

EVALUACIÓN DE RESIDUOS DE AJÍ (*Capsicum spp.*) COMO SUSTRATO EN LA PRODUCCIÓN DE SETAS COMESTIBLES (*Pleurotus ostreatus*)

CHILI (*Capsicum spp.*) RESIDUES EVALUATION AS EDIBLE MUSHROOM (*Pleurotus ostreatus*) CULTURE SUSTRATE

CLARA LUZ FORERO¹, OLGA LUCÍA HOYOS², WILLIAM E. BAZANTE³

PALABRAS CLAVE:

Ají, setas, residuos

KEY WORDS:

Chili, mushrooms, residuals

RESUMEN

Este estudio se inicia con el análisis fisicoquímico de los residuos de la extracción de oleoresina de ají; potencial sustrato para el cultivo de Pleurotus. Estos se emplearon como sustratos solos, en mezcla y suplementados, cuya composición se determinó antes y después del cultivo de las setas a las cuales se les hizo análisis proximal. Se utilizó un diseño experimental de siete tratamientos con tres réplicas y con los hongos obtenidos se calcularon los índices: Eficiencia Biológica (EB), Rendimiento (R) y Tasa de Producción (TP) parámetros de referencia para comparación. Los sustratos se inocularon con una cepa de Pleurotus ostreatus; aquellos constituidos por residuos de ají solo y de estos con cascarilla de arroz (SA, SB y SC) presentaron muy poco crecimiento micelial, atribuido a exceso de agua libre por baja retención de ésta en los sustratos por lo cual se desecharon. Los sustratos con mezclas mostraron distintas EB, siendo de 45,45, 36,70, 38,24 y 31,71%, respectivamente.

ABSTRACT

This study begins with the physiochemical analysis of the residuals of the extraction of oleoresin of chili; potential basis for the cultivation of Pleurotus. These they were used as alone bases, in mixture and supplemented whose composition was determined before and after the cultivation of the mushrooms to which were made analysis proximal. An experimental design

Recibido para evaluación: Diciembre 18 de 2007. Aprobado para publicación: Febrero 14 de 2008

1 Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad del Cauca, Grupo de investigación Agrobiológicos,

2 Docente Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación Universidad del Cauca, Grupo de investigación Química de Productos Naturales (QPN)

3 Ingeniero Agroindustrial Universidad del Cauca.

of seven treatments was used with three replies and with the obtained mushrooms the indexes were calculated: Biological efficiency (EB), Yield (R) and Rate of Production (TP) reference parameters for comparison. The bases were inoculated with a stump of *Pleurotus ostreatus*; those incorporated ones for residuals of alone chili and of these with husk of rice (SA, SB and SC) they presented very little growth micelial, attributed to excess of free water by low retention of this in the bases reason why they were discarded. The bases with mixtures showed different EB, being of 45,45, 36,70, 38,24 and 31,71%, respectively.

INTRODUCCIÓN

Las oleorresinas permiten el manejo simultáneo de componentes pigmentantes y aromatizantes, tal es el caso de los pimientos en el desarrollo de nuevos procesos e ingredientes para la industria alimentaria. Las técnicas de extracción permiten obtener principios activos aptos para el consumo humano y fuertemente relacionados con la tendencia hacia una alimentación más saludable y libre de contaminantes, a partir de productos naturales [1].

En el departamento del Cauca, Colombia, se quiere explorar la posibilidad de dar valor agregado a los residuos industriales del ají como los producidos en la extracción de oleorresinas. Esta técnica genera una elevada cantidad de residuos potencialmente aprovechables en un proceso agroindustrial, de los cuales se quiere conocer su composición y potencialidad para ser empleados, en este caso como medio de cultivo de hongos comestibles.

Las especies de *Pleurotus* están entre los agentes de descomposición primaria más efectivos, los cuales tienen la habilidad de colonizar el rastrojo, degradarlo y utilizar la lignina, además de la hemicelulosa y la celulosa. Estos hongos son considerados descomponedores primarios de porque son capaces de utilizar los desechos de las plantas en su forma original sin que hayan sido sujetos previamente a algún proceso de degradación bioquímica o microbiológica [2].

El hongo comestible *Pleurotus ostreatus*, se ha cultivado en diferentes partes del mundo y en Colombia sobre diferentes desechos agrícolas [2], más no se ha encontrado información acerca de su cultivo sobre residuos de ají. La idea fundamental de esta investigación es emplear los residuos provenientes de la extracción de oleorresina del ají *Capsicum spp.* como sustrato experimental para su cultivo.

METODOLOGÍA

Obtención de materia prima (ají)

Se recolectó en Domingullo y Timba, municipios productores del norte del Cauca.

Adecuación del material

Se seleccionó y clasificó de acuerdo con su estado de madurez y condiciones fitosanitarias, eliminando los pedúnculos, se desinfectó por inmersión en hipoclorito de sodio 20 ppm durante diez minutos, se enjuagó con agua potable y se secó a temperatura ambiente hasta una humedad de 10%, finalmente se molió y tamizó obteniendo tamaños de partícula menores de 1 cm.

Obtención de los residuos

Los residuos de ají provenientes de la extracción de oleorresinas mediante un sistema Soxhlet, con acetona, solvente recomendado por MERCOSUR para productos alimenticios [3], se emplearon para esta investigación.]

