos y frutos en descomposición)	100
2	5 x Duplicado	Residuos del maíz (Hojas y tuzas) + Residuos de tomate (Hoja-tallos y frutos de descarte)	50+50
3	5	Material no lignocelulósico (Tierra del invernadero y rocas)	100

Cabe aclarar que el sustrato de control, correspondiente al T3, que se planteó en la investigación es de carácter negativo, esto quiere decir que este tipo de sustrato no presenta ningún componente lignocelulósico en su estructura y por ello, el crecimiento del hongo *Pleurotus ostreatus* fue nulo.

4.2 Etapa 2: Caracterización fisicoquímica de los residuos

En la caracterización física de los residuos del tomate y del maíz, se describió el tamaño, forma, color y estado del tallo, hojas y frutos. Mientras que, para la caracterización química de estos residuos almacenados, se llevaron una muestra por residuo al Laboratorio Químico de Consultas Industriales de la UIS y al Laboratorio de Aguas y Suelos del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales de la UIS, que por medio de normas y técnicas se determinaron las variables de el pH, la humedad, las cenizas, la materia orgánica, la presencia de celulosa, hemicelulosa y lignina (ver Tabla 6) para residuos agrícolas mencionados.

4.3 Etapa 3: Acondicionamiento del sustrato

Inoculación, fructificación y cosecha del hongo *Pleurotus ostreatus*

4.3.1 Acondicionamiento del sustrato

Para acondicionar los sustratos, en primer lugar, se tomó una poca cantidad de ambos residuos producidos en la finca El Uvo (ver Figura 4), es decir, se pesaron 10 Kg de los residuos (5 kg de residuos de tomate y los 5 kg restantes correspondió a la mezcla de residuos de tomate y de maíz, es decir, 500 g por cada tratamiento) en costales de fibra, que posteriormente se humedecieron con agua a 80°C por 40 minutos aproximadamente, para esterilizarlos y eliminar patógenos. Este proceso se realizó dentro de un tanque metálico con agua. Pasado este tiempo, los sustratos se dejaron secar. (Figuroa et al. , 2015; García et al. , 2012)

Las variables del cultivo del hongo fueron la humedad relativa (%HR), y la temperatura ambiente (°C), las cuales se midieron en un invernadero de 7m x 3 m x 3 m (ver Apéndice B), hecho en madera, con plásticos negro y blanco, alambre dulce y puntillas (ver Figura 5) ubicado dentro de la finca el Uvo.

Figura 5

Invernadero para el cultivo del hongo



De esta manera, la obtención del hongo *Pleurotus ostreatus* cosechado en los sustratos planteados tuvo varias fases como lo fueron el acondicionamiento del sustrato, la inoculación e incubación de la semilla del hongo y, finalmente, la fructificación y cosecha de la seta.

4.3.2 Inoculación e incubación

Tras la fase del acondicionamiento, se inoculó el micelio del hongo de *Pleurotus ostreatus* bajo condiciones asépticas (alcohol de 96% de pureza) mezclando el sustrato y la cantidad de semilla por tratamiento según la ecuación (1):

$$x = \frac{500 \text{ g (Peso de cada tratamiento)} * 2000 \text{ g (Cantidad de semilla comprada)}}{12500 \text{ g (Peso total de todos los tratamientos)}} \text{ Ec (1)}$$

$$x = 80 \text{ g de semilla}$$

Donde:

x: Cantidad de semillas para para mezclar en cada tratamiento.

Cada tratamiento tuvo un peso seco de 500 g de residuos agrícolas, y el peso total seco de los 25 tratamientos planteados (ver Tabla 3) fue de 12500 g, entonces la ecuación (1) relaciona la cantidad de semilla que debe tener cada tratamiento con el peso total de la semilla adquirido el cual fue de 2 kg.

Por consiguiente, la cantidad de semilla empacada por tratamiento fue de 80 g para mezclar en las bolsas plásticas transparentes previamente marcadas con los tratamientos. Tras la siembra, se trasladaron las bolsas de los tratamientos al invernadero (ver Figura 5) y se colocaron en estantes que al transcurrir tres días fueron perforados con cortes diagonales de 4 cm o 5 cm con un bisturí desinfectado para posteriormente, iniciar la fase de incubación.

En la fase de incubación, se monitoreó la temperatura y humedad con el termohigrómetro UNI-T (ver Apéndice C), dentro de la sección del invernadero de plástico negro y se mantuvo entre los 25°C y 30°C y el 60% HR y 80% HR, respectivamente, debido a las riegas periódicas y la poca presencia de radiación solar. En el transcurso de los ocho primeros días después de la siembra, las bolsas no se movieron. Tras pasar ese tiempo, su revisión fue diaria hasta que se colonizó el micelio, es decir, hasta que apareció una masa blanca en forma de algodón (2 o 3 semanas aproximadamente). (Figuroa et al. , 2015; Montenegro et al. , 2022)

4.3.3 Fructificación y cosecha

Al mes de la siembra, los tratamientos (ver Tabla 2) se trasladaron a la otra sección del invernadero (plástico blanco) para las fases restantes (Figuroa et al. , 2015); la temperatura y la humedad se mantuvo entre 20°C-30°C y hasta un 90% HR, respectivamente por el riego diario con atomizador.

