

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA EN ESTADO FRESCO DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES Y EFECTO DE LA PASTEURIZACIÓN PARA SU UTILIZACIÓN COMO SUSTRATOS EN EL CULTIVO DE HONGOS COMESTIBLES. PANAMÁ. 2002.

Aracelly Vega-Ríos ¹; Rosa Elena Caballero ¹; Pedro Guerra M. ²

RESUMEN

La biomasa lignocelulósica de la paja de arroz (*Oriza sativa*), pulpa de café (*Coffea arabica*) y hojas de banano (*Musa sapientis*), fue evaluada en estado fresco y pasteurizado con el propósito de conocer su composición química, en términos de indicadores de calidad para el cultivo de hongos comestibles como: contenido de nitrógeno, celulosa, hemicelulosa y lignina. Los datos se analizaron mediante un modelo jerárquico con técnicas de muestreo aleatorio. El efecto de la pasteurización sobre los indicadores de calidad se estimó mediante análisis diferencial aplicando el mismo modelo. Se encontró que los sustratos difieren significativamente en su composición química ($P < 0.01$), tanto en el estado fresco como en el estado pasteurizado, siendo el sustrato más rico en nitrógeno la pulpa de café ($3.01\% \pm 0.11$ y $3.04\% \pm 0.09$, respectivamente). En ambos estados el contenido de cenizas fue mayor en la paja de arroz ($13.65\% \pm 0.75$ en el estado fresco y $11.72\% \pm 0.67$ en el estado pasteurizado) y la hoja de banano ($14.20\% \pm 0.70$ en el estado fresco y $11.80\% \pm 0.72$ en el estado pasteurizado), en comparación con la pulpa de café. El contenido de lignina presentó diferencias altamente significativas en el estado fresco de los sustratos, siendo mayor en la pulpa de café ($20.97\% \pm 0.73$) y menor en la paja de arroz ($5.74\% \pm 0.63$). En el estado pasteurizado, las diferencias en los contenidos de lignina fueron significativas con igual tendencia que para el estado fresco (paja de arroz, $8.57\% \pm 0.88$; pulpa de café, 26.02 ± 1.02 ; hoja de banano, 18.35 ± 0.88). Los mayores contenidos de celulosa se obtuvieron con la paja de arroz ($33.92\% \pm 1.24$ en el estado fresco y $34.31\% \pm 1.03$ en el estado pasteurizado) y la pulpa de café ($36.51\% \pm 1.44$ en el estado fresco y $33.16\% \pm 1.19$ en el estado pasteurizado). Sin embargo, el nivel de significancia fue más alto ($P < 0.01$) para las tendencias en el estado fresco. El efecto de la pasteurización sobre los indicadores de calidad no fue significativo ($P > 0.05$) en cenizas, nitrógeno y hemicelulosa, pero altamente significativo para el indicador celulosa. Con el indicador lignina se encontró un efecto significativo. El análisis diferencial demostró que la

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

² Ing. Agr. Zoot., M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. Estación Experimental de Gualaca. IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria Occidental (CIAOC). e-mail: pguerra@idiap.gob.pa

hoja de banano fue el sustrato con mayor respuesta al tratamiento de pasteurización principalmente para los indicadores lignina y celulosa. Las diferencias encontradas en la composición química demuestran que los sustratos evaluados proporcionan un medio para el cultivo de diferentes especies de hongos comestibles. Se recomienda tomar al estado pasteurizado del sustrato como estado inicial para el proceso de producción de hongos comestibles.

PALABRAS CLAVES: Biomasa lignocelulósica; hongos comestibles; desechos agroindustriales; celulosa; hemicelulosa; lignina.

FRESH STATE CHEMICAL CHARACTERIZATION OF AGROINDUSTRIAL BYPRODUCTS AND THE EFFECT OF PASTEURIZATION FOR ITS USE AS SUBSTRATES ON EDIBLE MUSHROOM CULTIVATION. PANAMÁ, 2002.

