

UTILIZACIÓN DE MATERIALES LIGNOCELULÓSICOS COMO SUSTRATOS PARA EL CULTIVO DE *Pleurotus ostreatus*. CHIRIQUÍ, PANAMÁ. 2003.*

Aracelly Vega Ríos ¹; Rosa E. Caballero ¹;
José R. García ²; Pedro Guerra M. ³

RESUMEN

Se evaluó la eficiencia biológica del hongo comestible *Pleurotus ostreatus* (cepa RN 8) en paja de arroz (*Oriza sativa*), pulpa de café (*Coffea arabica*) y hoja de banano (*Musa sapientis*). Dicha eficiencia se estimó como la relación porcentual entre el peso de los cuerpos fructíferos frescos y el peso seco del sustrato. Se incluyó además la relación entre la eficiencia biológica y la composición química de los sustratos en términos de los contenidos de ceniza, nitrógeno, celulosa y lignina. Los datos se analizaron mediante un modelo jerárquico (muestreo aleatorio) y análisis de correlación y regresión simple. El análisis de varianza muestra que existen diferencias altamente significativas en la eficiencia biológica entre sustratos ($P < 0.01$). La mayor eficiencia biológica se obtuvo en la paja de arroz ($80.32\% \pm 4.90\%$), seguida por la pulpa de café ($63.13\% \pm 4.90\%$) y la hoja de banano ($49.43\% \pm 4.51\%$). Se encontraron diferencias significativas en la eficiencia biológica ($P < 0.05$) entre la paja de arroz y los otros sustratos, más no así entre la pulpa de café y la hoja de banano ($P > 0.05$). En la hoja de banano, la eficiencia biológica se correlacionó positivamente con el contenido de nitrógeno y lignina ($r = 0.21409$ y $r = 0.01733$, respectivamente) y negativamente con el contenido de ceniza y celulosa ($r = -0.17722$ y $r = -0.08922$, respectivamente). En la paja de arroz, la eficiencia biológica se correlacionó positivamente con el contenido de cenizas y celulosa ($r = 0.29794$ y $r = 0.12837$, respectivamente) y negativamente con los contenidos de nitrógeno y lignina ($r = -0.24152$ y $r = -0.11653$, respectivamente). En la pulpa de café, la eficiencia biológica se correlacionó positivamente con los contenidos de nitrógeno, lignina y celulosa ($r = 0.46476$, $r = 0.33370$ y $r = 0.14300$, respectivamente) y negativamente con el contenido de cenizas ($r = -0.47491$). Las únicas asociaciones que resultaron significativas fueron aquellas entre la eficiencia biológica y los contenidos de cenizas y nitrógeno en la pulpa de café ($r = 0.0092$; $P < 0.01$ y $r = 0.0167$; $P < 0.05$, respectivamente). El modelo lineal sin intercepto fue el que mejor explicó la variación entre la eficiencia biológica y

¹ Licda. en Química. M.Sc. Docente Investigador. Laboratorio de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), Chiriquí, Panamá.

² Lic. en Química. Asistente de Investigación. Laboratorio de Recursos Naturales. Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI), Chiriquí, Panamá.

³ Ing. Agr. Zoot., M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOC), Gualaca, Chiriquí, Panamá.

* Proyecto Producción de Hongos Comestibles, Laboratorio de Recursos Naturales, UNACHI.

todos los indicadores para la hoja de banano ($R^2=0.9234, 0.9311, 0.9191, 0.9213$ para ceniza, nitrógeno, lignina y celulosa, respectivamente); en la paja de arroz ($R^2=0.9014, 0.8935$ y 0.8852 para cenizas, celulosa y nitrógeno, respectivamente) y en la pulpa de café ($R^2= 0.9654, 0.9641$ y 0.9588 , para nitrógeno, lignina y celulosa, respectivamente). El modelo cuadrático resultó satisfactorio para la lignina en paja de arroz ($R^2= 0.8901$) y cenizas en la pulpa de café ($R^2 = 0.9659$). Se demuestra la variación en la eficiencia biológica de acuerdo al tipo de sustrato. Se recomienda la ejecución de un análisis multifactorial controlado.

PALABRAS CLAVES: *Pleurotus ostreatus*; setas comestibles; sustratos de cultivo; paja de arroz; pulpa de café; hojas; Musa (bananos).

