

**DETERMINACION DE COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN *PLEUROTUS*
OSTREATUS CULTIVADO EN RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

DANIEL ALFONSO ARAÚJO ROMERO

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

**DETERMINACION DE COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN *PLEUROTUS*
OSTREATUS CULTIVADO EN RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS**

DANIEL ALFONSO ARAÚJO ROMERO

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Agroindustrial**

**Asesor:
M.s.C. OLGA LUCIA BENAVIDES CALACHE**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
SAN JUAN DE PASTO
2014**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en este Trabajo de Grado son Responsabilidad de los autores.

Artículo 1 del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Concejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Noviembre de 2014

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	8
ABSTRACT	8
INTRODUCCION	9
MATERIALES Y METODOS	11
RESULTADOS Y DISCUSION.....	14
CONCLUSIONES	24
RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFIA.....	26

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción de tratamientos de estudio	13
Tabla 2: Variación de la eficiencia biológica de cultivo de <i>P. Ostreatus</i>	14
Tabla 3: Resultados de variables fenológicas de <i>P. Ostreatus</i>	16
Tabla 4: Resultados de fructificaciones por tratamiento de <i>P. Ostreatus</i>	17
Tabla 5: Resultados de variables morfológicas de <i>P. Ostreatus</i>	19
Tabla 6: Resultados de rendimiento y pérdidas de proceso	21
Tabla 7. Costos de producción y Rentabilidad en cada sustrato para el cultivo de <i>P. ostreatus</i> en ambas cosechas.	23

LISTA DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfico 1: Eficiencia biológica de <i>P. Ostreatus</i>	15
Gráfico 2: Precocidad y tiempo a cosechas en el cultivo de <i>P. Ostreatus</i>	17
Gráfico 3: Número de fructificaciones de <i>P. Ostreatus</i>	18
Gráfico 4: Variables morfológicas de <i>P. Ostreatus</i> en Cosecha 1 y 2	19
Gráfico 5: Pérdidas de proceso en <i>P. Ostreatus</i>	22

DETERMINACION DE COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN *Pleurotus ostreatus* CULTIVADO EN RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS

DETERMINATION OF YIELD COMPONENTS IN *Pleurotus ostreatus* GROWN IN WASTE LIGNOCELULÓSICOS

Daniel Araújo R¹

1: Estudiante de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Nariño, Pasto.

RESUMEN

En este estudio se determinó los componentes de rendimiento de *P. ostreatus* y su variación al ser cultivado en distintos sustratos elaborados con residuos lignocelulósicos de origen nariñense. Para ello se emplearon seis sustratos, tres de ellos preparados individualmente con pulpa de café, bagazo de fique y raquis de palma de aceite, respectivamente; mientras que los otros tres fueron enriquecidos con 30% de granza de avena. Adicionalmente, se utilizó un tratamiento testigo de granza de avena. Según el análisis estadístico ($P < 0,05$), los mejores componentes de rendimiento se presentaron en el testigo (T7) con una eficiencia biológica acumulada (EBA) de 407,65%, un rendimiento total de 122,29% y el menor tiempo en aparición de primordios ($P = 17,67$ Días) además de la mayor rentabilidad económica (122%) seguido del tratamiento con raquis de palma en mezcla con granza de avena T6. Por su parte, el tratamiento con bagazo de fique T3, mostró los componentes de rendimiento más bajos, con EBA de 59,67%, Precocidad de 64 Días y una rentabilidad económica nula. Los mayores promedios de diámetros de sombrero con diferencias estadísticamente significativas se presentaron en el tratamiento con pulpa de café T1 con valores entre 4,19 y 4,80 cm.

PALABRAS CLAVE: *Pleurotus ostreatus*, componentes de rendimiento, granza de avena, pulpa de café, bagazo de fique, raquis de palma de aceite.

ABSTRACT

In this study was determined the yield components of *P. ostreatus* grown in substrates made with lignocellulosic waste origin of Nariño. For this we used six substrates, three of them individually prepared with coffee pulp, fique bagasse and rachis of palm oil, respectively; while the other three were enriched with 30% of chaff of oats. Additionally it was used a witness of chaff of oats which showed the best yield components (ABE= 407.65 %, RT= 122.29 %), the less time spent on emergence of primordia ($P = 17.67$ days) and the economic profitability more high (122 %) followed by treatment with rachis of palm in mixed with chaff of oats. For its part, the treatment with fique T3 , showed the yield components more low, with ABE of 59.67 and the higher precocity among treatments (64

days). The larger diameters of hat is presented in the treatment with coffee pulp T1, with values between 4.19 and 4.80 cm.

KEY WORDS: *Pleurotus ostreatus*, yield components, chaff of oats, coffee pulp, fique bagasse, rachis of palm oil.

INTRODUCCION

La problemática de esta investigación se limitó específicamente al departamento de Nariño, región en la cual se generan grandes volúmenes de residuos o desechos lignocelulósicos como resultado de la actividad agrícola de los cultivos de fique, café y palma de aceite. Estos residuos generalmente, no reciben un tratamiento adecuado y son dispuestos en el mismo sitio de cultivo o en la fuente de agua más cercana ocasionando problemas de contaminación ambiental, además porque en su composición presentan celulosa, lignina y hemicelulosa, lo que dificulta su rápida degradación.

Los materiales lignocelulósicos son muy abundantes en el planeta, siendo generados en gran proporción como residuos de la actividad agrícola y agroindustrial que en muchas ocasiones no disponen de algún tratamiento o disposición adecuada y se convierten en contaminantes de fuentes hídricas y del medio ambiente, principalmente en sectores donde la economía se basa en la agricultura. Por tal razón, en los últimos años se ha intensificado el aprovechamiento de residuos tales como, el aserrín, rastrojos de cereales, la pulpa y hojas de café, residuos de frutas, entre otros. Para contrarrestar los efectos nocivos que su acumulación produce, se han desarrollado varios procesos biotecnológicos que utilizan estos desechos para la producción de alcohol, enzimas, ácidos orgánicos, extractos naturales y **hongos comestibles**, generando productos con valor económico y contribuyendo de esta manera a cuidar al medio ambiente (Baldrian y Valásková, 2008).