Caracterización de los desechos generados

Análisis organolépticos: a los residuos de ají provenientes de la extracción de oleorresina, se les observaron características como: color, olor, apariencia, textura y tamaño de partícula.

Análisis proximal: los residuos se molieron hasta un tamaño de partícula que pasa malla 20 y su composición se determinó de acuerdo con los métodos analíticos registrados en la Tabla 1.

Determinación de calcio y magnesio: los contenidos de estos minerales se determinaron por titulación con EDTA como se detalla a continuación:

Preparación de la solución de digestión: se pesaron 30 mg de cenizas de la muestra, se adicionaron 3 mL de ácido clorhídrico 6N, se llevaron a ebullición durante

Tabla 1. Composición de los residuos de ají

Parámetro	Referencia
Humedad	AOAC 930.15
Cenizas	AOAC 941.12
Nitrógeno	AOAC 920.165
Grasa	AOAC 963.15
Fibra bruta	AOAC 920.169
Extracto no nitrogenado	Por diferencia

Fuente: AOAC. 2003 [4]

cinco minutos y se enfriaron a temperatura ambiente; se les adicionaron 20 mL de agua deionizada, se llevaron a ebullición durante 10 minutos, se enfriaron a temperatura ambiente y se transfirieron a un balón de 50 mL que se aforó con agua deionizada.

Preparación de la muestra: se tomaron 25 mL de la solución de digestión y se alcalizaron con NaOH 10N hasta un pH entre 6.5 y 7.0, se transfirieron a un balón de 100 mL que se aforó con agua deionizada. Esta solución se empleó para determinar calcio y magnesio.

Determinación de calcio y magnesio: se tomó una alícuota de 25 mL de la solución anterior, se agregaron 3 gotas de trietanolamina, 1 mL de la solución tampón y una pequeña cantidad de indicador negro de eriocromo T y se tituló con la solución de EDTA 0.01M hasta viraje de color rojo al azul.

Determinación de calcio: con otra alícuota de 25 mL de la muestra preparada se procedió como en el caso anterior, reemplazando el negro de eriocromo T por el indicador de Murexida y se añadió solución alcalinizante de NaOH 0.06N hasta un pH entre 12 y 12.5. Se tituló con EDTA 0.01M hasta viraje de rojo a violeta.

Determinación de color extraíble: este parámetro se evaluó en el ají seco y en los residuos. De la muestra molida y seca se pesaron 0.25 g en un balón de 25 mL que se aforó con acetona, se envolvió con papel aluminio y se llevó a agitación constante durante 16 horas. Posteriormente con espectrofotómetro a 460 nm se determinó, la cantidad de color extraíble que se expresó en unidades ASTA.

Determinación de materia orgánica: se pesó una muestra molida de 0.05 g en un erlenmeyer de 250 mL, se adicionaron 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1N, y 20 mL de H_2SO_4 , al 96%, se agitó durante un minuto y se dejó en reposo por 30 minutos. Posteriormente se adicionaron

150 mL de agua destilada y 10 mL de H_3PO_4 al 85%, a esta solución se adicionaron 4 gotas de indicador de ferroína y se tituló con $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.5N hasta viraje final de color café oscuro.

Determinación de fibra neutro detergente (FND): se determinó por el método de van Soest [5].

Determinación de fibra ácido detergente (FAD): se determinó por el método de van Soest [5].

Determinación de lignina: se determinó por el método de van Soest [5].

Diseño experimental: para conocer la composición fisicoquímica del ají molido y la de los residuos de éste después de extraída la oleoresina, se utilizó un diseño al azar con tres repeticiones. A los resultados se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 5%, con el fin de observar la existencia de diferencias significativas entre estos dos materiales [6].

PRODUCCIÓN DE HONGOS

Obtención de la semilla o inóculo: se empleó como inóculo semillas de cebada colonizadas con micelio de *Pleurotus ostreatus* que se obtuvo a partir de 100 g de semillas limpias de cebada que se colocaron en un frasco de vidrio de 250 g de capacidad, se cubrieron con agua y se taparon con una tapa perforada con un orificio que se selló con un tapón de algodón que permitiera el intercambio gaseoso y evitara contaminación. Se llevó a esterilización en autoclave a 135 °C durante 15 minutos. El material esterilizado y frío se inoculó asépticamente con micelio del hongo crecido sobre agar PDA en caja de Petri, suministrado por el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, se llevó a incubación a 25 °C y en oscuridad por 20 días, pasado este tiempo se obtuvo la semilla de *Pleurotus ostreatus*. (Tabla 2)

Preparación del sustrato: el cultivo de los hongos se hizo en bolsas de polipropileno con pequeñas perforaciones, que contenían 400 g de sustrato con una humedad del 70%; es decir, en cada bolsa hubo 120 g de sustancia seca y 280 g de agua. Posteriormente se prepararon sustratos de 300 g con una humedad del

Tabla 2. Composición de los sustratos preparados para el cultivo de hongos

Componentes	Sustrato						
	SA	SB	SC	SD control	SF	SG	SH
Residuos de ají (%)	100	73	53		73	53	33
Cascarilla de arroz (%)		20	40				
Pasto de corte King Grass (%)				93	20	40	60
Salvado de trigo (%)		5	5	5	5	5	5
Sulfato de calcio (%)		2	2	2	2	2	2

60%; es decir, en cada bolsa hubo 120 g de materia seca y 180 g de agua

Pasteurización del sustrato: todos los sustratos mencionados se esterilizaron en autoclave a 135 °C durante 15 minutos.