Ya pasada la primera aparición de primordios, empezó la cosecha con los carpóforos debido al tamaño adecuado para su comercialización (6-8 cm de diámetro aprox.) después de casi un mes

de iniciado el ciclo. Al obtener este tamaño deseado, se acondiciona para la comercialización. Ya finalizada la cosecha de los hongos comestibles, las variables como el tiempo de aparición de los primordios y del cuerpo fructífero, el peso total de los hongos cosechados, la eficiencia biológica y el contenido proteico de los mismos, se tiene en cuenta para su comercio y venta, así mismo como el precio de venta de los hongos obtenidos para su posterior análisis de coste beneficio económico. (Figuroa et al. , 2015)

4.4 Etapa 4. Residuos gastados del cultivo de hongos

Todos los sustratos degradados por el hongo (SDH) de *P. ostreatus* de los tratamientos (1) y (2) terminada la cosecha se recolectaron separadamente y se secaron en plástico negro con la radiación solar natural. Ya después de secados, estos sustratos se pesaron, luego se distribuyeron según los nuevos tratamientos propuestos (ver Tabla 3), se empacaron en bolsas de semillero de 4 kg, las cuales previamente tenían tierra y majada de cabra o solamente tierra. Mientras que para el tratamiento de control (sustrato comúnmente usado para la siembra de tomate tipo chonto) fue solamente tierra y majada de cabra, previamente recolectada, pesada y empacada en las bolsas de semillero.

Tabla 3

Tratamientos para el cultivo de plántulas de tomate tipo chonto bajo invernadero

Tratamientos	No. de bolsas	Sustratos	% Peso
A	5 x duplicado	Sustrato degradado del hongo del Trata. 1 + viruta de aserrín + tierra + majada cabra	50+50
B	5 x duplicado	Sustrato degradado del hongo del Trata. 2 + viruta de aserrín + tierra + majada de cabra	50+50
C	5 x duplicado	Sustrato comúnmente usado en la siembra de tomate (Tierra + majada de cabra)	100

Nota: El sustrato degradado por el hongo (SDH) se convierte en sustrato residual del hongo (SRH) al ser descontaminado junto con el aserrín.

Tras el empacado y marcado de las nuevas bolsas, se sembraron las plántulas de tomate tipo chonto, aproximadamente 30, para los tres (3) nuevos tratamientos propuestos (ver Tabla 3) y trasladaron a la parte superior (los 2 primeros surcos) del invernadero de tomate. Allí, los sustratos se observaron y regaron diariamente para monitorear semanalmente por medio de la medición y observación su crecimiento, tamaño y apariencia de las plántulas de tomate con los nuevos sustratos SRH. Este monitoreo tomó de 3 a 4 semanas.

Finalmente, en el transcurso de las etapas se aplicó el concepto de la economía circular ya que este concepto promueve el reciclaje de nutrientes, fomenta la salud integral de los agro sistemas, genera un valor agregado a la producción, desarrolla una sinergia entre los componentes de los sistemas productivos, usa recursos localmente disponibles y tecnologías apropiadas y apropiables.

4.5 Etapa 5. Costo-beneficio

Para estimar el valor de costo beneficio se tomó en cuenta la fórmula de estimación del coste beneficio en lo propuesto por Ortega (2012) en su trabajo.

La fórmula fue la siguiente:

$$RCB = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\frac{C_t}{(1+r)^t}}, \text{ donde } \mathbf{B}_t \text{ son los beneficios netos o valor actual de los ingresos totales}$$

netos, C_t son los costos totales, r es la tasa social de descuento que en Colombia equivalente al 12%, t es el flujo de caja generado en cada año y T es el horizonte del proyecto correspondiente a 5 años.

Así que, en primer lugar se partió con estimar el valor de producción de hongos para el presente estudio tomando como referencia 592,3 g de orellanas cosechados a partir de 2500 g de

sustrato de RT por Sanchez et al. , (2008), y los 87,8 g de orellanas cosechados en 3000 g de sustrato de RM por Obodai et al. ,(2003).

Seguido de ello, se determinaron los costos necesarios del proyecto, con el fin de establecer presupuestos de ventas, inversión, costos y gastos para definir si hay viabilidad o no de producir y comercializar orellanas en la zona estudiada. Así que para hallar la inversiones se tuvieron en cuenta todas la inversiones para poner a funcionar el cultivo de hongos comestibles orellanas como lo fueron la inversión inicial y la inversión final, al igual que las proyecciones financieras referente a los ingresos y egresos proyectados.

5. Resultados

En esta sección se analizaron los datos obtenidos de: (1) la biomasa residual para el cultivo de hongos orellanas, (2) la cosecha de hongos orellanas, (3) los sustratos degradados de la cosecha del hongo en el cultivo de tomate tipo chonto bajo invernadero y (4) la estimación del coste beneficio para determinar la viabilidad de producir y comercializar hongos comestibles (orellanas). Los datos se procesaron y analizaron en el software Microsoft Excel 2010.

Caracterización física y química de los residuos usados como sustratos

En primer lugar, en la tabla 4 se muestran los datos del área cultivada, plantas sembradas por cosecha y residuos producidos, obtenidos del sondeo realizado en la región de estudio, que normalmente es una zona productora de tomate tipo chonto bajo invernadero.

Tabla 4

Variables estudiadas en el sondeo de la región de estudio

Variable	Cantidad⁴
Área cultivada [m²]	2759
Plantas sembradas por cosecha	6125
Residuos producidos tras la cosecha [kg]	812,5

Nota: ⁴La cantidad mostrada está dada por cosecha de tomate tipo chonto, cuya duración es de 4 meses en la zona y en el año pueden darse 2 cosechas o más, dependiendo de la cantidad de invernaderos y sus dimensiones. La información fue tomada de las entrevistas realizadas a (4) fincas productoras de tomate tipo chonto cuyos nombre son: El Uvo, La Pilastra, Los Llanitos y Tira Aposentos ubicadas en las Veredas de Moralito y Cruz de piedra en San José de Miranda.