UTILIZATION OF LIGNOCELLULOSIC MATERIALS AS SUBSTRATE FOR *Pleurotus ostreatus* CULTIVATION. CHIRIQUÍ, PANAMÁ. 2003.

The biological efficiency of a *Pleurotus ostreatus* strain (RN 8) was studied on rice straw (*Oriza sativa*), coffee pulp (*Coffea arabica*) and banana leaves (*Musa sapiensis*) in terms of the percentage relationship between the fresh mushrooms weight and the dry substrate weight. The relationship between the biological efficiency and the chemical composition of the substrates (ash, nitrogen, cellulose and lignin contents) was also studied. The data was analyzed by means of a hierarchic model, random sampling techniques and both regression and correlation analyses. Variance analysis showed highly significant differences in the biological efficiency between the substrates ($P<0.01$). The highest biological efficiency was obtained in rice straw (80.32 ± 4.90), followed by coffee pulp ($63.13\% \pm 4.90$) and banana leaves ($49.43\% \pm 4.51$) with significant differences ($P<0.05$) between coffee pulp and the other two substrates but not between coffee pulp and banana leaves. In banana leaves the biological efficiency was positively correlated to the nitrogen and lignin contents ($r= 0.21409$ and 0.01733 , respectively) and negatively correlated to the ash and cellulose contents (-0.17722 and -0.08922 , respectively). In rice straw, biological the biological efficiency was positively correlated to the ash and cellulose contents ($r= 0.29794$ and 0.12837 , respectively) and negatively correlated to the nitrogen and lignin contents ($r= -0.24152$ and -0.11653 , respectively). In coffee pulp, the biological efficiency was positively correlated to the nitrogen, lignin and cellulose contents ($r= 0.46476, 0.33370$ and 0.14300 , respectively) but negatively correlated to the ash content ($r=-0.47491$). The only statistically significant associations were those between the biological efficiency and the ash and nitrogen contents in coffee pulp ($r= 0.0092$; $P<0.01$ y $r= 0.0167$; $P<0.05$). A linear model with zero intercept was the best in describing the variation between the biological efficiency and the chemical composition in banana leaves ($R^2=0.9234, 0.9311, 0.9191, 0.9213$ for ash, nitrogen, lignin y cellulose respectively); for ash, cellulose and nitrogen in rice straw ($R^2= 0.9014, 0.8935$ and 0.8852 , respectively) and for nitrogen, lignin and cellulose in coffee pulp ($R^2= 0.9654, 0.9641$ and 0.9588 , respectively). A quadratic model was the best for lignin in rice straw ($R^2= 0.8901$) and for ash in coffee pulp ($R^2 = 0.9659$). The variation of the biological efficiency in terms of the substrates is demonstrated. A controlled multiple factorization analysis is recommended.

KEY WORDS: *Pleurotus ostreatus*; edible fungi; cultivation substrate; rice straw; coffee pulp; leaves; banana leaves.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de hongos comestibles, utilizando como sustratos, desechos lignocelulósicos provenientes de la agroindustria, se ha convertido en una alternativa biotecnológica para la reducción de la contaminación (Thomas y col., 1998). El residuo que queda es menos voluminoso, el proceso de producción de hongos es eficiente, su costo es relativamente bajo y proporciona la posibilidad de recuperación proteica (Zhang y col., 2002).

En Panamá se produce gran cantidad de residuos lignocelulósicos a partir de las actividades agroindustriales, lo cual hace necesaria la aplicación de metodologías para disponer de estos desechos (Vega y col., 2004).

El género *Pleurotus* ostenta el segundo lugar en producción mundial (24%). Esto se debe a su excelente calidad, desde el punto de vista organoléptico, a la facilidad de su cultivo, ya que no presenta una rigurosa selectividad química, se adapta a un amplio rango de temperaturas y no se requiere pre-tratamientos laboriosos de sustrato (Sánchez y Royse, 2001).

Los factores que influyen sobre el crecimiento y la fructificación de los hongos comestibles son el pH, la temperatura, el porcentaje de humedad del aire, la aereación y el sustrato. Respecto al sustrato es importante su composi-

ción química, el contenido de humedad y el tamaño de partícula (Miles, 1993).