Siembra del inóculo: cada bolsa de sustrato esterilizado se inoculó con una cantidad de semilla correspondiente al 5% del peso del sustrato húmedo.

Incubación: las bolsas inoculadas se mantuvieron a una temperatura entre 25 y 28 °C, en oscuridad, durante 15 a 23 días hasta observar una adecuada colonización del sustrato o la detención del crecimiento del micelio.

Fructificación: las bolsas que presentaron colonización por el micelio se llevaron a una temperatura entre 17 y 23 °C, humedad relativa entre 75 a 93%, iluminación natural y ventilación constante, condiciones que favorecen la fructificación. A las bolsas se les realizaron perforaciones de 2 x 2 cm para estimular la aparición de los primordios y posterior producción de hongos o fructificación.

Cosecha: los hongos crecieron y se desarrollaron hasta alcanzar la forma plana del sombrero, índice de madurez; en este momento se cosecharon manualmente.

Diseño experimental para la caracterización fisicoquímica de los sustratos y las setas: se utilizó un diseño al azar con tres repeticiones. Se realizó un análisis de

varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5%; a los resultados que presentaron diferencias significativas se les aplicó el método de comparación de Tukey [6].

Evaluación del sustrato en la producción de hongos. Para la evaluación de los diferentes sustratos se calcularon tres parámetros que a continuación se detallan:

Eficiencia Biológica (EB): se calculó dividiendo el peso de los cuerpos fructíferos frescos entre el peso del sustrato seco utilizado y multiplicado por 100 [7].

Rendimiento (R): se obtuvo mediante la división del peso de los carpóforos secos entre el peso del sustrato seco utilizado y multiplicado por 100 [7].

Tasa de Producción (TP): se estimó dividiendo la EB entre el tiempo transcurrido desde el momento de la inoculación hasta el último corte de hongos realizado [7].

Diseño experimental para evaluación de sustratos: se utilizó un diseño al azar de siete tratamientos con tres repeticiones para un total de 21 unidades de cultivo. Tres tratamientos corresponden a la mezcla de residuos de ají con cascarilla de arroz (SA, SB y SC); igual número para la mezcla de residuos de ají con pasto de corte King Grass (SF, SG y SH) y un tratamiento corresponde al sustrato control (SD) compuesto principalmente por pasto de corte King Grass. Se realizó un análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5%, a los resultados que presentaron diferencias significativas se les aplicó el método de comparación de Tukey para determinar el mejor tratamiento [6].

Siembra del inóculo: cada bolsa de sustrato esterilizado se inoculó con una cantidad de semilla correspondiente al 5% del peso del sustrato húmedo.

Incubación: las bolsas inoculadas se mantuvieron a una temperatura entre 25 y 28 °C, en oscuridad, durante 15 a 23 días hasta observar una adecuada colonización del sustrato o la detención del crecimiento del micelio.

Fructificación: las bolsas que presentaron colonización por el micelio se llevaron a una temperatura entre 17 y 23 °C, humedad relativa entre 75 a 93%, iluminación natural y ventilación constante, condiciones que favorecen la fructificación. A las bolsas se les realizaron perforaciones de 2 x 2 cm para estimular la aparición de los primordios y posterior producción de hongos o fructificación.

Cosecha: los hongos crecieron y se desarrollaron hasta alcanzar la forma plana del sombrero, índice de madurez; en este momento se cosecharon manualmente.

Diseño experimental para la caracterización fisicoquímica de los sustratos y las setas: se utilizó un diseño al azar con tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5%; a los resultados que presentaron diferencias significativas se les aplicó el método de comparación de Tukey [6].

Evaluación del sustrato en la producción de hongos. Para la evaluación de los diferentes sustratos se calcularon tres parámetros que a continuación se detallan:

Eficiencia Biológica (EB): se calculó dividiendo el peso de los cuerpos fructíferos frescos entre el peso del sustrato seco utilizado y multiplicado por 100 [7].

Rendimiento (R): se obtuvo mediante la división del peso de los carpóforos secos entre el peso del sustrato seco utilizado y multiplicado por 100 [7].

Tasa de Producción (TP): se estimó dividiendo la EB entre el tiempo transcurrido desde el momento de la inoculación hasta el último corte de hongos realizado [7].

Diseño experimental para evaluación de sustratos: se utilizó un diseño al azar de siete tratamientos con tres repeticiones para un total de 21 unidades de cultivo. Tres tratamientos corresponden a la mezcla de residuos de ají con cascarilla de arroz (SA, SB y SC); igual número para la mezcla de residuos de ají con pasto de corte King Grass (SF, SG y SH) y un tratamiento corresponde al sustrato control (SD) compuesto principalmente por pasto de corte King Grass. Se realizó un análisis de varianza ANOVA con un nivel de significancia del 5%, a los resultados que presentaron diferencias significativas se les aplicó el método de comparación de Tukey para determinar el mejor tratamiento [6].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición fisicoquímica de los residuos de la extracción de oleorresinas del fruto del ají

Obtención del residuo: el proceso de extracción de oleorresinas se realizó utilizando el método Soxhlet y

acetona como solvente; el rendimiento promedio de residuos de ají fue del 70,29%, esto representa una alta proporción de subproducto generado y a la vez justifica la importancia de emplearlo como fuente de materia orgánica.