Estos materiales lignocelulósicos constituyen una excelente biomasa para el crecimiento de diferentes hongos superiores. Estos organismos cumplen un rol importante, ya que presentan un sistema enzimático específico que puede descomponer sustancias poliméricas de los materiales lignocelulósicos, tal como lignina, celulosa y hemicelulosa, que no pueden ser degradadas por la mayoría de los otros organismos presentes en los diferentes ecosistemas (Papinutti, 2003). Un ejemplo de ellos es *Pleurotus ostreatus* que es un tipo de hongo comestible capaz de degradar materiales lignocelulósicos y es susceptible de cultivo sobre sustratos preparados. Su cultivo está en auge en algunos países como España, Italia o Francia, y es de gran importancia económica. En Colombia podría ser no sólo una alternativa de alimentación con producción amigable al medio ambiente y a bajo costo, sino una oportunidad de generar nuevos productos y mercados, aún más, si se tiene en cuenta que la producción de residuos agrícolas y agroindustriales en los países en desarrollo, se calcula alrededor de 2.500 millones de toneladas al año. (Montoya, 1997)

Nariño en el año 2011 presentó una superficie cultivada de 6518 ha de fique (*Furcraea sp.*) con un rendimiento de 1.50 ton/ha/año. Actualmente, 22 municipios del departamento están dedicados al cultivo de fique buscando comercializar la fibra larga. Su proceso de

transformación permite obtener la fibra que representa el 4% de la planta, derivado que es el único aprovechado en la actualidad, el restante 96% que se obtiene está compuesto por jugo y bagazo. Estos desechos agrícolas se convierten en un problema ambiental a causa de su naturaleza química y a su lenta biodegradación tan pronto se producen. Estos biosólidos por lo general son dispuestos sobre los suelos sin recibir algún tratamiento, ya que el proceso de desfibrado se realiza en el mismo sitio del cultivo, generando problemas ambientales como la atracción de moscas, la contaminación de fuentes de agua superficial por escorrentía o aguas subterráneas por filtración y lixiviación (Cadefique, 2006) o la contaminación del aire por la emanación de gases cuando estos residuos son sometidos a quemas indiscriminadas (Aubert, C., 1998).

Por su parte, los residuos sólidos de café (*Coffea arabica*), obtenidos durante el proceso de transformación de café cereza a café pergamino seco, cuando alcanzan las fuentes de agua pueden generar cerca de 114g de contaminación en términos de DQO/kg de cereza. La cantidad de café pergamino producido en el municipio de la Unión (Nariño) es de 5.620 t/año, lo que genera un valor cercano a 21 millones de kilogramos de residuos sólidos/año, que por lo general son vertidos a los ríos o nacimientos de agua (Rebolledo y Vento, 2004).

De la industria de café se produce un residuo conocido como pulpa de café con un porcentaje de lignina de 36.89% (Houbron, *et al.*, 2007), cuyo manejo a menor escala se puede dar con facilidad.

Por otra parte, la explotación de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Colombia genera residuos ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, luego del proceso de desfrutado y extracción del aceite.

Algunos de los residuos sólidos generados en la industria de la palma de aceite, son los llamados “raquis” o “racimos vacíos” con un alto contenido de lignina con un porcentaje de 21.89% (Wanrosli, 2007). Por cada tonelada de frutos procesados quedan de 0.2-0.25 toneladas de “raquis” (Saletes, *et al.*, 2004). En cuanto a los residuos generados en el proceso de extracción del aceite de palma, éstos son de gran importancia por su composición química. En términos generales, del 100% del racimo de fruta fresca de palma de aceite es posible obtener entre 17,7 a 26,1% de tusas (raquis) vacías; de 11,6 a 15% de fibras y de 5 a 7% de cuesco. De estos residuos, las fibras son empleadas dentro del proceso de extracción para la generación de vapor, el cuesco presenta un potencial interesante para la elaboración de carbón activado y materiales de construcción; y las tusas (que representan el mayor porcentaje de residuos sólidos) tienen mayor potencial para la elaboración de bioabono o biocombustible (Fedepalma, 2009).

El objetivo de este estudio fue determinar los componentes de rendimiento de cultivo del hongo “*Pleurotus ostreatus*” en diferentes sustratos preparados a base de residuos lignocelulósicos con pulpa de café, bagazo de fique y raquis de palma de aceite.

MATERIALES Y METODOS

OBTENCIÓN, TRANSPORTE Y PRETRATAMIENTO DE MATERIALES

El bagazo de fique, fue adquirido de cultivos ubicados en el municipio de El Tambo, el raquis de palma de aceite del municipio de Tumaco, la pulpa de café del municipio de La Unión y la granza de avena en la ciudad de Pasto, en Nariño. En cada caso, se recolectó muestras frescas que se mezclaron entre sí. Posteriormente, se realizó el cuarteo para obtener una muestra representativa que sirvió en la obtención de cada sustrato.

Las muestras se transportaron hasta la Universidad de Nariño, donde fueron sumergidas en agua con el fin de lavar impurezas, tierra o insectos. Posteriormente, los materiales se escurrieron y se secaron al ambiente. Los materiales secos se picaron usando una máquina picadora de forraje, hasta obtener un material con tamaño promedio de partícula de 2 cm (Varnero, *et al.*, 2010). Se incorporó agua hasta obtener el 70% de humedad (Rodríguez y Gómez, 2001). Estos materiales se esterilizaron por 1 hora a 121°C, en autoclave y luego se dejaron enfriar. Los sustratos estériles se llenaron en bolsas limpias de polipropileno en un ambiente libre de contaminaciones, hasta completar 500 g por cada bolsa.

SIEMBRA Y COSECHA

Los sustratos se inocularon con micelio comercial de *Pleurotus ostreatus*, en razón del 2%, además todos los sustratos se acondicionaron con 2% de carbonato de calcio y 1% de sulfato de amonio (Benavides, 2013). Posteriormente, se cerraron las bolsas en la parte superior y se realizó una perforación en la bolsa para permitir el intercambio gaseoso del sistema biológico.

Las bolsas de los sustratos inoculadas se situaron en estantes ubicados al interior de un invernadero. El ambiente se mantuvo aireado y se humedeció constantemente, la temperatura ambiente osciló entre 15 y 22°C. Cuando se observó que los sustratos estuvieron completamente colonizados se abrieron las bolsas. El medio ambiente se conservó aireado y fresco, se humedeció el sitio de cultivo cada 3 o 4 horas para mantener una humedad relativa entre el 80 y 90%. Se mantuvo una temperatura entre 15 y 20°C. Se hizo un seguimiento diario hasta la aparición y crecimiento de las setas. Los hongos estuvieron listos para la cosecha cuando sus bordes exteriores se doblaron hacia arriba, adquiriendo una forma cóncava. Se realizó la cosecha haciendo torsión cuidadosa del estípite de las setas, se limpiaron de residuos de sustrato, luego se pesaron y se les determinó los componentes de rendimiento.