Con la anterior información mostrada se puede decir que, con el promedio de las 6125 plantas sembradas por cosecha de invernadero, sabiendo que se pueden dar 2 o más cosechas en un año según la cantidad de invernaderos y personal que los asista, generaron 812,5 kg de residuos agrícolas y cuya disposición final fue a la intemperie. Para el caso del maíz, la cantidad de residuos fue aún mayor respecto a la del tomate debido a que se cultiva a campo abierto e inclusive unas

pocas semillas sembradas dentro del invernadero pueden dar grandes cantidades de residuos tras reducir su tamaño, por eso se estiman entre los 600 kilos y 2 toneladas (valor promedio estimado de 1300 kg de residuos de maíz) de residuos agrícolas según una cosecha al año. Una cosecha de maíz puede durar de 2- 3 meses en la región. Además, las características físicas de estos residuos, como el tamaño, forma, color y estado fueron diferentes para ambos como se observa en la tabla 5.

Tabla 5

Características físicas de los residuos de tomate y del maíz

Características físicas	Residuos del tomate (RT)	Residuos del maíz (RM)
Tamaño	5-10 cm	3-5 cm
Forma	Delgada y rígida	Delgada y rígida
Color	Negro y anaranjado en las hojas	Negro y amarillo opaco
Estado	Seco	Parcialmente seco
Imagen		

Por otro lado, al observar los resultados que arrojó la caracterización química del material vegetal (ver Tabla 6), se puede decir que la variable del pH con valores de 9,6 y 7,96 fue similar a lo establecido con Miles et al. , (1999) quienes trabajaron con sustratos orgánicos agroindustriales y establecieron valores ideales de pH en sustratos para su posterior uso en cultivos de hongos orellanas, siendo el rango de pH adecuado entre 4,0 y 8,0; caso contrario ocurrió con Figueroa et

al. ,(2015) que basados en estudios sobre residuos agroindustriales establecieron los valores de 5,0 y 6,5 para el pH en su estudio.

Se obtuvieron valores de humedad para los residuos del tomate y del maíz estudiados de 4,02% y 12,23%, respectivamente, analizando que los sustratos tienen poca capacidad para que proliferen las setas. Caso contrario, en cuanto al porcentaje de cenizas, cuyos valores para cada residuo fueron de 25,76% (RT) y 10,66% (RM), permitiendo inferir que estos sustratos cuentan posiblemente con micro y macronutrientes inorgánicos adecuados para el desarrollo del hongo, al igual que se evidencio en lo estudiado por Sánchez et al. , (2008), en el cual, la cepa cuyo sustrato del RT en el cultivo de orellanas, arrojó resultados de 5,4% y 6,8% en la humedad y del 13,5% y 14,5% en las cenizas similares a los del presente estudio.

Mientras que, el porcentaje de materia orgánica (MO) fue de 82,44% para el RT y 83,49% para el RM fueron altos y por ellos existe poco almacenamiento de agua según lo analizado por González et al. , (2020) con residuos de la cereza del café, pero lo contrario ocurrió con lo reportado por Ojeda et al. , (2001) de 89,01% MO, y Da Silva et al. ,(2009) de 91,96% MO quienes trabajaron en sus estudios con residuos del tomate y cuyos valores fueron similares a los del presente estudio.

Y Obodai et al. , (2003) afirmaron que el micelio en el maíz fue considerablemente pobre en las hojas y no creció casi el micelio, pero en los rastrojos del maíz el micelio de hongos creció más, debido a que su análisis proporcionó contenido de celulosa del 39,04%, de hemicelulosa del 25,27% y lignina del 6,15% , similar en lo reportado para los RM del presente estudio (ver Tabla 6), siendo el valor de la lignina del 23,7% el que más varia.

Tabla 6*Caracterización química de los residuos del tomate y el maíz*

Variable	Residuos de tomate de invernadero	Residuos de maíz
⁵ pH	9,6	7,96
⁵ Humedad (% bs)	4,02	12,23
⁵ Cenizas (% bs)	25,76	10,66
⁵ Materia orgánica (% MO)	82,44	83,49
⁶ Lignina (% bs)	35,6	23,7
⁶ Celulosa (% bs)	36,7	35,9
⁶ Hemicelulosa (% bs)	26,4	26,6

Nota: ⁵ Pruebas realizadas por el Laboratorio Químico de Consultas Industriales, UIS. ⁶ pruebas realizadas en el Laboratorio de Agua y Suelos, CEIAM, UIS. Bs: base seca.