Los residuos generados al finalizar la extracción de oleorresinas presentaron características físicas diferentes a la materia prima inicial evidenciadas principalmente en el color y el olor como consecuencia del proceso extractivo. En la Tabla 3 se presenta la evaluación organoléptica de los residuos de ají.

Análisis proximal de los residuos de ají: en la Tabla 4 se pueden apreciar los resultados obtenidos.

Se pudo observar que el contenido de grasa disminuyó notablemente al comparar el ají molido con los residuos de ají, esto debido al solvente utilizado para la extracción de oleorresina; aunque la grasa no es un nutriente esencial puede llegar a tener un efecto benéfico en el desarrollo micelial [2]. Un aspecto favorable

Tabla 3. Descripción física de los residuos de ají molido

Característica	Observaciones
Color	Amarillo opaco y pálido
Olor	Dulce y característico del ají con una ligera sensación picante.
Apariencia	Genera al tacto la impresión de ser un material leñoso.
Textura	Quebradiza, acartonada, tiende a formar pequeños aglomerados.
Tamaño de partícula	Menor de 1cm

Tabla 4. Análisis proximal del ají molido y los residuos de ají

Parámetro	Ají molido		Residuos de ají	
	% B.S	% B.H	% B.S	% B.H
Humedad		12,0		8,1
Grasa	9,6	8,4	0,12	0,11
Cenizas	7,1	6,2	16,9	15,5
Fibra bruta	24,2	21,3	46,8	43,0
Nitrógeno	2,9	2,6	2,4	2,2
Proteína	16,6	14,6	13,4	12,4
Extracto no nitrogenado	42,5	37,4	22,8	20,9

mostrado en la composición de los residuos, es su elevado contenido de minerales, siendo estos muy importantes como intermediarios del metabolismo y en la actividad enzimática del hongo [8].

También se podría decir que los residuos de ají tengan una relación C/N baja, teniendo en cuenta que el contenido de cenizas es inversamente proporcional a esta relación [9]. Un componente que se encontró en elevada cantidad fue la fibra bruta, siendo un aspecto importante por cuanto las especies de *Pleurotus* son capaces de degradar materiales fibrosos.

Se determinó que los residuos de ají representan un apreciable aporte de nitrógeno, considerando que el rango recomendado de este nutriente está comprendido entre 0.6 y 1.2% de la materia seca total del sustrato.

Análisis de minerales: en la Tabla 5 se presenta el contenido de calcio y magnesio presente en los residuos de ají.

Se puede decir que el aporte de estos minerales es suficiente si se compara con las cantidades utilizadas cuando se han preparado y suplementado por separado, medios de cultivo en agar adicionando 159 mg de calcio (0.3 g CaCl_2) y 19.7 mg de magnesio ($0.2 \text{ g MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) por litro de solución, que han permitido desarrollo satisfactorio de este hongo [8].

Determinación de las fracciones de fibra cruda: este análisis permitió conocer la composición en fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), hemicelulosa, celulosa y lignina (ver Tabla 6).

Con los anteriores resultados se pudo corroborar que los residuos de ají son un material lignocelulósico, presentando elevados contenidos de celulosa y lignina siendo una de las características deseables en los sustratos para el cultivo de *Pleurotus*; cabe resaltar que estos residuos tienen un bajo contenido de hemicelulosa, la cual contiene componentes relativamente fáciles de degradar por el hongo para tomar energía y destinarla a la oxidación de la lignina; por lo general los sustratos degradados en mayor proporción son los que poseen mayor porcentaje de hemicelulosa.[10]

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus ostreatus* EN DIFERENTES SUSTRATOS CON RESIDUOS DE LA EXTRACCIÓN DE OLEORRESINAS DEL FRUTO DEL AJÍ

Etapas de incubación y fructificación: en la primera etapa se mantuvo una temperatura entre 25 y 28 °C. En los sustratos SA, SB y SC, compuestos por residuos de ají y cascarilla de arroz, hubo un leve crecimiento micelial hasta el día 13 después de realizada la inoculación. Las principales causas atribuibles para que el crecimiento del hongo no tuviera éxito fueron: exceso de humedad, baja capacidad de retención de agua y elevado grado de compactación de los sustratos. Esto dio origen a condiciones no apropiadas para el desarrollo del hongo, restringiendo principalmente el acceso a los nutrientes de las materias primas y al aire circulante a través del sustrato, estas condiciones.

El sustrato control SD compuesto por pasto de corte King Grass y los sustratos SF, SG y SH compuestos por residuos de ají y pasto de corte presentaron mejores características físicas para el desarrollo del micelio, mostrando precocidades en la aparición de los primordios a los 21, 42, 45 y 50 días. Los factores que más influyeron en la velocidad de crecimiento del micelio fueron el tamaño de partícula, la humedad del sustrato y la capacidad de retención de agua, siendo menor el tiempo de fructificación en los sustratos que mejores características físicas tuvieron. Los períodos de cultivo variaron en todos los tratamientos, siendo de 42, 58, 67 y 77 días para los sustratos SD, SF, SG y SH, respectivamente.

Tabla 5 Determinación de minerales

Mineral	mg/100g m.s	mg/100g m.h
Calcio	927	851
Magnesio	556	511

Tabla 6. Determinación de las fracciones de fibra cruda

Parámetro	% BASE SECA	% BASE HÚMEDA
FND	47.08	43.26
FAD	36.69	33.72
Lignina	17.62	16.19
Celulosa	19.08	17.53
Hemicelulosa	10.38	9.54

Características físicas de los hongos cosechados: en la Tabla 7 se presenta la descripción de las setas.