COMPONENTES DE RENDIMIENTO

Los componentes de rendimiento del cultivo que se calcularon se indican a continuación:

Eficiencia biológica: Se pesaron los hongos cosechados. Se tuvo en cuenta el peso del sustrato en base seca y se hizo uso de la ecuación 1

$$Eficiencia\ biol\ ogica = \frac{Peso\ cuerpos\ fructiferos\ cosechados}{Peso\ inicial\ de\ sustrato\ seco} * 100 \quad (Ecuacion\ 1)$$

Rendimiento: Se pesaron los hongos cosechados. Se tuvo en cuenta el peso del sustrato en base húmeda y utilizó la ecuación 2

$$Rendimiento = \frac{Masa\ de\ hongos}{Masa\ de\ sustrato\ húmedo} * 100 \quad (Ecuacion\ 2)$$

Pérdidas del proceso: Para cada tratamiento, se determinó el número de unidades improductivas con respecto al número total de unidades inoculadas. Para su cálculo se hizo uso de la ecuación 3

$$P\ erdidas\ del\ proceso = \frac{No.\ de\ bolsas\ improductivas}{No.\ de\ bolsas\ inoculadas} \quad (Ecuacion\ 3)$$

No. fructificaciones/tratamiento: Se determinó el número total de hongos generados en cada tratamiento

Precocidad: Se registró el tiempo transcurrido desde la siembra hasta la aparición de los primordios.

Tiempo a cosecha: Es el tiempo transcurrido desde la siembra del hongo hasta la cosecha.

Medidas biométricas del carpóforo: Se midieron los valores de Diámetro del sombrero y Longitud de estípite de los hongos cosechados en cada tratamiento.

ANALISIS ESTADISTICO

El diseño experimental utilizado fue el diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) correspondiente a 7 tratamientos, con 3 repeticiones cada uno. Los tratamientos utilizados se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de tratamientos de estudio

TRATAMIENTO	DESCRIPCION
T1	Sustrato de Pulpa de café
T2	Sustrato de Pulpa de café enriquecido con 30% de Granza de avena
T3	Sustrato de Bagazo de fique
T4	Sustrato de Bagazo de fique enriquecido con 30% de Granza de avena
T5	Sustrato de Raquis de palma
T6	Sustrato de Raquis de palma enriquecido con 30% de Granza de avena
T7	Sustrato de Granza de avena (Tratamiento Testigo)

Fuente. Este estudio

El modelo estadístico aplicado fue:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Balzarini, et al., 2008}).$$

Como variables de respuesta experimental, se obtuvo los componentes de rendimiento del cultivo enunciados anteriormente. El análisis de los promedios fue realizado con Fischer (P=0,05). El análisis estadístico se efectuó mediante el uso del paquete estadístico INFOSTAT V. 2012.

ANÁLISIS DE PRESUPUESTO PARCIAL

Se siguió la metodología del análisis de presupuesto parcial planteada por Perrin (1997). Donde se tuvo en cuenta principalmente los costos de mano de obra, los insumos y la adecuación del invernadero con lo que se pudo obtener los beneficios netos de cada uno de los tratamientos, los costos de producción y la rentabilidad. Se emplearon las siguientes ecuaciones:

Costos totales(\$)

$$= \text{Costos mano de obra} + \text{Costo insumos} + \text{Costo adecuación de invernadero} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Beneficio Bruto

$$= \text{Rendimiento } P. \text{ostreatus (kg)} * \text{Valor comercial (\$)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$\text{Beneficio Neto} = \text{Beneficio Bruto} - \text{Costos totales} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\text{Rentabilidad (\%)} = \frac{\text{Beneficio Neto}}{\text{Costos totales}} * 100 \quad (\text{Ecuación 7})$$

RESULTADOS Y DISCUSION

Se determinó los componentes de rendimiento de cultivo de *P. Ostreatus* en diferentes residuos lignocelulósicos. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Eficiencia Biológica (EB)

La Tabla 2 muestra las eficiencias biológicas obtenidas en la primera y segunda cosecha de *P. Ostreatus*, se puede observar que la eficiencia biológica de la primer cosecha es superior a la de la segunda en todos los tratamientos, este mismo fenómeno se observó en los resultados obtenidos por Benavides (2013), y Gaitán-Hernández, et al. (2009). Los valores más altos con diferencias significativas que arrojó el análisis estadístico para la cosecha 1 los presentaron los tratamientos T7 y T6, mientras que el mas bajo lo presentó T3. Por su parte, en la cosecha 2, los tratamientos con los valores de EB mas altos según el análisis Fischer ($P < 0,05$) los presentó T1, T2 y nuevamente el tratamiento testigo T7 y el valor mas bajo continuó presentandolo T3. La disminucion de eficiencia biológica entre la primera y segunda cosecha se atribuyen al desgaste o agotamiento de los nutrientes en el sustrato y a la foma en la que cada semilla logró adaptarse y asimilar los nutrientes (Rios, et al., 2010).

Tabla 2: Variación de la eficiencia biológica de cultivo de *P. Ostreatus*

TRATAMIENTO	EBC1 (%)	EBC2 (%)	EBA (%)
T1	173,75 ± 64,82 ^{bc}	98,84 ± 28,97 ^a	272,59
T2	252,37 ± 47,33 ^{ab}	85,63 ± 18,13 ^a	338,00
T3	49,59 ± 10,48 ^d	8,08 ± 4,50 ^c	57,67
T4	140,94 ± 43,19 ^c	38,23 ± 40,24 ^{bc}	179,17
T5	250,66 ± 56,28 ^{ab}	40,39 ± 15,66 ^{bc}	291,05
T6	312,99 ± 55,63 ^a	63,30 ± 14,06 ^{ab}	376,29
T7	326,41 ± 19,29 ^a	81,24 ± 15,91 ^a	407,65

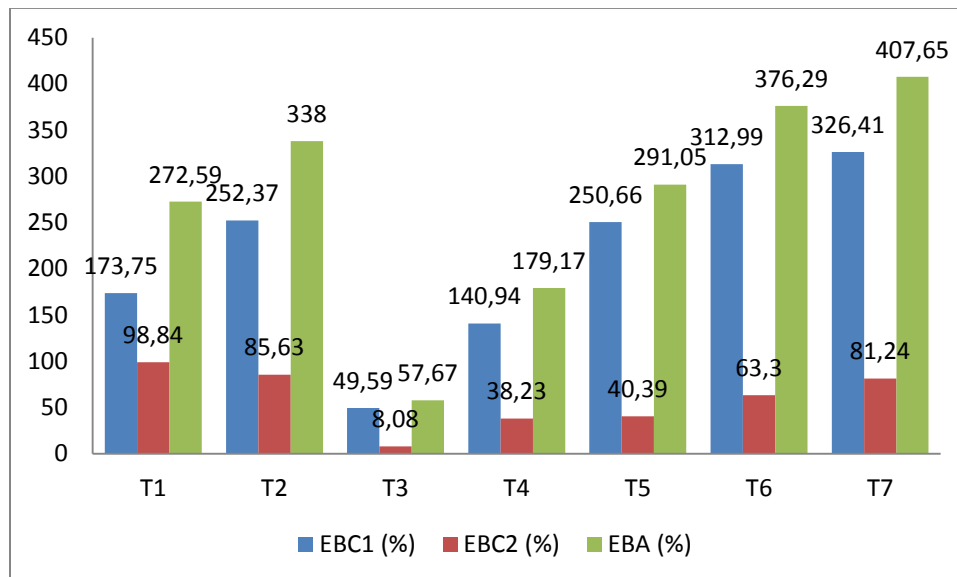
Fuente. Este estudio

EBC1: Eficiencia biológica cosecha 1. EBC2: Eficiencia biológica cosecha 2. EBA: Eficiencia biológica media acumulada. Datos expresados como media ± error estándar de tres repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.
(Prueba Fischer)