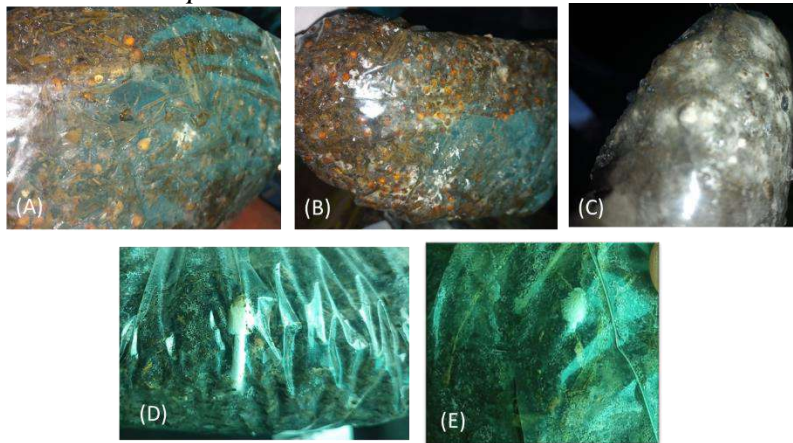
Cosecha de los hongos orellanas

Inicialmente, la recolección del tamo (residuos del tomate) y los residuos del maíz se realizó en la finca El Uvo, por su acumulación en volumen tras la cosecha, al igual que la pasteurización de ambos sustratos, se realizó por medio del método tradicional de cocción de alimentos, la combustión por leña; mientras que la obtención del micelio fue de forma comercial y se mezcló mecánicamente con el sustrato. Para las siguientes fases planteadas, en el estudio realizado por Figueroa et al. , (2015) se conoció que la incubación debe durar unos 30 días ya que este número de días equivale al tiempo en que tarda el hongo en colonizar la totalidad del sustrato y finaliza con la aparición de una masa blanquecina, que para el caso del presente estudio esta etapa no llegó a lograrse (ver Figura 6), ya que solo se obtuvo la invasión del micelio y la aparición de los primeros primordios con una cantidad de 10 a 20 primordios por bolsa y cuya longitud no sobrepaso los 3 cm. Estas causas se deben posiblemente por las cambiantes condiciones ambientales que fluctuaron entre los 20°C y 50° C en los valores medios de la temperatura y entre el 50% y 90% en los valores medios de la humedad relativa. Además, cabe mencionar que en la figura 6 se observa que la

imagen (c) presentó una masa blanquecina, pero esto se debe a que dicha masa correspondió a otro hongo y en este caso mohó que apareció días después de la invasión del micelio en los otros tratamientos.

Figura 6

*Obtención de primordios *Pleurotus ostreatus* en residuos del tomate y del maíz.*



Nota: (A), (B) y (C) Invasión del micelio en el T1, T2 y T3, respectivamente. (D) y (E) Aparición de los primeros primordios en los T1 y T2, respectivamente.

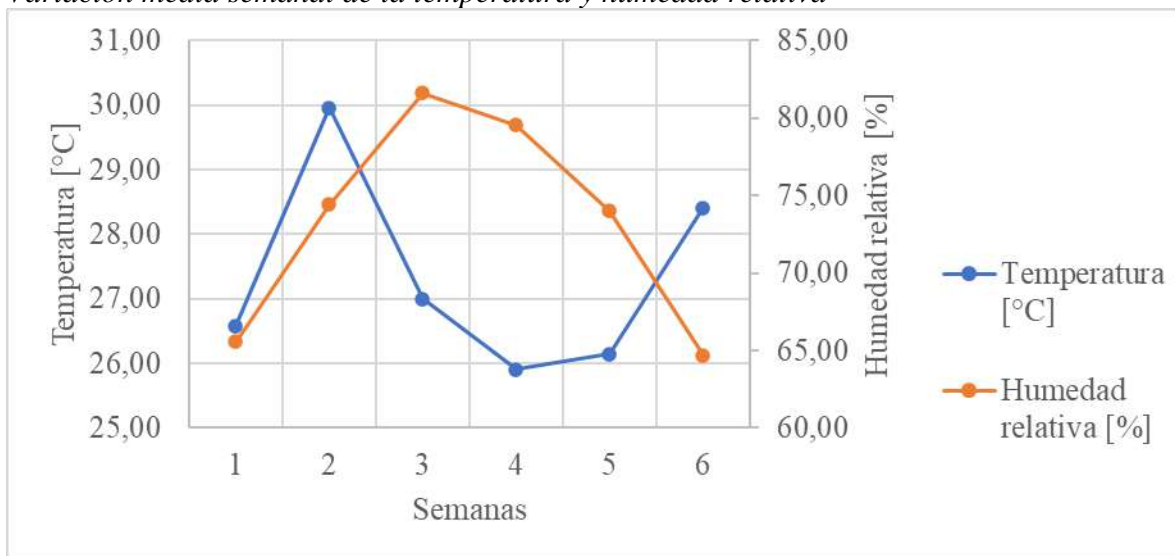
Sin embargo, lo anterior también puede deberse, según Rodríguez et al. , (2006), a posibles problemas de pudrición en los hongos previo a la cosecha, cuerpos fructíferos muy pequeños o escasos, demora en la formación de primordios, contaminación por insectos, entre otras, como unas posibles causas cuando la cosecha del hongo orellana no se desarrolla. Como complemento a esto, el autor Figueroa et al. , (2020) argumenta que esta situación en el cultivo del hongo pudo ser probablemente por la distribución del inóculo, el tamaño de partícula y el tiempo que estuvo la bolsa de los tratamientos cerrada (3 días) trayendo consigo poco intercambio de aire, drenaje del micelio y compactación del sustrato. Así que, por ello, la media de floración del micelio en el estudio de Figueroa et al. (2020) fue de 27 días, mientras que en la presente investigación fue de 19 día esta media de floración siendo el sustrato del T3 el que más rápido se completó la invasión con un periodo de 8 días, seguido del T2, tras 15 días después de la inoculación y finalmente el T1 tardó 19 días en iniciar la invasión.

De igual manera, los parámetros ambientales como la temperatura y la humedad también se tuvieron en cuenta, siendo estos de gran importancia en el cultivo de hongos orellanas. Así que sus análisis se hicieron a continuación:

La temperatura se reguló con el regado de agua, el paso del aire durante el riego y la disposición de poli sombra en los laterales del invernadero. Tras el experimento y en el transcurso de las semanas (semana 1-semana 6), la temperatura se mantuvo entre los rangos de 20° a 30° C a excepción de algunas ocasiones, las cuales se presentaron temperaturas medias máximas entre los 30° y 50°C, lo cual afectó la hidratación del micelio y la apariencia física de los cuerpos fructíferos, al ser éstos delgados. En la figura 7 se observa el comportamiento de la temperatura media semanal a lo largo del cultivo del hongo orellana. En el apéndice A se muestran los valores medios de cada semana.