Lignocellulosic biomass from as rice straw, coffee pulp and banana plant leaves, was chemically characterized to investigate on the following mushroom production quality indicators: nitrogen, cellulose, hemicellulose and lignin contents. The chemical characterization was performed on two substrate presentations: fresh and pasteurized. The data was analyzed by means of a hierarchic model and random sampling techniques. The pasteurization effect upon the quality indicators was estimated by means of a differential analysis and the application of the same hierarchic model. The results show a significant difference on chemical composition among the substrates ($P < 0.01$). This difference was observed both in the fresh and the pasteurized substrates. The substrate with the highest nitrogen content was coffee pulp, both in its fresh and pasteurized states ($3.01\% \pm 0.11$ y $3.04\% \pm 0.09$, respectively). Ash content was higher in rice straw and banana leaves, with a similar trend in both substrate states ($13.65\% \pm 0.75$ in the fresh state and $11.72\% \pm 0.67$ in the pasteurized state for rice straw; $14.20\% \pm 0.70$ in the fresh state and $11.80\% \pm 0.72$ in the pasteurized state for banana leaves). Lignin content showed highly significant differences in the fresh state of the substrates, with the highest and lowest values found in coffee pulp ($20.97\% \pm 0.73$) and rice straw ($5.74\% \pm 0.63$), respectively. In the pasteurized state, the differences in lignin contents were significant with the same trend as in the fresh state (rice straw, $8.57\% \pm 0.88$; coffee pulp, 26.02 ± 1.02 ; banana leaves, 18.35 ± 0.88). The highest cellulose content was found on rice straw and coffee pulp, both in the fresh and the pasteurized states (rice straw $33.92\% \pm 1.24$ in the fresh state and $34.31\% \pm 1.03$ in the pasteurized state; coffee pulp, $36.51\% \pm 1.44$ in the fresh state and $33.16\% \pm 1.19$ in the pasteurized state). Nevertheless, the significance level was higher for the fresh state trends. The pasteurization effect was not significant ($P > 0.05$) for ash, nitrogen and hemicellulose contents. The same effect was as highly significant for cellulose only ($P < 0.01$). For lignin, the effect was statistically significant ($P < 0.05$). Differential analysis showed that banana leaves were the substrates with the highest response level to the pasteurization process, mainly for lignin and cellulose contents. The observed differences in the chemical composition among the three tested substrates, show that they provide a choice spectrum for the cultivation of different species of edible mushrooms. It is advisable to use the pasteurized state values for the substrates as reference or control values for the edible mushroom cultivation processes.

KEY WORDS: Lignocellulosic biomass, edible mushroom, agroindustrial wastes, cellulose, lignocellulose, lignin.

INTRODUCCIÓN

En Panamá se produce gran cantidad de desechos lignocelulósicos provenientes de actividades agroindustriales. La producción nacional anual de rubros agrícolas como el café, banano y arroz son 207,891 quintales pilados, 13,054,008 quintales y 7,021,732 quintales, respectivamente. Los desechos que se producen de estos rubros se utilizan poco o no se utilizan. No existen reportes sobre la utilización de la hoja de banano, el pizote o la planta entera residual. Respecto a la paja de arroz, se conoce que de acuerdo a ciertas circunstancias particulares, ésta se incorpora al suelo con pases de arado. Sin embargo, la utilización sostenida de la paja de arroz no está documentada (CGR, 2001).

Los desechos lignocelulósicos agroindustriales son materiales que, en principio, constituyen un sustrato apropiado para el cultivo de diferentes especies de hongos comestibles (De León y col., 1989; Martínez-Carrera y col., 2000; Thomas y col., 1998; Zhang y col., 2002). El aprovechamiento que de esta forma se da a los desechos, es una alternativa para evitar su acumulación y aumentar el valor agregado de estos materiales.