Es posible observar el comportamiento de la EBA en el Gráfico 1. Donde se muestra claramente en la eficiencia media acumulada que todos los tratamientos enriquecidos con la granza de avena (T2, T4 y T6) presentan mayores resultados de eficiencia biológica respecto a los tratamientos sin enriquecer (T1, T3 y T5) por lo cual se puede inferir que adicionar granza de avena a los sustratos puede resultar favorable en la producción y

cultivo de *P. Ostreatus*, aún así, ningún tratamiento superó la eficiencia biológica del testigo de granza de avena T7 el cual presentó una EBA de 407,65% lo cual se atribuye a que la granza de avena provee los requerimientos nutricionales necesarios y posee características físicas apropiadas para el crecimiento y desarrollo de *P. ostreatus*. Con estos resultados es posible corroborar lo escrito por Iqbal, et al. (2005) quien afirma que los residuos lignocelulosicos de cereales son los más adecuados residuos para el cultivo de este tipo de hongos. Seguido del tratamiento T6, que presentó una EBA de 376,29% y T2 con 338%. Los resultados concuerdan con lo reportado por Ramos (2007), quien encontró en su estudio la mejor eficiencia biológica en el sustrato con raquis de palma aceitera y lo clasificó como un sustrato adecuado para el cultivo de *P. Ostreatus* debido a que este sustrato en su composición presenta un alto contenido de lignina que facilita el desarrollo y adaptabilidad del hongo. El tratamiento con pulpa de café T1 presentó una EBA de 274%, en otro estudio, García, et al. (2011) reportó 168% de eficiencia biológica para el mismo sustrato, indicando así resultados alentadores para la producción de *P. Ostreatus* sobre pulpa de café. La eficiencia media acumulada más baja la presentó el tratamiento con bagazo de fique T3 con un valor de 57,67%, esto se debe a que este material posee un alto contenido de saponinas y fenoles que limita el acceso del hongo a los nutrientes. Sin embargo, todos los tratamientos presentaron eficiencias biológicas superiores al 50% que es el valor mínimo para considerar aceptable la calidad productiva de un sustrato (Garzón y Cuervo, 2008).

Gráfico 1: Eficiencia biológica de *P. Ostreatus*



Fuente. Este estudio

Variables Fenológicas

Los resultados obtenidos de las variables fenológicas Precocidad (P) y Tiempo de cosecha (T C1 y T C2) se indican en la Tabla 3.

La prueba de comparación de medias de Fischer ($P < 0,05$) mostró diferencias estadísticamente significativas para el testigo de granza de avena T7, que fue el tratamiento que mostró aparición de primordios en menor tiempo con un valor medio de Precocidad de 17,67 días, en concordancia con Névares (2012), que encontró en la paja de avena el menor periodo de tiempo de aparición de primordios entre los sustratos de su estudio y reportó una Precocidad de 31 días. La rápida adaptación del hongo se atribuye a la alta disponibilidad de carbohidratos solubles y al elevado contenido de nitrógeno presente en la granza de avena que le confiere óptimas condiciones como sustrato para el cultivo y desarrollo del hongo. Por otro lado, la prueba de Fischer mostró el periodo más largo de Precocidad con 33,67 días para el tratamiento con bagazo de fique T3, caso similar ocurrió con el Tiempo a cosecha, pues el análisis de medias arrojó diferencias estadísticamente significativas únicamente para el tratamiento T3 en ambas cosechas que presentó 64 días para la primera cosecha y 80 días para la segunda cosecha, mostrando los periodos más extensos desde la siembra hasta la cosecha. Lo anterior es atribuible a el alto contenido de sustancias complejas como las saponinas que pueden tener un efecto negativo para la invasión y colonización de *P. Ostreatus* sobre el material.

Tabla 3: Resultados de variables fenológicas de *P. Ostreatus*

TRATAMIENTO	P (días)	T C1 (días)	T C2 (días)
T1	21,67 ± 0,58 ^c	39,33 ± 1,15 ^b	74,00 ± 1,73 ^b
T2	20,33 ± 0,58 ^{de}	38,00 ± 0,00 ^b	74,33 ± 0,58 ^b
T3	33,67 ± 0,58 ^a	64,00 ± 0,00 ^a	80,00 ± 0,00 ^a
T4	26,33 ± 0,58 ^b	47,33 ± 14,47 ^b	76,33 ± 3,21 ^b
T5	20,67 ± 0,58 ^{cd}	38,00 ± 0,00 ^b	74,67 ± 1,53 ^b
T6	19,33 ± 0,58 ^e	38,67 ± 1,15 ^b	74,67 ± 2,08 ^b
T7	17,67 ± 0,58 ^f	38,00 ± 0,00 ^b	74,00 ± 1,00 ^b

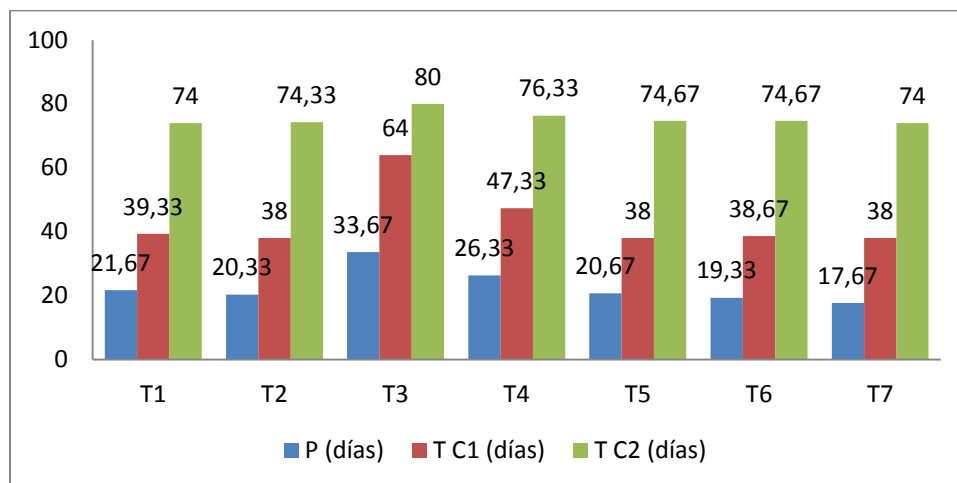
Fuente. Este estudio

P: Precocidad. T C1: Tiempo a cosecha 1. T C2: Tiempo a cosecha 2. Datos expresados como media ± error estándar de tres repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos.