Se pudo observar que los hongos producidos en todos los sustratos presentaron características similares a las reportadas por Urbano *et al.* (2002) [11] y Cenicafé [12] en investigaciones hechas en la Universidad del Cauca y Chinchiná, en cuanto a color, textura y olor; sin embargo, todos estos tuvieron diámetros de los pileos inferiores en comparación con el tamaño de los hongos mencionados en la bibliografía (5 a 8 cm), esto puede ser el resultado de la naturaleza del sustrato y la cepa utilizada. [13]

Eficiencia Biológica: la Figura 1 presenta los respectivos porcentajes en los diferentes sustratos.

De acuerdo con el análisis de varianza ANOVA se pudo determinar que existieron diferencias significativas en cuanto al porcentaje de eficiencia biológica obtenida, esto refleja las distintas capacidades que presentaron los sustratos para producir hongos debido a la composición particular que contiene cada uno de estos. La prueba de Tukey mostró que la producción de hongos en el sustrato SD fue la mejor y entre las mezclas que contenían residuos de ají, SG fue mejor con respecto a SF y SH, lo cual indica que esta mezcla posee las características nutricionales más adecuadas para producir fructificaciones.

Rendimiento: los porcentajes se pueden observar en la Figura 2.

El porcentaje de rendimiento es importante por cuanto los hongos secos representan un elevado contenido de nutrientes como proteínas de alto valor biológico; además, son una buena fuente de minerales y fibra, entre otros [12].

Tabla 7. Descripción física de los hongos

Parámetro	Descripción
Color	Blanco amarillento
Textura	Carnosa y fresca
Olor	Característico a ostra
Diámetro del pileo	Fueron de 4.2 cm en el sustrato control SD, 4. cm en el sustrato SH, 3.9 cm en el sustrato SG y 3.8 cm en el sustrato SF.

Esto por cuanto el rendimiento conserva una relación directa con la EB debido a que todos los hongos cosechados presentaron porcentajes de humedad muy similares.

Tasa de producción: en la Figura 3 se pueden observar los resultados obtenidos.

Se pudo determinar mediante la prueba de Tukey que la tasa de producción en el sustrato control SD fue significativamente diferente con respecto a SF, SG y SH, debido a su mayor EB y menor período de cultivo.

Figura 1. Porcentajes de Eficiencia Biológica

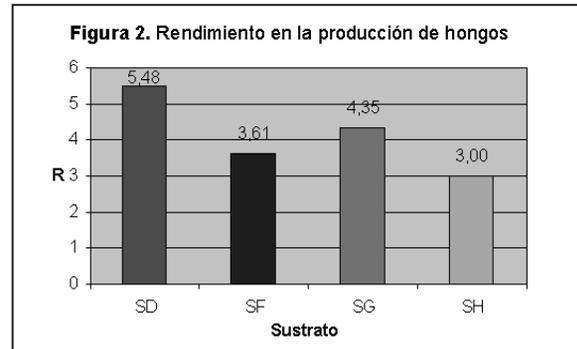


Figura 2. Porcentajes de Rendimiento en los sustratos

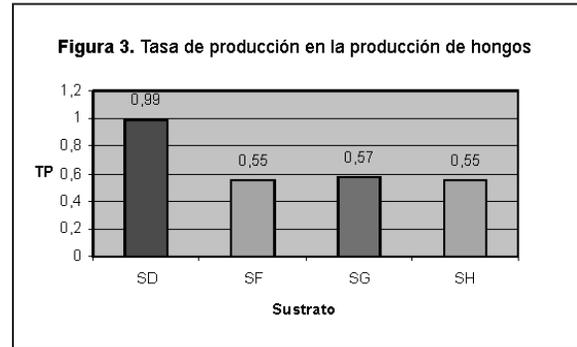


Figura 3. Tasas de producción



Además, se pudo notar que los tres últimos sustratos fueron estadísticamente iguales en cuanto a la TP, esto por cuanto el período de cultivo fue menor en el sustrato SH, seguido por el sustrato SG y SF, respectivamente; sin embargo, lo anterior se ve compensado con el porcentaje de EB ya que fue mayor en el sustrato SG, seguida por el sustrato SF y finalmente por el sustrato SH.

Características físicoquímicas de los sustratos antes y después del cultivo de hongos

Análisis proximal de los sustratos al inicio y al final del cultivo de hongos: la composición de los sustratos se expresa en términos de porcentaje en materia seca, en la Tabla 8 se presentan los resultados.