La naturaleza química del sustrato es uno de los factores que determina su bioconversión, puesto que diferentes cepas de hongos comestibles tienen

requerimientos específicos respecto a la composición química del sustrato (Zadrazil, 1978; Rajarathnam y col., 1998). Por lo anterior, es necesario contar con la valoración química del desecho lignocelulósico que se ofrece como sustrato potencial para el cultivo de hongos comestibles. Esta caracterización se da en función de indicadores de calidad, relevantes para el cultivo de hongos comestibles, tales como los contenidos de nitrógeno, lignina, hemicelulosa y celulosa.

Además de la naturaleza química, otros criterios para la selección del material lignocelulósico a utilizar como sustrato para la producción de hongos comestibles son la disponibilidad del material, los costos que se asocian a la colecta y al transporte de este material desde el sitio de colecta hasta la planta de producción de hongos comestibles. Por ello, es importante contar con una variedad de sustratos caracterizados químicamente, en función de indicadores de calidad relevantes para el cultivo de hongos comestibles que facilite la actividad de producción, contribuya con la utilización racional y sostenible de estos recursos y se obtenga de ellos un valor agregado.

La literatura especializada reporta la caracterización química de diferentes sustratos utilizados en el cultivo de hongos comestibles en otras latitudes. La mayoría de estos reportes

proporcionan datos sobre la composición química de sustratos en estado fresco; y dependiendo del sustrato y de la técnica de cultivo, otros presentan datos sobre la composición química de sustratos fermentados (Martínez-Carrera, 2000). No abunda, en la literatura, comparaciones de la composición química entre sustratos frescos y pasteurizados. Estas comparaciones resultan importantes ya que los tratamientos que más comúnmente se aplican a los sustratos antes de iniciar el proceso de cultivo de hongos son la pasteurización y la fermentación. Por ello, es necesario investigar el efecto de la pasteurización sobre los indicadores de calidad ya mencionados.

La presente investigación se realizó con el primer objetivo de caracterizar químicamente sustratos como la paja de arroz, la pulpa de café y la hoja de banano en términos de indicadores de calidad para el cultivo de hongos comestibles, es decir, los contenidos de nitrógeno, celulosa, hemicelulosa y lignina tanto en sustratos frescos como en sustratos pasteurizados. El segundo objetivo consistió en determinar el efecto del proceso de pasteurización sobre el perfil químico de los sustratos en estado fresco, reflejado en los indicadores de calidad propuestos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del estudio: El presente estudio se realizó en el Laboratorio de

Recursos Naturales de la Universidad Autónoma de Chiriquí con sede en la ciudad de David, provincia de Chiriquí, República de Panamá.

Sustratos: Los sustratos agrícolas utilizados en el presente estudio fueron: paja de arroz, pulpa de café y hojas de banano.

Replicación: De cada bulto fresco de sustrato colectado se tomaron tres canastas de 6.4 kg (peso seco) como réplicas, las cuales fueron pasteurizadas. Separadamente se tomaron otras tres canastas de igual peso de sustrato colectado, las cuales no se sometieron a pasteurización sino que se llevaron directamente al proceso de toma de las submuestras.

Pasteurización: Los sustratos se pasteurizaron de acuerdo a la metodología de Guzmán y col. (1993). Esta metodología consiste en la inmersión del sustrato en agua a 85 °C por un período de 80 minutos. Al final del período de pasteurización se drenó el agua en exceso y se permitió que los sustratos se estabilizaran a temperatura ambiente.

Toma de las submuestras: De cada réplica o canasta de sustrato, se tomaron tres submuestras de 250 gramos cada una, las cuales fueron sometidas a la determinación química de los indicadores de calidad. La toma de las submuestras se realizó por el método

de cuarteo siendo éstas molidas a un tamaño de partícula de 2 mm. En el caso de las muestras pasteurizadas, el cuarteo se realizó en el salón de siembra, en condiciones de asepsia para proteger el estado de pasteurización del sustrato. Posteriormente, las submuestras de los sustratos pasteurizados se secaron al aire antes de ser molidas.