Figura 7

Variación media semanal de la temperatura y humedad relativa



Nota: Los datos de la humedad relativa y la temperatura se tomaron dentro del invernadero que se usó para el cultivo de hongos orellanas

En el caso de la humedad relativa, el control sobre este parámetro se hizo con los riegos de agua limpia por medio del atomizador manual y la ubicación de recipientes con agua en los

extremos dentro del invernadero y alrededor de las bolsas de los tratamientos. La humedad presentó valores en el transcurso de las semanas (semana 1 - semana 6) entre los rangos de 50% y 90%, a excepción de algunos valores fluctuantes medios entre el 40% y 50% HR. Cabe destacar que el agua retenida en las bolsas provocó la pudrición de algunas setas en las bolsas. En la figura 7 se muestran los valores medios de la humedad a lo largo del cultivo del hongo orellana. Y en el apéndice A se observan los valores medios de cada semana.

SDH como SRH en la siembra de plántulas de tomate tipo chonto en invernadero

En la segunda fase del trabajo y empleando los fundamentos de la economía circular, se puede decir que, todos los residuos obtenidos del cultivo de orellanas o comúnmente llamado sustrato degradado por el hongo (SDH) (Postemsky et al. , 2016), se usó como sustrato en las nuevas plántulas de tomate en el invernadero como alternativa para remediar el crecimiento de nematodos y fitoparásitos reduciendo el empleo de sustancias químicas nocivas para el cuerpo humano (Flórez, 2008).

El sustrato degradado por hongos, de acuerdo con Postemsky et al. , (2016), lo definieron como un material apto para ser usado en el cultivo de hortalizas debido a sus atributos en la baja densidad aparente (DA), la elevada porosidad ocupada por el aire y la capacidad de estimular la respuesta defensiva sistemática de las plantas. Por ello, previo a su uso en el cultivo de tomate se acondicionó este sustrato descartando maleza, patógenos y olores de azufre y amonio, los cuales no benefician a las plantas. Cabe destacar que los sustratos residuales de hongos *P. ostreatus*, en suelos de baja fertilidad aumentan los niveles de C orgánico, N, P y K y no presentan síntomas de toxicidad según lo comentado por Postemsky et al. , (2016).

Figura 8*Siembra de las plántulas de tomate*

Nota: (a) Tratamiento A. (b) Tratamiento B. (c) Tratamiento C: Lo más comúnmente usado en un cultivo tradicional de tomate son abonos 10:20:20 y 10:30:10, químicos solubles como bio supremo (fungicida líquido), bio cal (fertilizante orgánico granulado), potasios y calcio, melazas, majada de las cabras (cabrinaza) y silicato de calcio (silical granulado). (d), (e) y (f) 20 días después de la siembra con los nuevos tratamientos propuestos.

Como se observa en la figura 8, las plántulas de tomate estudiadas se cosecharon en bolsas negras de 4 kg junto con la tierra, majada de cabra y el sustrato residual del hongo SRH del *P. ostreatus*, compuesto principalmente por el SDH (ver tabla 3) y viruta de aserrín. Tras las (3) semanas después de la siembra, las plántulas estudiadas en promedio midieron entre los 20 y 50 cm del largo en el tallo, con hojas grandes y pequeñas entre 5 a 10 hojas de color verde vivo en comparación con el resto del cultivo de tomate y como se expone en el manual de tomate (Cámara de comercio de Bogotá, 2015) ya que en la fase reproductiva del cultivo de tomate se da tras 20-30 días después del trasplante, aparecen entre 6 a 8 hojas por planta hasta que inicie la primera floración, y luego de ello, tras otras fases hasta se llega a la madurez de la planta con una altura de 2,5 m en el tallo (Cámara de comercio de Bogotá, 2015). También, estas plántulas de los tratamientos propuestos obtuvieron un crecimiento de 10 cm demás en comparación al resto de

plantas de tomate del invernadero sembradas en el suelo debido a que la retención de agua en las bolsas fue más beneficiosa por el sustrato residual del hongo SRH.

Factibilidad y viabilidad con el costo beneficio de la cosecha de hongos orellanas

Con lo expuesto en la metodología, el coste beneficio se estimó con lo obtenido por los autores Sánchez et al. , (2008), Obodai et al. , (2003) con cultivar orellanas, Ortega (2012) con la fórmula de costo beneficio y Bermúdez (2019) con la producción y comercialización orellanas a partir de residuos agrícolas.

En primer lugar, respecto a la cantidad inicial promedio de residuos producidos en una cosecha de tomate bajo invernadero y maíz a campo abierto al año en la región estudiada fue de 812,5 kg para los RT y de 1300 kg para los RM, debido a que los RT se van descomponiendo a la intemperie al pasar de los meses, y los RM se trituraron, se disminuyó su cantidad o volumen de acumulación hasta un 60%, para obtener como cantidad final 325 kg para los RT y 520 kg para los RM. Con lo anterior mencionado, el valor de producción de hongos se estimó tomando los siguientes factores: (1) los 325 kg de RT y 520 kg de RM; (2) el cultivo de orellanas con cosechar de 4 veces al año, (3) y finalmente con lo reportado por Sánchez et al. , (2008), Obodai et al. , (2003) de los 592,3 g y 87,8 g de orellanas cosechados, conlleva a que la producción de hongos fuera de 368,87 kg de orellanas al año en la región, con un precio de venta de \$11500 el kilo en el primer año, y de los cuales, 308 kg de orellanas fueron de RT y 60,87 kg de orellanas fueron RM.