Las especies de hongos comestibles difieren en sus requerimientos en cuanto a la naturaleza química del sustrato. Para el caso de *Pleurotus ostreatus*, se ha demostrado que los mejores sustratos son aquellos pobres en nitrógeno, pero con relativamente altos contenidos de celulosa y lignina, que son utilizadas como fuente de carbono. Respecto a los minerales, se ha reportado el requerimiento de calcio y la poca incidencia del NaCl sobre el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Sánchez y Royse, 2001). Sin embargo, en la literatura revisada no se discute a profundidad sobre la información cuantitativa respecto a los requerimientos minerales.

Diversos reportes informan sobre los rendimientos de *Pleurotus* en diferentes desechos agroindustriales. Algunos desechos agroindustriales sobre los que se ha realizado el cultivo de hongos comestibles de género *Pleurotus* son: Paja de arroz, de trigo y de cebada; pulpa de café fermentada y sin fermentar, bagazo de caña y residuos de coco entre otros (Thomas y col., 1998; Wang y col., 2001; Zhang y col., 2002). La eficiencia biológica, es decir, la relación porcentual entre el peso de los hongos frescos obtenidos por unidad de peso seco del sustrato utilizado, obtenida con los sustratos mencionados es variable, pero, en general,

superior al 75%. Dada la variación intra e interespecífica respecto a las cepas, así como los diferentes factores que inciden sobre la composición química de un desecho, entre ellos, la especie, condiciones de cultivo, manipulaciones post-cosecha y almacenamiento, es necesaria la evaluación del cultivo de cepas de *Pleurotus* en desechos de composición química conocida provenientes de la agroindustria panameña.

Más aún, en los reportes sobre producción de hongos comestibles no existen estudios de las relaciones entre indicadores químicos con la eficiencia biológica del proceso. Los pocos estudios revisados, discuten estos aspectos por cada indicador químico y no en función de los sustratos utilizados (Thomas y col., 1998).

Los desechos lignocelulósicos proporcionan los componentes químicos necesarios para el cultivo de hongos y, generalmente la atención se centra sobre las cepas ensayadas. El estudio del proceso de producción en función de los sustratos también es importante, debido a que el hongo pasa por diversas etapas desde el crecimiento micelial hasta la fructificación. En consecuencia, el modelo de utilización de los nutrimentos puede ser complejo y las formas en que los mismos se relacionan con la eficiencia del cultivo pueden ser diversas.

Por lo anterior, esta investigación planteó los siguientes objetivos:

- Estudiar el cultivo de una cepa de *Pleurotus ostreatus* en tres desechos agroindustriales de composición química conocida.
- Determinar el grado de asociación de la eficiencia biológica con los componentes químicos de cada sustrato.
- Establecer el perfil de la relación entre la eficiencia biológica y los componentes químicos de cada sustrato.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó en la Planta de Hongos Comestibles del Laboratorio de Recursos Naturales, Universidad Autónoma de Chiriquí durante el segundo semestre del 2003.

Organismos

Se utilizó la cepa *Pleurotus ostreatus* RN 8, la cual proviene del cepario del Laboratorio de Recursos Naturales de la Universidad Autónoma de Chiriquí, en donde se mantiene a $23^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$, en medio Papa Dextrosa Agar (PDA), con transferencia periódica.

Preparación de inóculo

Se preparó el inóculo de la cepa RN 8 utilizando granos de sorgo

(*Sorghum vulgaris*), previamente sometidos a hidratación por 24 horas a temperatura ambiente. Drenada el agua en exceso, porciones de 100 g se empacaron en bolsas de polietileno y se sometieron a esterilización por una hora a 121°C. Una vez a temperatura ambiente, se inoculó el sorgo con la cepa RN 8 y se almacenaron las bolsas en la oscuridad a temperatura de $23^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Preparación de los sustratos

De acuerdo a la metodología de Guzmán y col. (1993), los sustratos se pasteurizaron en agua a 85°C por un período de 80 min, utilizando tres canastas de 6.4 kg (peso seco) para cada sustrato. Al final del período de pasteurización se drenó el agua en exceso y se permitió que los sustratos se estabilizaran a temperatura ambiente en el cuarto de siembra bajo condiciones de asepsia.