Análisis químico: El análisis químico consistió en la determinación de los indicadores de calidad del sustrato para el cultivo de hongos comestibles: contenidos de nitrógeno, lignina, hemicelulosa, celulosa y lignina. El contenido de nitrógeno de las submuestras de los sustratos fue determinado por el método de Kjeldahl (AOAC, 1976) y el fraccionamiento de la fibra se realizó de acuerdo a la metodología de Japan Livestock Technology Association (2000). Las submuestras se analizan por triplicado.

Análisis estadístico de los datos: Los datos fueron analizados a través de un modelo jerárquico con técnicas de muestreo aleatorio (Searle, 1971). Las variables de calidad señaladas anteriormente se consideraron como las variables de respuesta. Cada variable de calidad se analizó con el modelo propuesto en la fase fresca y pasteurizada. Posteriormente, el efecto de la pasteurización sobre estos parámetros se estimó mediante la diferencia entre el

estado fresco versus el estado pasteurizado (análisis diferencial); luego se procedió a analizarlas con el mismo modelo. En este análisis se excluye la hemicelulosa en la hoja de banano.

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.

$\delta_j(\tau_i)$ = 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.

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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza, de acuerdo al modelo jerárquico propuesto para las características químicas o indicadores de calidad de los sustratos frescos, se detallan en el Cuadro 1 y las características químicas o indicadores de calidad de los sustratos pasteurizados se presentan 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 (Cuadros 1 y 2) se rechaza la hipótesis nula ($H_0: \tau_i = 0$) en todas las variables de respuesta (características químicas o indicadores de calidad). En el Cuadro 1 se rechaza la hipótesis nula a una probabilidad estadística menor al 1% ($P < 0.01$) para ceniza, nitrógeno, lignina y celulosa y menor al 5% ($P < 0.05$) para hemicelulosa. Por lo tanto, se acepta que existen diferencias reales entre los sustratos evaluados en su estado fresco.

La variabilidad entre las canastas dentro de los sustratos resultó altamente significativa ($P < 0.01$) para el indicador cenizas y diferencias significativas ($P < 0.05$) en los indicadores lignina y hemicelulosa; pero no hubo

efecto significativo en características como nitrógeno y celulosa ($P > 0.05$) en el estado fresco del sustrato (Cuadro 1). La variabilidad encontrada a través del coeficiente de variación (CV) indica que existió un buen control del error experimental y sus valores están dentro de los parámetros recomendados (Steel y Torrie, 1980).

Por otra parte, también se rechaza la hipótesis nula, debido a que se encontró variabilidad altamente significativa ($P < 0.01$) entre sustratos para las características como cenizas, nitrógeno, lignina y hemicelulosa, pero significativa ($P < 0.05$) en celulosa. La variabilidad entre canastas dentro de cada sustrato fue altamente significativa en cenizas y nitrógeno, pero ninguna variabilidad significativa ($P > 0.05$) se encontró en el resto de las características en el estado pasteurizado del sustrato (Cuadro 2). Los CV están dentro de los rangos permitidos, a excepción de la hemicelulosa, el cual estuvo ligeramente arriba del 15%.

Los resultados del análisis diferencial (sustrato fresco versus sustrato pasteurizado) de las variables de calidad se detallan en el Cuadro 3.

El efecto de la pasteurización sobre las variables de calidad fue rechazada en variables como cenizas, nitrógeno y hemicelulosa ($P > 0.05$), pero aceptada altamente significativa ($P < 0.01$) en la celulosa y significa-

CUADRO 1. CUADRADOS MEDIOS DE LA SUMA DE CUADRADO TIPO III PARA CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS O INDICADORES DE CALIDAD DE LOS SUSTRATOS FRESCOS.

Fuente de Variación	CM		CM		CM		CM		CM
	g.l.	CENIZAS	g.l.	NITROGENO	g.l.	LIGNINA	CELULOSA	g.l.	
Sustrato	2	172.73**	2	3.034**	2	298.739**	275.415**	2	259.989*
Canasta(Sustrato)	6	4.408**	6	0.068ns	6	2.398*	9.278ns	5	37.908*
Error	17	0.017	9	0.044	8	0.695	4.063	6	7.347
Total	25	-	17	-	16	-	-	13	-
CV, %		1.16		9.28		6.68	6.52		12.95

CV = Coeficiente de Variación. CM = Cuadrado Medio.