De esta manera, la inversión inicial para la producción y comercialización de orellanas en la zona fue de \$ 14.229.000, con un total de costos/año de \$ 93.408.048, un total de gastos/año de \$ 28.384.572. Además, la inversión total, teniendo en cuenta la inversión inicial y el capital de trabajo fue de \$ 34.996.179.

Mientras que, la proyección de ventas, los costos e ingresos proyectados en el primer año fueron de \$ 4.230.505, \$ 35.765.134 y \$ 4.230.505, respectivamente, y que al usar la fórmula (1) con los costos e ingresos proyectados en los 5 años estimados del proyecto y la tasa social de descuento del 12% en Colombia, se calculó que numerador y denominador de la fórmula del costo beneficio fueron de \$ 18.305.140, \$ 135.693.541, respectivamente, y resultado final fue un valor de 0,13, indicando que los costos de producción sobrepasan a los ingresos proyectados y por ello, el producir y comercializar orellanas en la zona de estudio no es rentable debido que se estudió una pequeña parte del total de los residuos generados en una cosecha al año por unos pocos agricultores.

6. Conclusiones

La valoración y aplicación de los residuos del tomate de invernadero como biomasa para el cultivo de hongos comestibles (orellanas), se ve limitado su potencial por el bajo contenido en celulosa del 36,7% (RT) y 35,4% (RM) y hemicelulosa del 26,6% (RT) y 26,6% (RM), el alto contenido en lignina del 36,7% (RT) y 23,7% (RM) y materia orgánica del 82,44% (RT) y 83,49% (RM), y la baja retención de humedad. Pero sería mucho más beneficioso y aprovechable, si estos residuos se mezclaran con otros residuos agroindustriales como la paja de avena y trigo, la cascarilla de arroz, el aserrín o la cereza del café teniendo en cuenta lo estudiado en la literatura.

En la caracterización fisicoquímica de ambos sustratos, tanto de los residuos de tomate de invernadero como de los residuos del maíz a campo abierto, se evidenciaron deficiencias con los valores de la humedad de 4,02% para el RT y de 12,23% para el RM, la materia orgánica del 82,44% para el RT y 83,49% para el RM y la lignina con 36,7% para el RT y el 23,7% para el RM, en comparación con la literatura consultada, los cuales inhibieron en la germinación de las semillas del hongo *Pleurotus ostreatus*.

Los residuos obtenidos tras la cosecha de hongos comestibles, como se observó en la investigación, se convirtieron en una alternativa de abono para los cultivos como el del tomate bajo invernadero, pues mostró que las plantas de tomate crecieron entre los 20 y 50 cm, 10 cm demás en comparación con el resto del cultivo debido al reciclaje de nutrientes que presenta estos SRH, por lo que favorece a los pequeños productores y a sus cultivos para remediar costos en la cosecha con el uso de la economía circular y evitar el uso de posibles contaminantes en el medio ambiente.

Y finalmente, partiendo de que se puede fomentar este tipo de cultivos para pequeños productores como una alternativa sustentable y amigable con el medio ambiente, además de la

obtención de proteína con poco espacio, tiempo y tecnología cuando no se tenga que sembrar lo mismo siempre. Con lo cual, el costo beneficio del cultivo de hongos estimado en la investigación fue de 0,13 según lo estudiado por algunos autores sobre cultivos de setas comestibles y los factores anteriormente expuestos mostraron que, este tipo de inversiones necesita otros residuos lignocelulósicos para potenciar la producción y comercialización de orellanas.

Referencias Bibliográficas

- Aguilera Díaz, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofín habana*, 11(2), 322-343.
- Araos Millar R. (2021). Economía circular: la segunda vida de los residuos agrícolas. *El campo mercurio*. 2(3),1-8.
- Benavides, O. (2013). *Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para el cultivo de orellanas (Pleurotus ostreatus)* (Doctoral dissertation, Universidad de Nariño).
- Berbee, M.L., Taylor, J.W. 2010. Dating the molecular clock in fungi—how close are we? *Fungal*
- Bermúdez Lizarazo, E. F. (2019). Estudio de factibilidad para el cultivo de hongo (pleurotus sp) en la Finca Santa Elena del municipio de Suratá, Santander y comercialización en la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana.
- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas: Fundamento, desarrollo, aplicaciones*. México: Fondo de cultura económica.
- Bertoglio, O. (1993). *Introducción a la teoría general de sistemas*. México D.F, México: Limusa. *Biology Reviews* 24: 1-16
- Blanco, M. (2014). Modelo conceptual para la gestión de residuos sólidos urbanos en Colombia. *Revista de Tecnología*, 13 (3), 109-114.
- Cárdenas, R. C. A. (2017). *Valoración y crecimiento del cultivo de pleurotus ostreatus en cuatro sustratos generados a partir de procesos productivos agropecuarios, en el municipio de Malaga Santander*. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 4(1), 15-23.
- Cortés, C. M. (2018). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia*. U. Externado de Colombia.
- Doble, M., y Kumar, A. (2005). Chapter 26 - Treatment of Solid Waste. *Biotreatment of Industrial Effluents*, 267-274. doi: 10.1016/b978-075067838-4/50027-0
- Farrand, J. (2005). El marco teórico y la teoría de sistemas. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 7 (2), 230-248.
- Figueroa Galvis, H. A., & Lozada Cedeño, D. L. (2015). Evaluación de tres residuos lignocelulósicos para la producción de *Pleurotus ostreatus* bajo condiciones controladas en la finca Berlín, San Benito, Santander.
- Flórez García, J. A. (2008). Control biológico de nemátodos fitoparásitos en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum*) con micelio de hongos del género *Pleurotus* y hongos micorrízicos.
- García G.J. (2009). Consideraciones básicas sobre la agricultura sostenible. *Acta Académica*, 44(Mayo), 115-135. Recuperado a partir de https://www.researchgate.net/publication/347772160_Consideraciones_basicas_sobre_la_agricultura_sostenible_1