(Prueba Fischer)

En el Gráfico 2 se observa el comportamiento de la Precocidad de todos los tratamientos, donde es posible notar que los tratamientos enriquecidos con la granza de avena presentan una reducción en el tiempo de aparición de primordios respecto a los tratamientos sin enriquecer, lo cual confirma una mejor asimilación de nutrientes y un mayor desarrollo o colonización en tratamientos enriquecidos con granza de avena, ya que algunas veces, las combinaciones de sustratos favorecen el mejor desarrollo de los hongos (Ramos, 2007).

Gráfico 2: Precocidad y tiempo a cosechas en el cultivo de *P. Ostreatus*



Fuente. Este estudio

Número de fructificaciones

Los valores medios del número de fructificaciones para cada una y la suma de las cosechas en los 7 tratamientos se muestra en la Tabla 4. Donde se puede notar que el número de fructificaciones de todos los tratamientos en la primera cosecha superan los de la segunda, este comportamiento en gran parte se debe al contenido de nutrientes presentes en el sustrato de cultivo, el cual es mayor en las primeras cosechas y disminuye progresivamente con las posteriores etapas del cultivo (Gaitán-Hernandez, et al., 2009).

Tabla 4: Resultados de fructificaciones por tratamiento de *P. Ostreatus*

TRATAMIENTO	NF C1 (unidad)	NF C2 (unidad)	NFT (unidad)
T1	46,00 ± 18,03 ^{de}	21,33 ± 5,51 ^{ab}	67,33
T2	81,33 ± 10,21 ^{bc}	24,67 ± 9,29 ^{ab}	106,00
T3	16,67 ± 4,72 ^e	5,67 ± 4,73 ^b	22,34
T4	64,67 ± 22,28 ^{cd}	21,67 ± 27,15 ^{ab}	86,34
T5	106,00 ± 17,00 ^{ab}	22,00 ± 11,27 ^{ab}	128
T6	126,00 ± 18,36 ^a	24,00 ± 3,46 ^{ab}	150
T7	109,00 ± 26,51 ^{ab}	30,33 ± 5,68 ^a	139,33

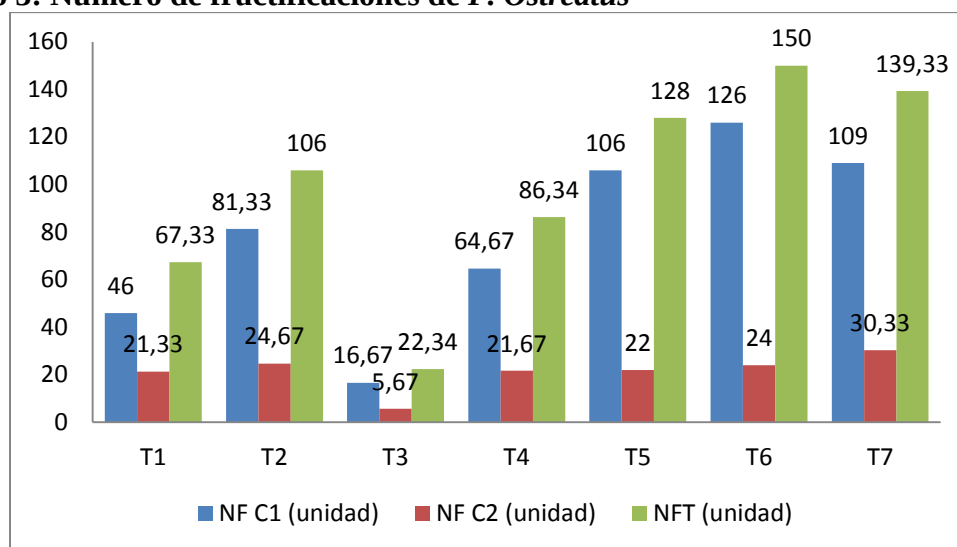
Fuente. Este estudio

NF C1: Media del número de fructificaciones en cosecha 1. NF C2: Media del número de fructificaciones en cosecha 2. NFT: Media del número de fructificaciones totales. Datos expresados como media ± error estándar de tres repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. (Prueba Fischer)

El análisis estadístico arrojó que el tratamiento T6 de raquis de palma en mezcla con granza de avena presentó el mayor número de fructificaciones entre los tratamientos, por encima del tratamiento testigo, lo que demuestra que el raquis de palma es un material con potencial para el cultivo de este tipo de hongo que se ve notablemente mejorado con la adición de granza de avena. Por otro lado, el tratamiento que presentó diferencias significativas con el menor número de fructificaciones fue T3, mostró un promedio de 22,34 fructificaciones, en contraste con Benavides (2013), quien reportó un total de 49 fructificaciones para el mismo sustrato.

El Gráfico 3 permite observar la misma relación ocurrida en la eficiencia biológica y las variables fenológicas, donde los tratamientos que contienen granza de avena superan a los tratamientos que no la contienen, reafirmando que los residuos de cereales son capaces de optimizar las condiciones físicas del sustrato evitando la compactación y favoreciendo el intercambio gaseoso que mejora el tiempo de colonización, eficiencia biológica y número de fructificaciones (Ruihong, et al., 2002).

Gráfico 3: Número de fructificaciones de *P. Ostreatus*



Fuente. Este estudio

Medidas biométricas: Diámetro del Sombrero (DS) y Longitud de Estipite (LE)

Los resultados de las medidas biométricas se calcularon para los hongos que alcanzaron la madurez. Las medias arrojadas por el análisis de varianza se consignaron en la Tabla 5 para ambas cosechas.

La prueba de comparación de medias de Fischer no mostró diferencias significativas para LE en la primera cosecha pero si en DS, indicando que en el tratamiento T1 se obtuvieron las setas con mayor diámetro de sombrero.

No se presentó diferencias significativas para DS en la cosecha 2, pero en LE, las medias estadísticamente diferentes que indicó la prueba de Fischer estuvieron en el tratamiento de pulpa de café en mezcla con granza de avena T2 que presentó los mayores valores de LE y por otro lado T3 con los menores valores.