** = P<0.01 * = P<0.05 ns = no significativo

CUADRO 2. CUADRADOS MEDIOS DE LA SUMA DE CUADRADO TIPO III PARA CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS O INDICADORES DE CALIDAD DE LOS SUSTRATOS PASTEURIZADOS.

Fuente de Variación	CM		CM		CM		CM		CM
	g.l.	CENIZAS	g.l.	NITROGENO	g.l.	LIGNINA	CELULOSA	g.l.	
Sustrato	2	125.062**	2	3.751**	2	401.507**	36.843*	2	519.188**
Canasta(Sustrato)	6	4.000**	6	0.048**	6	4.700ns	6.388ns	5	23.517ns
Error	17	0.014	9	0.008	8	2.153	6.124	6	10.641
Total	25	-	17	-	16	-	-	13	-
CV, %		1.23		4.23		8.51	7.65		17.35

CV = Coeficiente de Variación. CM = Cuadrado Medio.

** = P<0.01 * = P<0.05 ns = no significativo

tivamente ($P < 0.05$) en la lignina. Además, existió una variabilidad altamente significativa ($P < 0.01$) entre las réplicas (canastas) para las variables cenizas y nitrógeno, pero ninguna significancia ($P > 0.05$) para el resto de las variables. La diferencia entre el estado fresco y pasteurizado elevó extremadamente la variabilidad (varianza del error o variabilidad entre submuestras dentro de cada canasta) registrada a través de los CV.

El contenido de ceniza en la hoja de banano fue ligeramente más alto (4.0%) que el contenido de cenizas en la paja de arroz ($P > 0.01$), pero fue 126.1% más alto ($P < 0.01$) que en la pulpa de café (Cuadro 4). Por otra parte, el contenido de ceniza de la paja de arroz fue 117.4% superior ($P < 0.01$) al de la pulpa de café.

El mayor contenido de nitrógeno se encontró en la pulpa de café (3.01%), superando a la paja de arroz en 89.3% ($P < 0.01$) y a la hoja de banano en 38.1% ($P < 0.01$). La pulpa de café también superó a los otros sustratos en los contenidos de lignina y celulosa. El contenido de lignina en la pulpa de café fue de 20.97%, superando en 15.23 y 9.22 unidades porcentuales a la hoja de banano y paja de arroz, respectivamente. Todos los valores fueron diferentes entre sí ($P < 0.01$). La celulosa fue ligeramente alta ($P > 0.01$) en la pulpa de café en 2.59 unidades porcentuales con respecto a la paja de arroz

y en 13.36 unidades porcentuales en la hoja de banano. ($P < 0.01$). Entre la hoja de banano y paja de arroz la diferencia fue altamente significativa (33.92% versus 23.15%, respectivamente). Por otro lado, el contenido de hemicelulosa fue más bajo en la pulpa de café (8.82%) y difirió significativamente ($P < 0.01$) con respecto a la paja de arroz (17.89 unidades porcentuales) y hoja de banano (7.7 unidades porcentuales). Sin embargo, entre el contenido de hemicelulosa entre la paja de arroz y hoja de banano, no existió diferencia significativa ($P > 0.01$).

Si bien existen diferencias entre distintas variedades de un cultivo determinado, es posible establecer comparaciones entre las tendencias de los indicadores de calidad. En este sentido, la pulpa de café se reporta en la literatura como un sustrato rico en nitrógeno proteico, muy fibroso, principalmente por sus contenidos de lignina y celulosa más no así de hemicelulosa, siendo superior a la paja de arroz en su contenido proteico (Campabadal, 1987; Jarquín, 1987). Esto concuerda con los resultados del presente estudio. No se reporta en la literatura consultada al momento de realizar la presente investigación, datos correspondientes al análisis químico de la hoja de banano.