Después de terminado el cultivo los sustratos SF, SG y SH tuvieron porcentajes de humedad superiores al contenido inicial, esto fue causado por la aspersión de agua generada dentro del cuarto de fructificación, únicamente en el SD el contenido de humedad fue considerablemente menor, esto se puede explicar por su mayor tamaño de partícula permitiendo una mejor aireación y por ende una mayor deshidratación. (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis proximal de los sustratos al inicio y final del cultivo

Parámetro	Sustrato				
		SD	SF	SG	SH
Humedad	I	71.5	58.7	60.1	62.5
	F	32.6	77.0	77.5	75.1
Grasa	I	1.13	2.70	1.89	1.35
	F	0.85	6.26	3.73	0.98
Cenizas	I	14.5	13.7	14.8	16.6
	F	16.4	9.87	12.7	18.4
Fibra bruta	I	35.4	31.1	30.4	28.6
	F	26.6	33.7	31.1	26.5
Nitrógeno	I	0.91	2.02	1.86	1.53
	F	0.87	2.40	1.69	1.82
Proteína	I	5.16	11.5	10.6	8.72
	F	4.96	13.7	9.65	10.4
ENN	I	43.9	41.1	42.3	44.8
	F	51.2	36.5	42.8	43.8

I = Inicio - F= Final - ENN = Extracto no nitrogenado

Se pudo observar que después del cultivo de hongos se incrementaron los porcentajes de algunos nutrientes en determinados sustratos, esto puede ser debido a los residuos de micelio y a las pérdidas de materia seca durante la fase de respiración del hongo lo cual hace que los valores en algunos parámetros se concentren [12]. Sin embargo, también se pudo apreciar la disminución de algunos nutrientes reflejando de una manera más clara el consumo por parte del micelio para producir cuerpos fructíferos.

Análisis de minerales: en la Tabla 9 se presentan los contenidos de calcio y magnesio en los sustratos.

Se observó que el contenido final de calcio fue muy superior con respecto a su porcentaje inicial en los sustratos SD, SF, SG y SH; aparentemente pudo ser causado por una mayor concentración debido a la degradación de los materiales [12], sumado a esto existe la posibilidad de que la principal fuente adicionada como sulfato de calcio no fue muy disponible para la absorción de este nutriente considerando que los sulfatos son poco o nada solubles en agua.

Por otro lado el magnesio presente en las diferentes materias primas utilizadas en los sustratos presentó una notable disminución en su contenido en los sustratos agotados, mostrando de esta manera ser uno de los minerales más importantes para el metabolismo del hongo y que fue absorbido de una forma adecuada por éste.

Determinación de las fracciones de fibra cruda: los resultados en los diferentes sustratos se muestran en la Tabla 10.

Tabla 9. Análisis de calcio y magnesio antes y después del cultivo

Sustrato	Mineral			
	Calcio mg/100g m.s		Magnesio mg/100g m.s	
	Inicio	Final	Inicio	Final
SA	850	-	510	-
SB	833	-	833	-
SC	871	-	581	-
SD	715	740	620	222
SF	563	1875	413	241
SG	646	1899	474	311
SH	722	1601	530	267

Tabla 10. Fracciones de fibra cruda antes y después del cultivo

Parámetro	Sustrato				
		SD	SF	SG	SH
FND	I	65.0	58.3	58.7	55.7
	F	48.9	60.6	58.1	57.2
FAD	I	37.6	37.4	40.7	37.9
	F	28.5	42.5	42.2	36.8
Hemicelulosa	I	27.4	20.9	18.0	17.9
	F	20.4	18.1	15.9	20.5
Celulosa	I	24.6	18.8	25.0	24.6
	F	15.1	16.7	18.1	18.0
Lignina	I	13.0	18.5	15.7	13.3
	F	13.4	25.8	24.2	18.7

I= Inicio - F= Final

Se pudo apreciar que en todos los tratamientos se logró una degradación de la celulosa mientras que la lignina aumentó su concentración en todos los ensayos. La fracción de hemicelulosa sufrió una disminución en los sustratos SD, SF y SG probablemente porque el micelio del hongo la utilizó como una de las principales fuentes de energía para la degradación de celulosa particularmente en este caso [10].

La disminución en el contenido de celulosa se notó en todos los sustratos agotados, esto parece indicar que el micelio del hongo favoreció la degradación de ésta y también se pudo apreciar que la lignina incrementó su concentración en todos los casos. Este resultado contrasta con lo encontrado en la literatura donde se afirma que si el sustrato tiene un alto componente de lignina se favorece su degradación y cuando su porcentaje es bajo la degradación de celulosa es mayor [10].

Porcentajes de degradación del sustrato y las fracciones de fibra cruda: los valores correspondientes se presentan en la Tabla 11.

Con excepción del sustrato SH la degradación de hemicelulosa fue buena en todos los tratamientos ya que, como se mencionó, representa una fuente de energía para el hongo, por cuanto se considera que incluye cadenas lineales y ramificadas de monosacáridos distintos a la glucosa, cadenas polipeptídicas y fracciones de las cadenas celulósicas de bajo peso molecular, siendo componentes relativamente fáciles de degradar y que aportan energía para la oxidación,

esto apoya la suposición de que los sustratos degradados en mayor proporción son los que contienen mayor porcentaje de hemicelulosa [10]. En este trabajo con excepción del sustrato SF que supera ligeramente el porcentaje de degradación del SD, se cumple lo citado anteriormente.

Aunque se puede observar un buen porcentaje de degradación de celulosa en todos los sustratos, cabe mencionar que con excepción del sustrato SD, en los demás ensayos no se lograron degradaciones apreciables de lignina incluso en el SH no hubo degradación de ésta, lo cual podría indicar la falta de componentes que aporten energía, por cuanto se ha encontrado que para degradar 5 mg de lignina se requieren como fuente inmediata de energía 100 mg de glucosa [10].

Determinación de la relación C/N y pH: estos resultados son presentados en la Tabla 12.