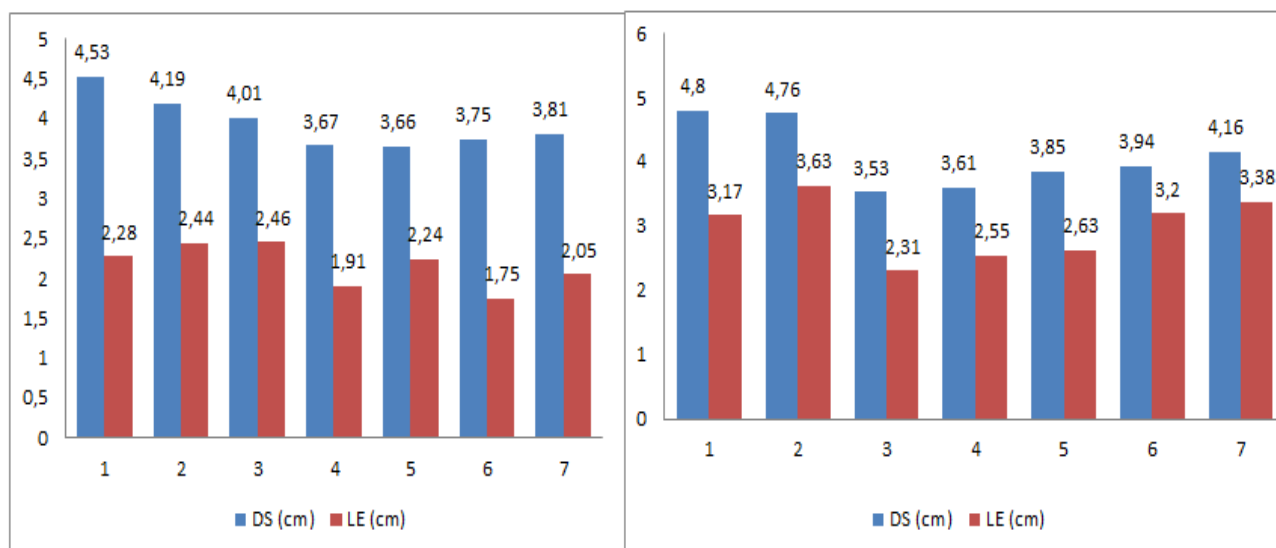
Tabla 5: Resultados de variables morfológicas de *P. Ostreatus*

TRATAMIENTO	Cosecha 1		Cosecha 2	
	DS (cm)	LE (cm)	DS (cm)	LE (cm)
O				
T1	4,53 ± 0,40 ^a	2,28 ± 0,40 ^a	4,80 ± 0,37 ^a	3,17 ± 1,00 ^{abc}
T2	4,19 ± 0,23 ^{ab}	2,44 ± 0,42 ^a	4,76 ± 1,36 ^a	3,63 ± 0,36 ^a
T3	4,01 ± 0,69 ^{ab}	2,46 ± 0,31 ^a	3,53 ± 0,83 ^a	2,31 ± 0,26 ^c
T4	3,67 ± 0,22 ^b	1,91 ± 0,11 ^a	3,61 ± 1,31 ^a	2,55 ± 0,81 ^{bc}
T5	3,66 ± 0,11 ^b	2,24 ± 0,92 ^a	3,85 ± 0,49 ^a	2,63 ± 0,27 ^{abc}
T6	3,75 ± 0,12 ^b	1,75 ± 0,21 ^a	3,94 ± 0,52 ^a	3,20 ± 0,42 ^{abc}
T7	3,81 ± 0,10 ^b	2,05 ± 0,25 ^a	4,16 ± 0,18 ^a	3,38 ± 0,43 ^{ab}

Fuente. Este estudio

DS: Diámetro del sombrero. LE: Longitud de estípite. Datos expresados como media ± error estándar de tres repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. (Prueba Fischer)

Gráfico 4: Variables morfológicas de *P. Ostreatus* en Cosecha 1 y 2



Fuente. Este estudio

No todas las orellanas tienen el mismo tamaño, según Ramos (2007), las orellanas pueden clasificarse en tres grados diferentes:

Grande (large): Diámetro del sombrero mayor a 8 cm

Mediano (médium): Diámetro entre 4 y 8 cm

Pequeño (small): Diámetro menor que 4 cm

En el Gráfico 4 se observa que en los tratamientos con pulpa de café individual o mezclado con granza de avena (T1 y T2) se presentaron los tamaños más grandes de las setas, sin embargo ningún valor obtenido en este estudio superó los valores reportados de medidas biométricas por Ramos, et al. (2011) quien cultivó *P. Ostreatus* sobre paja de trigo y obtuvo valores de 5,67 cm para DS y 1,90 para LE.

Según la clasificación anterior, únicamente los hongos cultivados en los tratamientos T1 y T2 se catalogan dentro del rango Mediano (médium) y los tratamientos restantes dentro del rango Pequeño (small). Ningún tratamiento presentó tamaños registrables en el rango Grande (large). Lo anterior es favorable si se desea llevar el estudio a un nivel comercial y así segmentar un mercado de acuerdo a las especificaciones de tamaño requeridas, sin embargo, para la comercialización es más importante el peso que el tamaño. Los consumidores prefieren generalmente sólo los sombreros y que en lo posible pesen menos de 70 g. Los pies de las setas suelen rechazarse por su textura y sabor, estos junto con los ejemplares de apariencia no comercial pueden destinarse a la preparación de sopas, salsas o platos preparados con sabor a setas (García, 1985).

Rendimiento y Pérdidas de proceso

Los rendimientos obtenidos para cada una y la suma de las cosechas, así como las pérdidas en el proceso se pueden observar en la Tabla 6. El parámetro de rendimiento está correlacionado directamente con la eficiencia biológica, por tal razón, los tratamientos T7 y T6 que tuvieron las EBA más altas, son los mismos que presentaron el rendimiento más alto, evidenciando al raquis de palma de aceite y la granza de avena como materiales lignocelulósicos viables para el cultivo de *P. Ostreatus*. Caso contrario ocurre con el sustrato preparado con bagazo de fique, el cual presentó la EBA y el Rendimiento más bajo entre los tratamientos, este material requiere un estricto y riguroso lavado para eliminar la mayor cantidad posible de sustancias que puedan retrasar o impedir el crecimiento del hongo. Por otro lado, Los tratamientos con pulpa de café tanto individualmente como en mezcla con granza de avena, presentaron rendimientos totales superiores al 80% lo cual es un rendimiento aceptable para la producción de *P. ostreatus* de acuerdo con Garzón y Cuervo (2008), que reportó a los residuos de café como el mejor de los sustratos de cultivo en su estudio debido a la facilidad de adaptación y de crecimiento de *P. Ostreatus*.