El contenido de ceniza en la hoja de banano, en estado pasteurizado, no

CUADRO 3. CUADRADOS MEDIOS DE LA SUMA DE CUADRO TIPO III PARA LAS DIFERENCIAS DE LAS VARIABLES DE CALIDAD ENTRE SUSTRATOS FRESCOS VERSUS PASTEURIZADOS.

Fuente de Variación	CM		CM		CM		CM		
	g.l.	CENIZAS	g.l.	NITRÓGENO	g.l.	LIGNINA		CELULOSA	g.l.
Sustrato	2	3.901ns	2	0.355ns	2	21.553*	125.763**	2	177.254ns
Canasta(Sustrato)	6	0.957**	6	0.131**	6	3.009ns	6.923ns	5	36.371ns
Error	17	0.035	9	0.017	8	3.699	14.637	6	20.874
Total	25	-	17	-	16	-	-	13	-
CV, %		10.9		103.0		-40.3	-268.9		210.4

CV = Coeficiente de Variación. CM = Cuadrado Medio.

** = P<0.01 * = P<0.05 ns = no significativo

CUADRO 4. MEDIAS AJUSTADAS Y ERROR ESTÁNDAR DE LAS VARIABLES DE RESPUESTAS POR SUSTRATO EN ESTADO FRESCO.

Sustrato	CENIZA	NITRÓGENO	LIGNINA	CELULOSA	HEMICELULOSA
Paja Arroz	13.65 ± 0.75 ^a	1.59 ± 0.11 ^a	5.74 ± 0.63 ^a	33.92 ± 1.24 ^a	26.80 ± 2.51 ^a
Pulpa Café	6.28 ± 0.70 ^b	3.01 ± 0.11 ^b	20.97 ± 0.73 ^b	36.51 ± 1.44 ^a	8.82 ± 4.35 ^b
Hoja Banano	14.20 ± 0.70 ^b	2.18 ± 0.11 ^c	11.75 ± 0.63 ^c	23.15 ± 1.24 ^b	19.10 ± 2.51 ^a

Medias en cada columna con la misma letra no difieren entre sí al 1% (P>0.01)

presentó diferencia significativa respecto al mismo contenido en paja de arroz, pero fue 126.1% más alto ($P < 0.05$) que en la pulpa de café (Cuadro 5). Por otra parte, el contenido de ceniza en la paja de arroz fue 124.5% superior ($P < 0.05$) al de la pulpa de café. El mayor contenido de nitrógeno en el estado pasteurizado se encontró en la pulpa de café al igual que en el estado fresco, superando la pulpa en 70.8% a la hoja de banano y en 92.4% a la paja de arroz ($P < 0.05$). Sin embargo, no existió diferencia significativa en el contenido de nitrógeno entre la paja de arroz y la hoja de banano ($P > 0.05$). Al igual que en el estado fresco, la pulpa de café superó a los otros sustratos en el contenido de lignina y celulosa.

El contenido de lignina en la pulpa de café superó a la hoja de banano en 7.67 unidades porcentuales y a la paja de arroz en 18.45 unidades porcentuales. Todos los valores difieren entre sí ($P < 0.05$).

El contenido de celulosa fue más alto en la pulpa de café que en la hoja de banano con una diferencia de 3.63 unidades porcentuales. Por otro lado, el contenido de celulosa en la paja de arroz fue ligeramente superior al mismo contenido en la pulpa de café ($P > 0.05$).

El contenido de hemicelulosa en la pulpa de café fue el más bajo, presentando una diferencia significativa

($P < 0.05$), respecto a la paja de arroz y a la hoja de banano. Sin embargo, entre estos dos últimos sustratos, no se observó diferencia significativa en cuanto al contenido de hemicelulosa.

No existe en la literatura revisada al momento de realizar esta investigación, datos sobre la composición química de los sustratos pasteurizados. Aquellos trabajos que reportan como estado inicial al sustrato pasteurizado, emplean paja de trigo y no paja de arroz (Adamovič y col., 1998). Otros trabajos que reportan la utilización de la paja de arroz, toman como estado inicial del sustrato a la muestra del sustrato inoculado al primer día de la siembra (Zhang y col., 2002). Por lo anterior, no es posible confrontar los resultados del presente estudio con la literatura.