- García R. M. (1985). Nuevas técnicas de cultivo de *Pleurotus ostreatus*. Hojas divulgadoras Núm 8/85 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- García, F.E., Medina, E.J., Martínez, P.Z., & Valencia, B.X. (2012). Hongos Seta (*Pleurotus ostreatus*): producción y comercialización.
- Gómez Rueda D. C. y Parra Cepeda J. M. (2013). *Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas en Santander: “cacao, cítricos, fique y tomate”* [Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander].
- González, D. E., Ortiz, J. E., Mejía, Y., García-Alzate, L. S., & Cifuentes-Wchima, X. (2020). Evaluación de la biomasa residual (cereza) de café como sustrato para el cultivo del hongo comestible *Pleurotus ostreatus*. *Revista Ion*, 33(1), 93-102.
- Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1247>
- Guzmán G. y R. J. Hirata (1982). Perspectivas Sobre el Cultivo de los Hongos Comestibles en los Trópicos de México. 1er. Congreso Nacional de Micología, Xalapa Ver. <https://sired.udenar.edu.co/2527/1/89544.pdf>
- Leal L. H. (1985). La Utilización Microbiológica de Desperdicios Lignocelulósicos. Potencialidades y Perspectivas. CONACYT, Mexico, D. F
- Manual del tomate, cámara de comercio de Bogotá. (2015). <https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/66b2c4b6-9953-40eb-b37e-fb5ec862dadd/content>
- Mejía Leal, A. F., & Velosa Anacona, J. Evaluación del bioestimulante ASCHO SECHA sobre el rendimiento y calidad de la producción en el cultivo de tomate Chonto Roble F1
- Miles P, Chang ST. (1999). Biología de las setas. Fundamentos básicos y acontecimientos actuales. Colombia: Instituto ZERI para Latinoamérica.
- Montenegro, I., & Stuardo, C. (2021). Introducción al cultivo de hongos comestibles.
- Morasky, R., y Amick, D. (1978). Social System Needs Assessment. Long Range Planning, 11 (2), 47-54. doi: 10.1016/0024-6301(78)90115-2
- Muñiz Izquierdo, M. (2022). *El cultivo de maíz (zea mays l.). plagas agrícolas. mancha de asfalto* (Doctoral dissertation, Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Agropecuarias).
- Obodai M., Cleland-Okine J. y Vowotor K. A. (2003). Comparative study on the growth and yield of *Pleurotus ostreatus* mushroom on different lignocellulosic by-products. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 30, 146-149. DOI: 10.1007/s10295-002-0021-1
- Ojeda, A., & Torrealba, N. (2001). Caracterización química y digestibilidad en ovinos de los residuos del procesamiento agroindustrial del tomate. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 35(4), 331-335. [b37e-fb5ec862dadd/content](https://bibliotecadigital.ccb.org.co/server/api/core/bitstreams/66b2c4b6-9953-40eb-b37e-fb5ec862dadd/content)

- Oliveira Vieira V., Almeida Conceição A., Raisal Barbosa Cunha J. et al. (2022). *A new circular economy approach for integrated production of tomatoes and mushrooms*. Saudi Journal of Biological Sciences, (29), 2756-2765. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.12.058>.
- Ortega A. B. (2012). Análisis Coste-Beneficio. *eXtoikos*, (5), 147-149.
- Piña-Guzmán, A. B., Nieto-Monteros, D. A., & Robles-Martínez, F. (2016). Utilización de residuos agrícolas y agroindustriales en el cultivo y producción del hongo comestible seta (*Pleurotus* spp.). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 141-151.
- Postemsky, P. D., & López Castro, R. I. (2016). Aplicaciones de sustrato residual del cultivo de hongos en la producción hortícola.
- Ramírez, R. F., Vargas, P. L., & Cardenas, O. (2020). La seguridad alimentaria: una revisión sistemática con análisis no convencional. *Espacios*, 41(45), 319-328.
- Salcedo, I. (2019). Viii. Diversidad taxonómica y funcional de los hongos. *Artikutza, naturaleza e historia* (pp. 404-429)
- Sánchez A., Esqueda M., Gaitán-Hernández R., Córdova A. y Coronado M. L. (2008). Uso potencial del rastrojo de tomate como sustrato para el cultivo de *Pleurotus* spp. *Rev. Mex. Micol.* 28, 17-24.
- Segura, A., Rojas, L., & Pulido, Y. (2020). Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos. *Revista espacios*, 41(17), 1-9.
- Silva, E. P. D., Silva, D. A. T. D., Rabello, C. B. V., Lima, R. B., Lima, M. B., & Ludke, J. V. (2009). Composição físico-química e valores energéticos dos resíduos de goiaba e tomate para frangos de corte de crescimento lento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38, 1051-1058.
- Taba, S., & Twumasi-Afriyie, S. (1997). Maíz.
- Villacis Chilibingua, S. E. (2022). *Aprovechamiento de residuos orgánicos obtenidos en invernaderos de la provincia de Tungurahua* (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Ingeniería Bioquímica).
- Villegas, I. B. (2022). *Lignonnanofibras de celulosa procedentes de residuos agrícolas para la formulación de envases alimentarios sostenibles y funcionales* (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA).
- Whitaker, R.H. 1969. New concepts of kingdoms of organisms. *Science* 163: 150-160

Apéndices

Apéndice A Tablas de parámetros de control de temperatura y humedad relativa

A continuación, las tablas presentan los valores medios semanales y diarios de la temperatura y humedad al interior del invernadero.