Siembra

Se empacaron bolsas de polietileno con 2 kg de cada sustrato (peso húmedo) y un porcentaje de inoculación del 5% con la generación F_2 del inóculo de la cepa RN 8.

Incubación

Las bolsas se mantuvieron en el cuarto de incubación a 23°C y hume-

dad de 70.6% por 45 días. Durante este período se observó la posibilidad de contaminación por organismos competidores con el micelio del hongo así como el desarrollo del micelio.

Cosecha

Luego del período de incubación las bolsas fueron trasladadas al cuarto de cosecha el cual se mantuvo a una temperatura promedio de 20.8°C y 89.2% de humedad relativa. Las bolsas fueron agujereadas para permitir el intercambio gaseoso y desarrollo de los carpóforos. Los carpóforos maduros se cosecharon en diferentes períodos y se registró su peso fresco y el tiempo de aparición de los mismos. La eficiencia biológica se expresó como el porcentaje de rendimiento de los hongos frescos sobre el peso seco del sustrato.

$$EB = \left(\frac{\text{Peso de los cuerpos fructíferos frescos}}{\text{Peso seco del sustrato}} \right) \times 100$$

El tiempo total de cultivo fue de 60 días.

Análisis Químico de los Sustratos

Los datos sobre la composición química del sustrato se tomaron de los trabajos de Vega y col. (2004) (Cuadro 1).

CUADRO 1. MEDIAS AJUSTADAS Y ERROR ESTÁNDAR DE LAS VARIABLES DE RESPUESTAS (COMPOSICIÓN QUÍMICA) POR SUSTRATO.

Sustrato	Ceniza	Nitrógeno	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa
Paja Arroz	11.72 ± 0.67a	1.58 ± 0.09a	8.57 ± 0.88a	34.31 ± 1.03a	28.46 ± 1.98a
Pulpa Café	5.22 ± 0.67b	3.04 ± 0.09b	26.02 ± 1.02b	33.16 ± 1.19b	6.94 ± 3.43b
Hoja Banano	11.80 ± 0.72a	1.78 ± 0.09a	18.35 ± 0.88c	29.53 ± 1.03a	13.08 ± 1.98a

Medias seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P > 0.05$). La composición corresponde a los sustratos pasteurizados (Vega y col., 2004).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico de los Datos

Los datos fueron analizados a través de un modelo jerárquico con técnicas de muestreo aleatorio (Searle, 1971). La eficiencia biológica se consideró como variable de respuesta. Además, para la eficiencia biológica y la composición química se emplearon técnicas de regresión y correlación simple (Steel y Torrie, 1980).

El modelo matemático propuesto fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \delta_j(\tau_i) + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

- Y_{ijk} = es la observación cuantificada de la variable dependiente de la k-ésima submuestra dentro de la j-ésima canasta o réplica perteneciente al i-ésimo sustrato.
 μ = es la media general.

τ_i = es el efecto asociado al i-ésimo sustrato.

δ_j = es el efecto de la j-ésima canasta (réplica) dentro del i-ésimo sustrato. Este es el término de error para probar los estratos.

ε_{ijk} = es el error aleatorio asociado a la k-ésima submuestra obtenida de la j-ésima canasta perteneciente al i-ésimo sustrato.

$[\varepsilon_{ijk} = \gamma_k(\delta_j, \tau_i)]$. ε_{ijk} es $NID \sim \mu, \sigma^2$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza de acuerdo al modelo jerárquico propuesto para la eficiencia biológica se detalla en el Cuadro 2. Tomando el efecto de la canasta asignada a cada sustrato como la fuente de error para probar la significancia de las diferencias entre sustratos, se rechaza la hipótesis nula ($H_0: \tau_i = 0$) y se concluye que existen diferencias altamente significativas

CUADRO 2. CUADRADOS MEDIOS DE LA SUMA DE CUADRADO TIPO III PARA LA EFICIENCIA BIOLÓGICA.

F de V	gl	CM
		Eficiencia biológica
Sustrato	2	7756.18**
Canasta(Sustrato)	6	721.07 ^{ns}
Error	88	772.96
Total	96	-
CV, %		43.8%

** Diferencia significativa ($P < 0.05$).

ns= no hubo diferencia significativa ($P > 0.05$).

($P < 0.01$) entre sustratos para la eficiencia biológica.