El análisis diferencial (Cuadro 6) demostró que el sustrato más susceptible a la pasteurización fue la hoja de banano. Esta susceptibilidad se estimó en función del mayor grado de variabilidad encontrado en los indicadores de calidad para este sustrato, luego del proceso de pasteurización.

CONCLUSIONES

- ⊕ Se rechaza la hipótesis nula $H_0: T_1 = 0$, en los indicadores de calidad tanto para el estado

CUADRO 5. MEDIAS AJUSTADAS Y ERROR ESTÁNDAR DE LAS VARIABLES DE RESPUESTAS POR SUSTRATO EN ESTADO PASTEURIZADO.

Sustrato	CENIZA	NITRÓGENO	LIGNINA	CELULOSA	HEMICELULOSA
Paja Arroz	11.72 ± 0.67 ^a	1.58 ± 0.09 ^a	8.57 ± 0.88 ^a	34.31 ± 1.03 ^a	28.46 ± 1.98 ^a
Pulpa Café	5.22 ± 0.67 ^b	3.04 ± 0.09 ^b	26.02 ± 1.02 ^b	33.16 ± 1.19 ^a	6.94 ± 3.43 ^b
Hoja Banano	11.80 ± 0.72 ^a	1.78 ± 0.09 ^a	18.35 ± 0.88 ^c	29.53 ± 1.03 ^b	13.08 ± 1.98 ^a

Medias en cada columna con la misma letra no difieren entre sí al 5% (P>0.05).

CUADRO 6. MEDIAS AJUSTADAS Y ERROR ESTÁNDAR DEL DIFERENCIAL ENTRE EL ESTADO INICIAL Y PASTEURIZADO DE LAS VARIABLES DE RESPUESTAS POR SUSTRATO.

Sustrato	CENIZA	NITRÓGENO	LIGNINA	CELULOSA	HEMICELULOSA
Paja Arroz	1.93 ± 0.35 ^b	0.01 ± 0.15 ^a	-2.83 ± 0.72 ^b	-0.39 ± 1.07 ^a	-1.67 ± 2.46 ^a
Pulpa Café	1.05 ± 0.32 ^a	-0.03 ± 0.15 ^a	-5.04 ± 0.83 ^a	3.26 ± 1.24 ^a	6.01 ± 2.46 ^b
Hoja Plátano	2.39 ± 0.35 ^a	0.41 ± 0.15 ^a	-6.60 ± 0.72 ^a	-6.37 ± 1.07 ^b	-

Medias en cada columna con la misma letra no difieren entre sí al 5% (P>0.05)

fresco como para el estado pasteurizado de los sustratos analizados. Las diferencias significativas encontradas en la composición química de los sustratos medidas en términos de los indicadores de calidad propuestos, demuestran que ellos aportan variedad de alternativas para el cultivo de hongos comestibles.

- ✱ Se rechaza la hipótesis nula $H_0 T_i = 0$, respecto al efecto de la pasteurización en los indicadores de calidad por cuanto se encontró diferencia en los indicadores lignina y celulosa, luego del tratamiento de pasteurización. El mayor nivel de respuesta a la pasteurización se encontró en la hoja de banano.