Valores medios semanales y diarios de la temperatura al interior del invernadero

Valores medios semanales y diarios de la temperatura al interior del invernadero

Semana (4 dic-10 dic)	Temperatura [°C]	Semana (11 dic-17 dic)	Temperatura [°C]	Semana (18 dic - 24 dic)	Temperatura [°C]
4	27,15	11	50,00	18	32,23
5	25,80	12	30,10	19	24,90
6	26,60	13	33,20	20	25,90
7	29,05	14	24,52	21	23,50
8	21,50	15	22,50	22	34,75
9	23,30	16	24,80	23	25,15
10	32,67	17	24,60	24	22,60
Promedio	26,58	Promedio	29,96	Promedio	27,00

Semana (25 dic - 31 dic)	Temperatura [°C]	Semana (1 dic- 7 ene)	Temperatura [°C]	Semana (8 ene-14 ene)	Temperatura [°C]
25	26,84	1	24,75	8	25,85
26	27,55	2	25,60	9	24,25
27	28,70	3	26,72	10	26,45
28	25,74	4	36,50	11	23,35
29	25,13	5	27,17	12	27,20
30	23,65	6	20,65	13	31,80
31	23,70	7	21,65	14	40,00
Promedio	25,90	Promedio	26,15	Promedio	28,41

Semana (15 ene -21 ene)	Temperatura [°C]
15	50,00

Valores medios semanales y diarios de la humedad relativa al interior del invernadero

Valores medios semanales y diarios de la humedad relativa al interior del invernadero

Semana (4 dic-10 dic)	Humedad relativa [%]	Semana (11 dic-17 dic)	Humedad relativa [%]	Semana (18 dic - 24 dic)	Humedad relativa [%]
4	48,50	11	83,00	18	80,25
5	52,33	12	62,00	19	82,50
6	61,50	13	67,75	20	82,00
7	54,00	14	72,75	21	81,60
8	80,00	15	86,00	22	81,00
9	87,00	16	77,00	23	86,00
10	75,67	17	72,50	24	78,00
Promedio	65,57	Promedio	74,43	Promedio	81,62

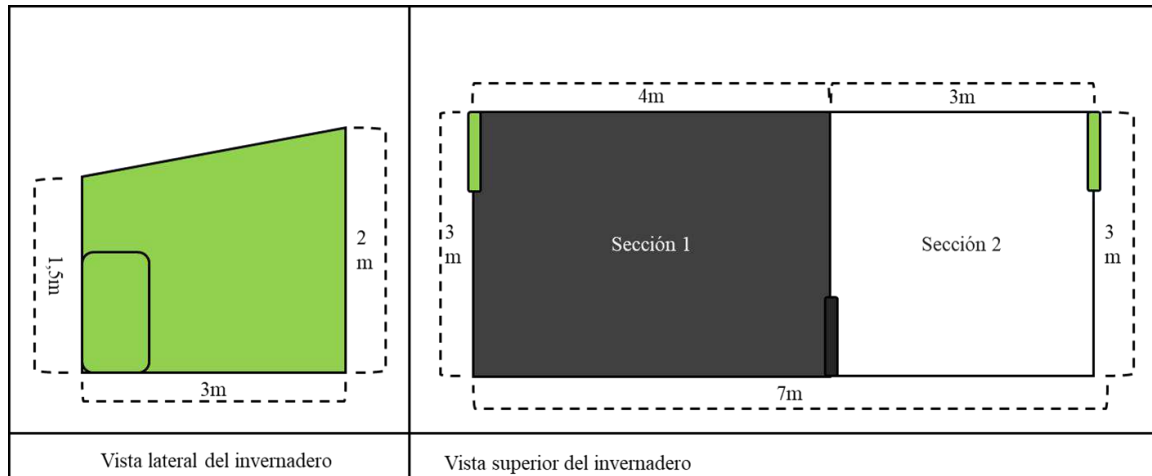
Semana (25 dic - 31 dic)	Humedad relativa [%]	Semana (1 dic- 7 ene)	Humedad relativa [%]	Semana (8 ene-14 ene)	Humedad relativa [%]
25	85,00	1	78,50	8	60,50
26	79,00	2	79,50	9	65,00
27	81,00	3	66,00	10	60,00
28	73,80	4	73,00	11	60,50
29	75,17	5	69,17	12	61,50
30	81,50	6	76,50	13	78,33
31	81,50	7	75,50	14	67,00
Promedio	79,57	Promedio	74,02	Promedio	64,69

Semana (15 ene -21 ene)	Humedad relativa [%]
15	70,00

Apéndice B Dimensiones del invernadero

A continuación, se presentan las dimensiones del invernadero usado en el estudio.

Dimensiones el invernadero para el estudio



Apéndice C Parámetros del termohigrómetro.

Parámetros del termohigrómetro

De sobremesa o de montaje de pared	
Temperatura	Humedad
Rango: -10° ~ 50 ° c	Rango: 20 ~ 95% RH
Precisión: ± 1° c	Precisión: ± 5% RH
Resolución: 0.1°c	Resolución: 1% RH