Tabla 6: Resultados de rendimiento y pérdidas de proceso

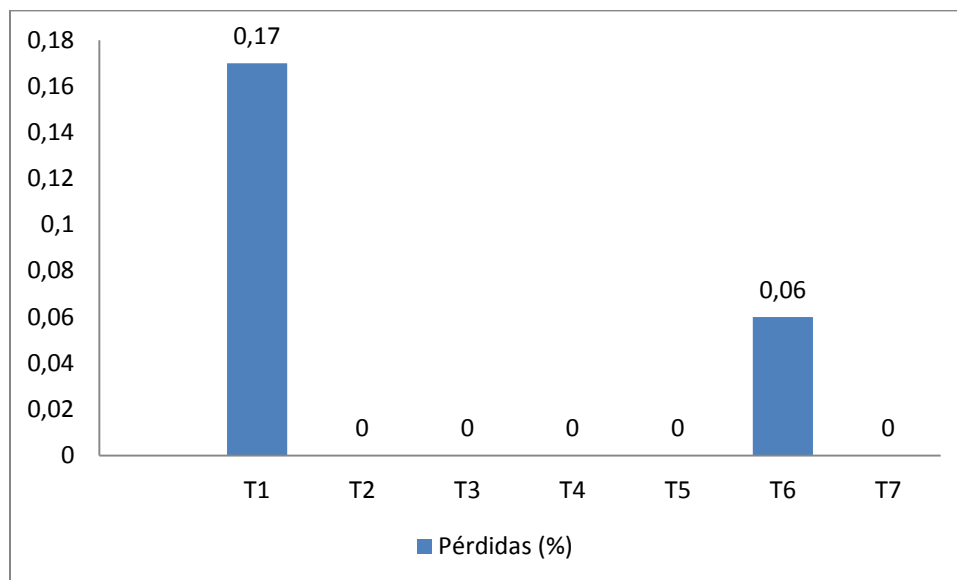
TRATAMIENT O	R C1 (%)	R C2 (%)	RT (%)	Pérdidas (%)
T1	52,13 ± 19,44 ^{bc}	29,65 ± 8,69 ^a	81,78	0,17 ± 0,04 ^a
T2	75,71 ± 14,20 ^{ab}	25,69 ± 5,44 ^a	101,4	0,00 ± 0,04 ^b
T3	14,88 ± 3,14 ^d	2,42 ± 1,35 ^c	17,3	0,00 ± 0,04 ^b
T4	42,28 ± 12,96 ^c	11,47 ± 12,07 ^{bc}	53,75	0,00 ± 0,04 ^b
T5	75,20 ± 16,88 ^{ab}	12,12 ± 4,70 ^{bc}	87,32	0,00 ± 0,04 ^b
T6	93,90 ± 16,69 ^a	18,99 ± 4,22 ^{ab}	112,89	0,06 ± 0,04 ^{ab}
T7	97,92 ± 5,79 ^a	24,37 ± 4,77 ^a	122,29	0,00 ± 0,04 ^b

Fuente. Este estudio

R C1: Media del rendimiento en cosecha 1. R C2: Media del rendimiento en cosecha 2. RT: Media del número de fructificaciones totales. Datos expresados como media ± error estándar de tres repeticiones. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos. (Prueba Fischer)

En el Gráfico 5 se muestra las pérdidas de proceso. Como se observa, únicamente se presentaron Pérdidas en el tratamiento T1 (0,17%) y T6 (0,06%). Estos valores afectaron minimamente los resultados de eficiencia biológica, rendimiento ó número de fructificaciones. Las bolsas improductivas de estos tratamientos se caracterizaron por estar totalmente invadidas de micelio pero no presentaron ninguna fructificación, una posible causa es la compactación del sustrato que no permite una buena aireación y drenaje que impiden la fructificación correcta del hongo. Es normal que algunas bolsas se contaminen o no sean productivas, pero máximo se debe permitir hasta el 10% de pérdidas y/o contaminación en el proceso (Ward, 1989). El rendimiento y la pérdida del proceso son importantes porque permiten determinar la rentabilidad del cultivo (Rodríguez y Jaramillo, 2005).

Gráfico 5: Pérdidas de proceso en *P. Ostreatus*



Fuente. Este estudio

ANÁLISIS DE PRESUPUESTO PARCIAL

La Tabla 7 muestra los resultados del análisis de presupuesto parcial donde se observa que el testigo T7 indicó el mayor beneficio neto, por ende, la mayor rentabilidad con un 123%, seguido de T6 y T2 con 106 y 85%, respectivamente. Los cálculos se realizaron teniendo en cuenta los rendimientos obtenidos en esta investigación para un total de 2 cosechas.

La rentabilidad en este estudio resulta más alta respecto a la obtenida por Albarracin, et al. (2011), que obtuvo una rentabilidad de 105% de *P. osteratus* cultivado en bagazo de caña, estas rentabilidades resultan relativamente altas para esquemas de agricultura empresarial, pero cuando se trata de negocios de pequeña escala desarrollados en esquemas de agricultura básicas se puede considerar como una rentabilidad normal o moderada. Por otro lado, los tratamientos T3 y T4 indicaron pérdidas, por lo cual según éste estudio, se consideran tratamientos no rentables económicamente.

Tabla 7. Costos de producción y Rentabilidad en cada sustrato para el cultivo de *P. ostreatus* en ambas cosechas.

ACTIVIDAD	TRATAMIENTOS													
	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
COSTOS DE PRODUCCION	Uni d	Costo (\$)	Unid	Costo (\$)	Uni d	Costo (\$)	Uni d	Costo (\$)	Uni d	Costo (\$)	Uni d	Costo (\$)	Uni d	Costo (\$)
Mano de obra (Jornales)														
Adecuación del lugar	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000
Pretratamiento del sustrato	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000
Siembra	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000	2	30.000
Inspección	3	45.000	3	45.000	3	45.000	3	45.000	3	45.000	3	45.000	3	45.000
Cosecha	4	60.000	4	60.000	4	60.000	4	60.000	4	60.000	4	60.000	4	60.000
Mano de obra total (\$)	\$ 195.000		\$ 195.000		\$ 195.000		\$ 195.000		\$ 195.000		\$ 195.000		\$ 195.000	
Insumos														
Semilla (kg)	1	9.500	1	9.500	1	9.500	1	9.500	1	9.500	1	9.500	1	9.500
Carbonato de Calcio (kg)	1	2.000	1	2.000	1	2.000	1	2.000	1	2.000	1	2.000	1	2.000
Sulfato de Amonio (kg)	0.5	1.000	0.5	1.000	0.5	1.000	0.5	1.000	0.5	1.000	0.5	1.000	0.5	1.000
Bolsas de Polipropileno	100	5.000	100	5.000	100	5.000	100	5.000	100	5.000	100	5.000	100	5.000
Insumos total (\$)	\$ 17.500		\$ 17.500		\$ 17.500		\$ 17.500		\$ 17.500		\$ 17.500		\$ 17.500	
Invernadero (\$)														
Guaduas	6	24.000	6	24.000	6	24.000	6	24.000	6	24.000	6	24.000	6	24.000
Plástico calibre 8	1	35.000	1	35.000	1	35.000	1	35.000	1	35.000	1	35.000	1	35.000
Estantes	2	50.000	2	50.000	2	50.000	2	50.000	2	50.000	2	50.000	2	50.000
Grapas	30	8.000	30	8.000	30	8.000	30	8.000	30	8.000	30	8.000	30	8.000
Invernadero total (\$)	\$ 117.000		\$ 117.000		\$ 117.000		\$ 117.000		\$ 117.000		\$ 117.000		\$ 117.000	
Rendimiento (%)														
Rendimiento (%)	81,78		101,4		17,3		53,75		87,32		112,89		122,29	
COSTOS TOTALES (\$)														
COSTOS TOTALES (\$)	\$ 329.500		\$ 329.500		\$ 329.500		\$ 329.500		\$ 329.500		\$ 329.500		\$ 329.500	
BENEFICIO BRUTO (\$)	\$ 490.680		\$ 608.400		\$ 103.800		\$ 322.500		\$ 523.920		\$ 677.340		\$ 733.740	
BENEFICIO NETO (\$)	\$ 161.180		\$ 278.900		\$ -225.700		\$ -7.000		\$ 194.420		\$ 347.840		\$ 404.240	
RENTABILIDAD (%)	49		85		--		--		59		106		123	

Fuente. Este estudio

CONCLUSIONES

Se logró determinar los componentes de rendimiento en *P. ostreatus* cultivado en diferentes residuos lignocelulósicos provenientes de cultivos nariñenses y se obtuvo, como tratamiento más eficiente al testigo con granza de avena T7 (EBA= 407,65%. P=17,67 días. RT=122,20%) el cual también presentó la mayor rentabilidad (123%).