RECOMENDACIONES

- ✱ De acuerdo a la composición química, la pulpa de café se recomienda para aquellas cepas cuyo desarrollo se favorece por un contenido de nitrógeno elevado. Asimismo, se recomienda para el cultivo de especies lignocelulolíticas por su alto contenido de lignina y celulosa. Sin embargo, la pulpa de café presenta sustancias como taninos y cafeína, consideradas sustancias antifisiológicas que deben ser evaluadas, tanto en los sustratos como en el cuerpos fructíferos.
- ✱ La hoja de banano se presenta como un buen sustrato para cepas con menores requerimientos de nitrógeno y aquellas cepas lignocelulolíticas. La paja de arroz, al igual que la hoja de banano, aportan un buen contenido de minerales, lo cual es importante para el desarrollo de los hongos. Además, la paja de arroz aporta un contenido elevado de celulosa y hemicelulosa, lo cual incide positivamente en la fructificación.
- ✱ En estudios sobre el cultivo de hongos comestibles debe tomarse como estado inicial del sustrato al estado pasteurizado.
- ✱ Se recomienda aumentar el espectro de sustratos posible mediante caracterización de otros desechos agroindustriales o bien por inclusión de otras partes de una misma muestra vegetal (tallos, hojas, etc). Se recomienda además la inclusión del estudio de otros indicadores de calidad en la caracterización química como, por ejemplo, azúcares libres, contenido de carbono, así como la detección de sustancias antifisiológicas, por ejemplo, taninos y cafeína.

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de Fundación Natura y del Programa Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) a través del sub-Programa IV: Biomasa como Fuentes de Productos Químicos y Energía.

BIBLIOGRAFÍA

- ADAMOVIĆ, M.; BRUBIĆ, G.; MILENKOVIĆ, I.; JOVANOVIĆ, R.; PROTIĆ, R.; SRETENOVIĆ, L.; SOTIĆEVIĆ, L.J. 1998. The biodegradation of wheat straw by *Pleurotus ostreatus* mushrooms and its use in cattle feeding. *Animal Feed Science Technology* 71: 357-362.
- AOAC. 1976. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 12th ed. Washington D.C., USA. 1015 p.
- BUSWELL, J.A.; CLA, Y.J.; CHANG, S.T.; PEBERDY, J.F.; FU, S.Y.; YU, H.S. 1996. Lignocellulolytic enzyme profiles of edible mushroom fungi. *W. J. Microbiol. Biotechnol.* 12: 537-542.
- CRG. 2001. Panamá en Cifras. Dirección de Estadística y Censo. Contraloría General de la República. Panamá, Panamá. 304 p.
- DE LEÓN, R.; PORRES, C.; POLTZ, C.; CAMPOS, N. 1987. Crecimiento de hongos sobre la pulpa de café. *En Aprovechamiento de subproductos y tratamiento de efluentes del beneficio del café: Memorias del tercer simposio internacional sobre la utilización integral de los subproductos del café.* Porres, C.; Rodas, C.; Calzada, J.F. (eds). Guatemala, Guatemala. 115 p.
- EGER, R. 1978. Biology and breeding of *Pleurotus*. *In The biology and cultivation of edible mushrooms.* Chang, S.T.; Hayes, W.A. (eds.) Academic Press. New York, USA. 213 p.
- 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. I. P. N. México. pp. 75-91.
- HANG, R.; LI, X.; FADEL, J.G. 2002. Oyster Mushroom cultivation with rice and wheat straw. *Biores. Tech.* 82: 277-284.
- JLTA. 2000. Technical Manual for Feed Analysis. Japan Livestock Technology Association. Japan. pp.10-14.

- MARTÍNEZ-CARRERA, D.; AGUILAR, A.; MARTÍNEZ, W.; BONILLA, M.; MORALES, P.; SOBAL, M. 2000. Commercial production and marketing of edible mushrooms cultivated on coffee pulp in Mexico. *In Coffee Biotechnology and Quality*. pp. 471-488. Sera, T. y col. (eds.). Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
- RAJARATHNAM, S.; SHASHIREKHA, M.; BANO, Z. 1998. Biodegradative and biosynthetic capacities of Mushrooms: Present and Future strategies critical. *Reviews in Biotechnology* 18 (2/3): 91-236.
- SEARLE, S.R. 1971. *Linear models*. John Wiley and Sons. New York, USA. 575 p.
- STEEL, R.G.B.; J.H. TORRIE. 1980. *Principles and procedures of Statistics: Abiometrical approach*. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company. New York, USA. 633 p.
- THOMAS, G.V.; PRABNU, 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. Biotechnol.* 14: 879-882.