La variabilidad entre las canastas dentro de los sustratos no resultó estadísticamente significativa ($P > 0.01$), existiendo mayor variabilidad entre las muestras obtenidas dentro de cada sustrato tal como se refleja a través del coeficiente elevado, pero aceptable para el tipo de variable dependiente estudiada, la cual se estima como un índice. Además, este coeficiente de variación se puede explicar en función de la naturaleza del ciclo de cultivo de los hongos comestibles. Como organismos vivos, es de esperarse que aunque se tengan condiciones similares para cada submuestra, el comportamiento metabólico puede no ser uniforme, sin que ello signifique falta de control experimental.

El Cuadro 3 presenta las medias ajustadas y el error estándar para las

eficiencias biológicas en cada sustrato. La mayor eficiencia biológica se obtuvo en la paja de arroz superando ($P < 0.05$) a la pulpa de café y a la hoja de banana en 17.2% y 30.9%, respectivamente. La diferencia entre ambos fue de 13.7% y no fue significativa ($P > 0.05$).

De acuerdo a la caracterización química de la paja de arroz, Vega y col. (2004) determinaron que éste fue el sustrato con menor contenido de nitrógeno ($1.59 \pm 0.11\%$). La elevada eficiencia biológica obtenida a pesar del bajo contenido de nitrógeno, se explica por los bajos requerimientos de este componente para el género *Pleurotus* (Sánchez y Royse, 2001; Eger, 1978).

La eficiencia biológica obtenida en la paja de arroz ($80.3 \pm 4.90\%$) es similar a la obtenida en otros estudios (Sánchez y Royse, 2001; Zhang y col., 2002). Los hongos del género *Pleurotus* se clasifican como ligno-

CUADRO 3. MEDIAS AJUSTADAS Y ERROR ESTÁNDAR DE LA EFICIENCIA BIOLÓGICA POR SUSTRATO.

Sustrato	Eficiencia Biológica (EB)
Paja de arroz	80.3± 4.90% ^a
Pulpa de café	63.1± 4.90% ^b
Hoja de banano	49.4± 4.50% ^b

Medias seguidas de una misma letra no difieren entre sí ($P>0.05$), según la Prueba de Rango Múltiple de Duncan.

celulolíticos pues poseen enzimas que les capacitan para utilizar los polímeros de la pared celular como fuente de carbono (Rajarithnam y col., 1998). Así, la eficiencia biológica obtenida en la paja de arroz pasteurizada demuestra el aprovechamiento de las fuentes de carbono presentes.

En la literatura revisada al momento de realizar esta investigación, no se reportan datos sobre producción de *Pleurotus ostreatus* en pulpa de café pasteurizada ni en hojas de banano. Se dispone solamente de datos con pulpa de café fermentada y hongos *Pleurotus ostreatus* o con hojas de banano como sustrato y otras especies de *Pleurotus*. Por lo anterior, no es posible confrontar estos resultados en pulpa de café y hojas de banano con dicha literatura.

El Cuadro 4 presenta el resultado del análisis de correlación para los indicadores de calidad y la eficiencia biológica para cada sustrato.