El sustrato control SD fue el único que presentó una relación C/N relativamente alta al inicio del cultivo, los demás mostraron relaciones C/N bajas debido principalmente a su alto contenido de nitrógeno.

El único sustrato que presentó un aumento en este parámetro después del cultivo fue el SG lo cual puede

Tabla 11. Porcentajes de degradación de los sustratos y las fracciones de fibra

Parámetro	Sustrato			
	SD	SF	SG	SH
Degradación sustrato	44.8	45.0	40.9	22.2
Hemicelulosa	58.9	52.4	47.9	10.7
Celulosa	66.2	51.3	57.3	42.8
Lignina	43.2	3.99	9.27	-

Tabla 12. Resultados relación C/N y pH

SUSTRATO	RELACION C/N		pH	
	I	F	I	F
SD	40.6	37,4	5,69	5,48
SF	18,5	15,6	5,90	5,89
SG	19,3	23,3	5,87	5,26
SH	23,2	19,6	5,90	5,41

I = Inicio - F = Final

atribuirse a la menor pérdida de carbono en relación con el nitrógeno, que también sufrió una disminución; los otros tres ensayos presentaron relaciones C/N menores con respecto a su valor inicial como producto de la liberación de CO₂. Parece ser que el incremento de la relación C/N favorece una mayor producción de cuerpos fructíferos como lo muestran los sustratos SF, SG y SD; sin embargo, el SH no manifestó igual comportamiento que los anteriores ya que su EB fue la menor, pero posiblemente esto pueda ser debido a otros factores nutricionales.

Observando los valores iniciales de pH obtenidos se pudo determinar que todos los sustratos tuvieron su valor correspondiente dentro del rango mencionado anteriormente como óptimo comprendido entre 5.5 y 6.5 [2]. Se podría decir que el pH inicial pudo promover una mayor producción de hongos mientras éste se acerca a 5,5 como se notó en los sustratos SD, SG y SF, conservando similar relación con estudios realizados utilizando subproductos del café como sustratos, donde la EB fue mayor cuando el pH inicial de los mismos estuvo comprendido entre 5,4 y 5,7 [2].

EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LAS SETAS OBTENIDAS

Análisis proximal de las setas cosechadas en los sustratos: los resultados se presentan en la Tabla 13 y se expresan en base seca. El factor para proteína fue 4,38.

El contenido de humedad que presentaron los hongos en todos los sustratos es similar con lo reportado en la literatura por Cenicafé 90.25%, esto se debe a la buena aspersión de agua realizada en el cuarto de fructificación durante toda esta etapa.

Los valores de cenizas reportados en la literatura van desde 3.77 a 8.73 [14] de acuerdo con esto los porcentajes de cenizas en todos los hongos producidos en los sustratos analizados son superiores a los mencionados, esto se podría explicar por los elevados contenidos de cenizas que suministraron los sustratos. En relación con el contenido de nitrógeno

y proteína en los hongos, se pudo establecer que su porcentaje se incrementó en los sustratos que presentaron mayores porcentajes de estos nutrientes. A través de estos resultados se pudo apreciar que la naturaleza química del sustrato en estos parámetros tiene una acción marcada sobre la composición química de los cuerpos fructíferos, esto se atribuye a la importancia que tiene el nitrógeno como nutriente durante el crecimiento y desarrollo del hongo.

Análisis de minerales en los hongos cosechados: este análisis permitió determinar si los hongos metabolizaron el calcio y el magnesio provenientes de los sustratos, los resultados se presentan en la Tabla 14.

Todos los hongos cosechados en los diferentes sustratos presentaron un contenido de calcio y magnesio que refleja que absorbieron estos minerales del sustrato por cuanto son necesarios para sus diferentes procesos metabólicos y degradativos.

Además, estos minerales forman parte de sus estructuras celulares como se mencionó anteriormente. Con relación a las cantidades de calcio presentes en todos los hongos de este estudio son superiores a las reportadas en *Pleurotus ostreatus* cultivados sobre subproductos del café donde se reporta un contenido

Tabla 13. Análisis proximal de las setas cosechadas en los sustratos

Parámetro	Hongos del sustrato			
	SD	SF	SG	SH
Humedad	87.7	89.9	88.6	90.6
Grasa	1.45	1.41	2.85	1.62
Cenizas	8.81	9.26	9.11	9.84
Fibra	4.97	7.74	7.48	7.13
Nitrógeno	3.56	6.52	5.56	5.35
Proteína	15.6	28.6	24.4	23.4
ENN	68.2	53.0	56.2	58.0

ENN= Extracto no nitrogenado

Tabla 14. Análisis de calcio y magnesio en los hongos cosechados

Hongos	Mineral			
	Calcio mg/100g		Magnesio mg/100g	
	B.S	B.H	B.S	B.H
Hongos SD	299	37	194	24
Hongos SF	377	38	245	24
Hongos SG	371	42	241	27
Hongos SH	334	31	157	15

de 20 mg/100 g de materia seca [12]; esto podría estar asociado con la suplementación (salvado de trigo y calcio) que se hizo a los sustratos SD, SF, SG y SH y se resalta además, que los sustratos mencionados tuvieron contenidos de calcio (ver Tabla 9) más altos en comparación con los sustratos utilizados en Cenicafé los cuales reportan valores entre 50 y 400 mg/100 g de materia seca [12].