El mejor tratamiento de mezcla con granza de avena fue T6: Raquis de palma y granza de avena en proporción 70:30 que mostró una eficiencia biológica acumulada (EBA) de 376,29%, una Precocidad media (P) de 19,33 días y un rendimiento total (RT) de 112,89%, además de una rentabilidad del 106%.

En el tratamiento con pulpa de café (T1) se desarrollaron las setas con mayor diámetro de sombrero con un promedio de 4,53 cm.

Esta investigación es de gran importancia en la agroindustria ya que se expone una alternativa de tipo productivo/ambiental para el aprovechamiento de residuos como sustratos para el crecimiento de hongos comestibles y medicinales de alto valor agregado.

RECOMENDACIONES

Realizar la determinación química de saponinas presentes en el bagazo de fique antes y después del pretratamiento para garantizar que su concentración no afecte la producción de setas dado su propiedad fungicida.

Efectuar la determinación de componentes de rendimiento empleando los mismos sustratos pero con otro tipo de hongos comerciales.

Hacer un estudio bromatológico y de propiedades físicas de los sustratos antes y después del cultivo de Orellanas, así como también el análisis proximal de las setas.

Ejecutar un estudio de factibilidad para una empresa productora y comercializadora de Orellanas y realizar la transferencia tecnológica a los productores del sector agrícola.

BIBLIOGRAFIA

- Albarracin, L., Martinez, P. y Rodriguez, G. 2011. Suplementación para bovinos de carne a partir del enriquecimiento proteico del bagazo de caña por acción del hongo *Pleurotus ostreatus*. Colombia. Corpoica. 72 p.
- Aubert, C. 1998. *El huerto biológico*. Ed Integral Barcelona, 252.
- Baldrian, P., Valásková V. 2008. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. FEMS Microbiol. Rev. 32: 501-521.
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Infostat. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina
- Benavides, O. L. 2013. Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para el cultivo de Orellanas *Pleurotus ostreatus*. Centro de investigación en Ciencias Agrarias. Universidad de Nariño. Pasto, Colombia.
- Cadefique. 2006. Guía ambiental del subsector fiquero, 2^{da} ed, Bogotá, Colombia, 12.
- Fedepalma. 2009. Anuario Estadístico. Bogota: Fedepalma.
- Gaitán-Hernández, R., Salmones, D., Pérez, R. y Mata, G. 2009. Evaluación de la eficiencia biológica de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en paja de cebada fermentada. Revista Mexicana de Micología; 30: 63-71.
- García, N., Bermúdez, C. y Serrano, M. 2011. Formulación de sustratos en la producción de setas comestibles en *Pleurotus*. Centro de Estudio de Biotecnología Industrial (CEBI), Universidad de Oriente, Santiago de Cuba.
- García, M. 1985. Hojas divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Publicaciones de Extensión Agraria. Madrid, España.
- Garzón, J. y Cuervo, J. 2008. Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.
- Houbron, E., Cano, V., Reyes, L., Rustrian, E. *Gaceta*. 2007. Académicos de la Facultad de Ciencias Químicas, campus Orizaba, Universidad Veracruzana, Mexico.
- Iqbal, S., Rauf, C. e Iqbal, M. 2005. Yield performance of oyster mushrooms grown on different substrates. Int. J. Agri. Biol; 7.
- Montoya, J. 1997. Hongos: Riqueza de la naturaleza poco explotada. Ciencia al Día-AUPEC.

- Névarez, D. 2012. Aprovechamiento de residuos agroforestales para el cultivo de hongos comestibles (*Pleurotus sp.*). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Victoria de Durango.
- Papinutti, L. 2003. Enzimas ligninolíticas en *Fomes sclerodermeus*. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Perrin, R. 1997. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos. Un manual metodológico de evaluación económica. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México.
- Ramos, C., Sapata, M., Ferreira, A., Andrada, L. y Candelas, M. 2011. Producao de tres espécies de cogumelos *Pleurotus* e avaliacao da qualidade em atmosfera modificada. Revista de Ciencias Agrarias. Instituto Nacional dos Recursos Biológicos. Oeiras. Portugal.
- Ramos Ochoa, G. 2007. “*Pleurotus ostreatus* cultivado en residuos de la palma aceitera”. Trabajo de grado de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Facultad de Ciencias. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Rebolledo, I. y Vento, L. 2004. Propuesta de agroindustrialización del proceso de beneficio del café en el municipio de la Unión (Nariño) de acuerdo a las características de calidad esperadas por el cliente a nivel internacional, Trabajo de Grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá D.C.
- Ríos, M., Hoyos, J. y Mosquera, S. 2010. Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo. Revista Facultad De Ciencias Agropecuarias; 8.
- Rodríguez-Valencia, N. y Gómez, F. 2001. Cultive hongos comestibles en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé; 285: 1-8.
- Rodríguez, N. y Jaramillo, C. 2005. Cultivo de hongos medicinales en residuos agrícolas de la zona cafetera. Chinchiná, Caldas: Cenicafé.
- Ruihong, Z., Xiujin, L. y Fadel, J. 2002. Oyster mushrooms cultivation with rice and wheat straw. Bioresource Technology; 82: 277-284.
- Saletes S, Caliman J, Raham D. 2004. Study of mineral nutrient losses from oil palm empty fruit bunches during temporary storage. J Oil Palm Research, 16(1), 11-21.
- Setas de Colombia, 2014. Orellanas orgánicas por kilogramo. En línea: <http://setascolombia.webnode.com.co/products/producto-1/>. Consulta: Octubre de 2014.

- Varnero, M.; Quiroz, M.; Álvarez, C. 2010. Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). Información Tecnológica, 21 (2): 13-20.
- Wanrosli, W. 2007. Pulp from oil palm fronds by chemical processes. Industrial crops and products, 25 (1), 89-94.
- Ward, O. 1989. Biotecnología de las Fermentaciones. Zaragoza: Acribia, pp 125.