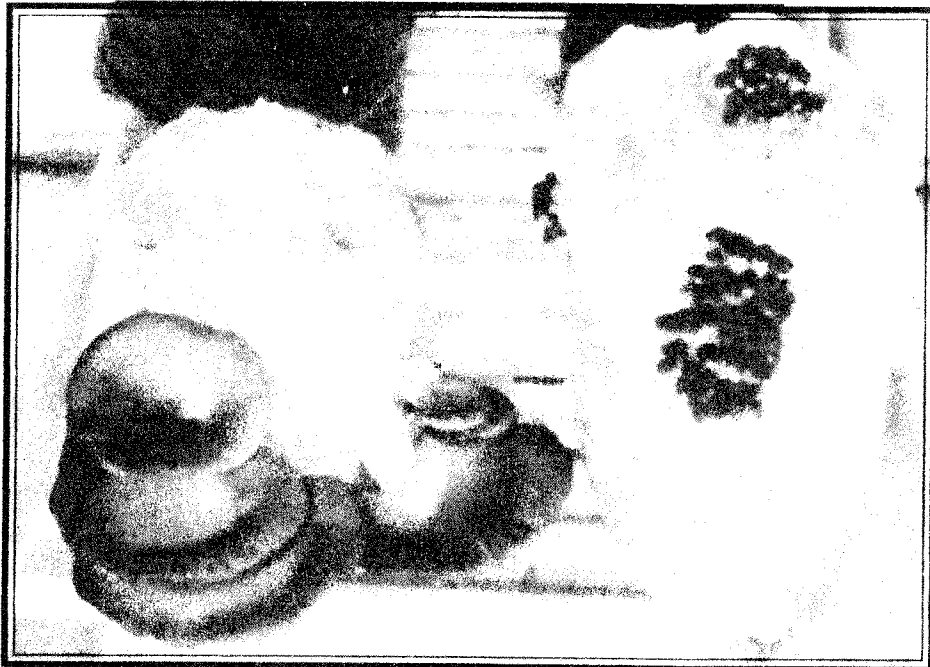
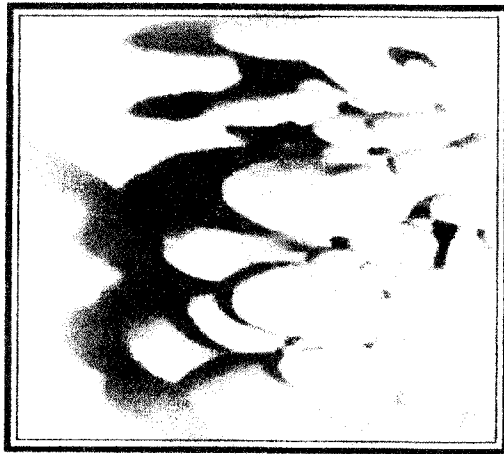
En la hoja de banano, la eficiencia biológica se correlacionó positivamente con el contenido de nitrógeno ($P<0.05$), aunque el grado de asociación se califique como bajo. Sin embargo, entre lignina y eficiencia biológica no existió asociación alguna, pero su tendencia fue positiva; contrario a lo encontrado con cenizas y celulosa cuyos grados de asociación fueron bajos, pero de tendencia negativa y no significativos ($P>0.05$).

En la paja de arroz, todas las asociaciones con la eficiencia biológica fueron no significativas, pero entre cenizas y celulosa la asociación es de tendencia positiva, no así para nitrógeno y lignina. En la pulpa de café, la eficiencia biológica se correlacionó positivamente y en un grado medio ($P<0.01$) y medio bajo con los contenidos de nitrógeno y lignina, respectivamente, pero el coeficiente para la lignina no fue significativo ($P>0.05$); con la celulosa el grado de asociación fue bajo, pero no diferente de cero ($P>0.05$). Por otra

CUADRO 4. CORRELACIONES ENTRE LA EFICIENCIA BIOLÓGICA Y COMPONENTES QUÍMICOS DE LOS TRES SUSTRATOS LIGNOCELULÓSICOS ESTUDIADOS.

Sustrato	Ceniza		Nitrógeno		Lignina		Celulosa	
	r	Pr	r	Pr	r	Pr	r	Pr
Paja de arroz	0.29794	0.1312	-0.24152	0.2256	-0.11653	0.5877	0.12837	0.5500
Pulpa de café	-0.47491	0.0092	0.46476	0.0167	0.33370	0.1393	0.14300	0.5363
Hoja de banano	-0.17722	0.3011	0.21409	0.2241	0.01733	0.9225	-0.0892	0.6158

r = coeficiente de correlación de Pearson.



Fructificaciones de *Pleurotus ostreatus*, cepa RN 8 sobre paja de arroz

CUADRO 5. PARÁMETROS DE REGRESIÓN (\pm EE) PARA LA EFICIENCIA BIOLÓGICA Y LOS INDICADORES QUÍMICOS DE CADA SUSTRATO.