De la misma forma el contenido de magnesio en los hongos reportado por Cenicafé es menor que en los carpóforos cosechados en esta investigación y así mismo los sustratos obtenidos de los subproductos del café, presentaron menores cantidades de este mineral con respecto a los sustratos SD, SF, SG y SH.

CONCLUSIONES

El proceso de extracción de oleorresinas dejó un 70,29% de residuos de ají con características físicas diferentes a las iniciales.

Durante la preparación de los sustratos fue posible observar que los residuos de ají poseen una menor capacidad de retención de agua frente a otras materias primas, lo cual sumado a su pequeño tamaño de partícula (menor de 1 cm) dio origen a condiciones desfavorables como la lixiviación de agua y el elevado grado de compactación, dificultando de esta forma el desarrollo del micelio. Se logró mejorar las características físicas del sustrato con inclusión de pasto de corte en la mezcla.

Se pudo determinar que el sustrato control SD fue mejor en cuanto a Eficiencia Biológica (45,45%), Rendimiento (5,48%) y Tasa de Producción (0,99) con relación a los sustratos que contenían residuos de ají. Entre los sustratos que contienen residuos de ají, el mejor resultado se obtuvo con SG, el cual mostró valores de EB = 38,24%, R = 4,35% y TP = 0,57, seguido por SF con porcentajes de EB = 36,70%, R = 3,61% y TP = 0,55, y por último SH con porcentajes de EB = 31,71%, R = 3,0% y TP = 0,55.

Los cambios en la composición nutricional de los hongos cosechados presentan relación directa con los aportes de nutrientes suministrados por los diferentes sustratos, la cual debe evaluarse en una próxima investigación.

REFERENCIAS

- [1] RESTREPO GALLEGO, Mauricio; LLANOS RÍOS, Natalia; FONSECA ECHEVERRI, Carlos Enrique. Composición de las oleorresinas de dos variedades de ají picante (habanero y tabasco) obtenidas mediante lixiviación con solventes orgánicos. En: Revista Lasallista de Investigación. Vol. 4. No. 1. (jun. 2007); p. 14-19. ISSN 1794-4449
- [2] SANCHEZ, José E. y ROYSE, Daniel. La biología y el cultivo de *Pleurotus spp.* San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México: Noriega Editores. 2001.
- [3] MERCOSUR/GMC/RES N° 46/93 [en línea] - ANEXO: Reglamento Técnico MERCOSUR de Aditivos Aromatizantes/Saborizantes. [citado 10 de febrero de 2006] Mercado Común del Sur (MERCOSUR). Disponible en Internet: URL: http://72.14.203.104/search?q=cache:Ov_n8CSdQkJ:www.sice.oas.org/Trade/MRCSRS/Resolutions/AN4693.asp+solventes+permitidos+en+alimentos%2Blegislaci%C3%B3n%2Bacetona&hl=es&gl=co&ct=clnk&cd=6
- [4] AOAC. Official method of analysis. Agricultural chemicals; contaminants; drugs 17 ed. Volumen 1. 2003.
- [5] LETERME, Pascal y ESTRADA, Fernando. Nutrición animal, notas de laboratorio. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, 2001. p. 24
- [6] GUISANDE GONZÁLEZ, Cástor. *et al.* Tratamiento de datos. España: Ediciones Díaz de Santos, 2006. ISBN 84-7978-736-8
- [7] SANCHEZ, A. *et al.* Cultivo del hongo comestible *Pleurotus* sobre residuos vitivinícolas y su manejo postcosecha. México, 2002
- [8] ADEJOYE, O. D. *et al.* Effect of carbon, nitrogen and mineral sources on growth of *Pleurotus florida*, a Nigeria edible mushroom. En : African Journal of Biotechnology. Vol. 5. No. 14 (16-jul.-2006); p. 1355-1359. ISSN 1684-5315
- [9] ECHAVARRIA HERNÁNDEZ, Margarita. Estudio de sustratos y sus mezclas en la fructificación de *Pleurotus sp.* s.l, s.f. p. 46. Trabajo de grado (Master en Biotecnología). Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias Naturales, Centro de Estudios de Biotecnología Industrial.
- [10] DELFÍN ALCALÁ, Irma y DURÁN DE BAZÚA, Carmen. Biodegradación de residuos lignocelulósicos por *Pleurotus*. En : Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Vol. 19. No. 001 (2003); p: 37-45. ISSN 0188-4999

- [11] URBANO, Zulma; *et al.* Determinación de una metodología para la utilización de residuos agrícolas (cascarilla de café, pasto de corte, espárrago, vainas de frijol y arveja) generados en el Municipio de Popayán y evaluación del efecto de los sustratos en la producción de setas (*Pleurotus ostreatus*). Popayán, 2002, 132 p. Trabajo de grado (Ingeniero Agroindustrial): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Agroindustria.
- [12] GENICAFÉ. Cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus* sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. Chinchiná-Caldas-Colombia: Cenicafé, 2005
- [13] VOGEL, Federico y SALMONES, Dulce. Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus spp.* cultivadas en una planta comercial. En: Revista Iberoamericana de Micología. No. 17 (30-jun-2000); p. 138-141
- [14] BAENA GONZÁLEZ, Armando. Aprovechamiento del bagazo del maguey verde (*Agave salmiana*) de la agroindustria del mezcal en San Luís Potosí para la producción de Hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*). San Luís Potosí, 2005, 102 p. Trabajo de grado (Maestro en Ciencias Aplicadas) : Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica, A.C