Sustrato / Componente	Parámetros			
	β_1	β_2	R ²	CV
<i>Paja de arroz</i>				
Ceniza	0.0777**	-	0.9014	33.96
	-0.0509 ^{ns}	0.0109 ^{ns}	0.9069	33.74
Nitrógeno	0.059**	-	0.8852	36.64
	2.423*	-1.165 ^{ns}	0.8988	35.17
Lignina	0.7014**	-	0.8484	42.11
	0.2270**	0.0137**	0.8901	36.65
Celulosa	0.0264**	-	0.8935	35.29
	0.0349 ^{ns}	-0.0002 ^{ns}	0.8939	36.01
<i>Pulpa de Café</i>				
Ceniza	0.1365**	-	0.8647	38.46
	0.3049**	-0.0306**	0.9659	19.81
Nitrógeno	0.2293**	-	0.9654	19.44
	0.1854 ^{ns}	0.0140 ^{ns}	0.9656	19.91
Lignina	0.0271**	-	0.9641	19.80
	0.0121 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.9646	20.17
Celulosa	0.0212**	-	0.9586	21.28
	0.0340*	-0.0004 ^{ns}	0.9609	21.21
<i>Hoja banano</i>				
Ceniza	0.0435**	-	0.9234	29.16
	0.1483*	-0.0089 ^{ns}	0.9299	28.33
Nitrógeno	0.2881**	-	0.9311	27.66
	0.3085 ^{ns}	-0.0113 ^{ns}	0.9311	28.08
Lignina	0.0277**	-	0.9191	29.97
	0.0536**	-0.0014 ^{ns}	0.9275	28.82
Celulosa	0.0173**	-	0.9213	29.56
	0.0404**	-0.0008 ^{ns}	0.9282	28.68

* Diferencia significativa (P<0.05). ** Diferencia altamente significativa (P<0.01).

β_1 y β_2 = coeficiente parcial de regresión lineal y cuadrático.

CV = Coeficiente de variación.

parte, la correlación con el contenido de cenizas fue negativo, pero altamente significativo ($P < 0.01$). Los bajos niveles de asociación por cada indicador sugieren que el proceso de producción de hongos es un fenómeno multifactorial (Stamets, 1993; Sánchez y Royse, 2001) donde diferentes factores físicos, químicos y mecánicos, muestran interdependencia, por lo que un solo indicador parece no explicar significativamente la variación de la eficiencia biológica.

Además, puede darse el caso de que el hongo utiliza mayormente la fuente de carbono más disponible (Wang y col., 2001) que depende de la estructura del material vegetal. Se infiere entonces que en la paja de arroz, la celulosa fue una fuente de carbono más disponible que la lignina. Por otro lado, el grado de asociación entre la lignina y la celulosa sugiere también la mayor utilización de la lignina en la hoja de banano. En cuanto a la variable cenizas, la literatura revisada reporta algunos estudios en cuanto a los contenidos de fósforo y potasio, en cantidades limitantes, más no frente a excesos de estos mismos nutrientes (Sánchez y Royse, 2001), por lo que no es posible hacer comparaciones con dicha literatura.

El Cuadro 5 presenta los parámetros de regresión para la eficiencia biológica y los indicadores químicos en cada sustrato.

En la hoja de banano, el modelo que mejor se ajusta o explica la variación de la eficiencia biológica en función de los indicadores químicos (cenizas, nitrógeno, lignina y celulosa) fue el modelo lineal sin intercepto, explicado por su alto coeficiente de determinación, significancia del modelo y de los parámetros y su bajo coeficiente de variación. Además, al analizar los residuales no se detectaron puntos muy distantes de la distribución alrededor del cero. Así, por cada unidad de cambio en el contenido de cenizas, la eficiencia biológica se incrementaría en 0.0435%; en 0.2881% por cada unidad de cambio en nitrógeno; en 0.0277% por cada unidad de cambio en lignina; y en 0.0173% por cada unidad de cambio en el contenido de celulosa.

En la paja de arroz, el modelo lineal también se ajustó satisfactoriamente para las asociaciones entre la eficiencia biológica y los contenidos de cenizas, celulosa y nitrógeno. Para este sustrato, por cada unidad de cambio en el contenido de cenizas, nitrógeno y celulosa, la eficiencia biológica se incrementaría en 0.0777, 0.0569 y 0.0264%, respectivamente. Para la lignina se ajustó mejor el modelo cuadrático (Cuadro 4).

En la pulpa de café, la variación entre la eficiencia biológica y las variables nitrógeno, lignina y celulosa se explica a través del modelo lineal. De

acuerdo a este modelo, la eficiencia biológica aumenta por cada unidad de cambio en el contenido de nitrógeno, lignina y celulosa en 0.2293, 0.0271 y 0.0212%, respectivamente. Para la variable ceniza se encuentra un modelo de variación cuadrático.

La literatura revisada a la fecha no presenta diseños experimentales de correlaciones entre variables ni análisis de regresión para el establecimiento de perfiles de variación. Por ello no podemos comparar los resultados del presente estudio con otros trabajos similares. Thomas y col. (1998) presentan un análisis de correlación general entre el rendimiento de hongos frescos (peso de hongos cosechados) y los indicadores químicos, pero no detalla las correlaciones por cada sustrato utilizado.

En función de la eficiencia biológica observada, la paja de arroz es un buen sustrato para el cultivo de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus*. Respecto a la pulpa de café, la eficiencia biológica obtenida ($63.1 \pm 4.90\%$) no es óptima, pero aún aceptable. Debe revisarse el proceso de producción completo en este sustrato para optimizar su eficiencia. La utilización de estos desechos agroindustriales como sustratos para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, proporciona alternativas para la reducción de la biomasa proveniente de la agroindustria.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en que se realizó el presente estudio se derivan las siguientes conclusiones:

- La eficiencia biológica de la cepa de *Pleurotus ostreatus* varió de acuerdo al tipo de sustrato.
- Se encontraron grados de asociación bajos para la eficiencia biológica y los indicadores de composición química.
- Existe una relación entre la eficiencia biológica y los componentes de cada sustrato, la cual se explica principalmente por modelos lineales.

RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar un análisis multifactorial controlado para evaluar las contribuciones de diferentes factores relacionados al proceso de producción de hongos comestibles y concluir con mayor precisión sobre el aporte de los indicadores químicos sobre dicho proceso.
- ❖ Realizar experimentos para evaluar modelos de producción no a escala de cultivo en planta sino a escala de laboratorio para obtener un mejor control del proceso.

BIBLIOGRAFÍA

- EGER, R. 1978. Biology and breeding of *Pleurotus*. In The biology and cultivation of edible mushrooms. Chang, S.ST. Hayes, W.A. Editors. Academic Press. New York. USA.
- GUZMÁN, G.; MATA, G.; SALMONES, D.; SOTO-VELASCO, C.; GUZMÁN-DÁVALOS, L. 1993. El cultivo de hongos comestibles con especial atención a especies tropicales en esquilmos y residuos agroindustriales. IPN, México. pp. 75-91.
- MILES, P.G. 1993. Biological background for Mushroom breeding. In Genetics and Breeding of Edible Mushroom. Chang, A.; Buswell, J.; Miles, P.G. (eds.) Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
- RAJARATHNAM, S.; SHASHIREIKA, M.; BANO, Z. 1998. Biodegradative and biosynthetic capacities of Mushrooms: Present and Future Strategies. Critical Reviews in Biotechnology 18 (2/3): 91-236.
- SÁNCHEZ, J.E.; ROYSE, D. 2001. La Biología y el cultivo de *Pleurotus* spp. Limusa, México. D.F.
- SEARLE, S.R. 1971. Linear models. Ed. John Wiley and Sons. New York, USA.
- STAMETS, P. 1993. Growing gourmet and medicinal Mushrooms. Ten Speed Press, California, USA.
- STEEL, R. G. B.; TORRIE, J.H. 1980. Principles and procedures of Statistics: A biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- THOMAS, G.V.; PRABHU, S.R.; REENY, M.Z.; BOPAIAH, B.M. 1998. Evaluation of lignocellulosic biomass from coconut palm as substrate for cultivation of *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Singer. W.J. Microbiol. Biotechnology 14: 879-882.
- VEGA, A.; CABALLERO, R.E.; GUERRA, P. 2004. Caracterización química de desechos agroindustriales y efecto de la pasteurización para su utilización como sustratos en el cultivo de hongos comestibles. Panamá. 2002. Ciencia Agropecuaria (Panamá) 14: 1-14.
- WANG, D.; SAKODA, A.; SUZUKI, M. 2001. Biological efficiency and nutritional value of *Pleurotus ostreatus* cultivated in spent beer grain. Biores. Tech. 78: 293-300.
- ZHANG, R.; LI, X.; FADEL, J.G. 2002. Oyster mushroom cultivation with rice and wheat straw. Biores. Tech. 82: 277-284.