

Optimum substrate using Pinus chips, Eucalyptus chips and Corn cob for maximizing the production capacity of Oyster mushroom

Jorge Armando García, B.Sc.^{1,2}, Gabriela Barraza-Jáuregui, M.Sc.³, y Alberto Claudio Miano, Ph.D.⁴

¹Certificaciones del Perú S.A., División Decofrut, Perú, jgarcia@cerper.com

² Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad César Vallejo, Perú, jgarcia@cerper.com

³ Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gbarraza@unitru.edu.pe

⁴ Dirección de investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, alberto.miano@upn.edu.pe

Abstract– This work aimed to optimize the production capacity of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*), using as substrates vegetables residues: pine chips (*Pinus sylvestris*), eucalyptus chips (*Eucalyptus globulus*) and corn cob (*Zea mays*). For this the Simplex Centroid design (mixture design) was used, considering 10 treatments (0 – 100% of the three substrates). An ANOVA was applied to evaluate differences ($p < 0.05$) among the treatments. As main results, pine chips increased the production capacity of oyster mushrooms and eucalyptus chips reduced it. By the desirability function of this methodology, the optimum mixture of substrates was found. This mixture should be made of 100% of pine chips, 0% of eucalyptus chips and %g of corn cob. Finally, a mathematical model was obtained ($R^2 > 0.98$) which predicts the production capacity of oyster mushrooms using these three substrates.

Keywords– *Pleurotus ostreatus*, *Pinus sylvestris*, *Eucalyptus globulus*, Agroindustry residues, optimization

Sustrato óptimo entre viruta de Pino, viruta de Eucalipto y coronta de Maíz para maximizar la capacidad productiva de Hongo Ostra

Optimum substrate using Pinus chips, Eucalyptus chips and Corn cob for maximizing the production capacity of Oyster mushroom

Jorge Armando García, B.Sc.^{1,2}, Gabriela Barraza-Jáuregui, M.Sc.³, y Alberto Claudio Miano, Ph.D.⁴

¹Certificaciones del Perú S.A., División Decofrut, Perú, jgarcia@cerper.com

² Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad César Vallejo, Perú, jgarcia@cerper.com

³ Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gbarraza@unitru.edu.pe

⁴ Dirección de investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, alberto.miano@upn.edu.pe

Resumen– El presente estudio tuvo por finalidad optimizar la capacidad productiva del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*), haciendo uso de residuos vegetales como viruta de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), viruta de pino (*Pinus sylvestris*) y coronta de maíz (*Zea mays*). Para lo cual se empleó un Diseño Simplex con Centroide Ampliado realizándose un total de 10 tratamientos, tomando rangos entre 0 a 100 % p/p de cada sustrato. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) encontrándose diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos y demostrando que la viruta de pino aumenta la capacidad productiva y la viruta de eucalipto la disminuye. En la función de deseabilidad se observó que para poder obtener una mayor capacidad productiva se debe realizar un tratamiento conformado por 100% de viruta de pino, 0% de viruta de eucalipto y 0% de coronta de maíz. Finalmente se obtuvo un modelo correspondiente para cada variable dependiente ($R^2 > 0.98$) el cual tiene como utilidad la predicción de la capacidad productiva al utilizar los sustratos empleados en la presente investigación.

Palabras clave– *Pleurotus ostreatus*, *Pinus sylvestris*, *Eucalyptus globulus*, residuo agroindustrial, optimización.

Abstract– This work aimed to optimize the production capacity of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*), using as substrates vegetables residues: pine chips (*Pinus sylvestris*), eucalyptus chips (*Eucalyptus globulus*) and corn cob (*Zea mays*). For this the Simplex Centroid design (mixture design) was used, considering 10 treatments (0 – 100% of the three substrates). An ANOVA was applied to evaluate differences ($p < 0.05$) among the treatments. As main results, pine chips increased the production capacity of oyster mushrooms and eucalyptus chips reduced it. By the desirability function of this methodology, the optimum mixture of substrates was found. This mixture should be made of 100% of pine chips, 0% of eucalyptus chips and %g of corn cob. Finally, a mathematical model was obtained ($R^2 > 0.98$) which predicts the production capacity of oyster mushrooms using these three substrates.

Keywords– *Pleurotus ostreatus*, *Pinus sylvestris*, *Eucalyptus globulus*, agro-industrial waste, optimization

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de hongos comestibles en la actualidad surge como una alternativa para poder obtener alimentos ricos en proteínas para el consumo humano, el cual no requiere de un alto costo de producción ni periodos largos de cultivo [1]. En cuanto al valor nutricional de *Pleurotus ostreatus* (hongo ostra), Breene [2] indica que esta especie posee un elevado contenido de vitaminas tales como: Tiamina (B1), Riboflavina (B2), Piridoxina (B6), además contiene todos los aminoácidos esenciales, lo que lo hace poseedor de un valor nutritivo mayor que la proteína vegetal y muy similar a la proteína animal [3, 4].

Se estima que en la tierra existen alrededor de 1.5 y 2.5 millones de especies de hongos, de las que solamente se conocen 7.000 básicamente comestibles [5, 6]. Uno de los hongos que más se cultivan y se estudian actualmente es *Pleurotus ostreatus*, debido a la facilidad de su cultivo y al gran aporte nutricional que brinda esta seta [7].

El ciclo de vida del hongo está dividido en dos fases: el crecimiento vegetativo (esporas y micelio) y el crecimiento reproductivo o cuerpo fructífero [8]. Para la propagación y cultivo de *Pleurotus ostreatus* se hace uso de un inóculo desarrollado principalmente en granos de cereales (trigo, arroz, cebada, sorgo, etc.) [8], para luego ser utilizado como semilla en el sustrato definitivo donde se llevará a cabo el cultivo propiamente dicho [5]. Las condiciones ambientales que se deben tener en cuenta durante el cultivo varían según la etapa. Durante la incubación las condiciones recomendadas son: temperatura 24 – 26 °C [7], en completa oscuridad y humedad relativa de 70 a 80% [9]. Sin embargo, para la etapa de fructificación las condiciones ambientales cambian radicalmente, se disminuye la temperatura a 16 – 18 °C [5], se proporciona luz y se aumenta la humedad relativa entre 85 a 95% [9].

Para el cultivo se puede utilizar cualquier residuo lignoceluloso [5]. Se han estudiado más de 200 sustratos para el cultivo de *Pleurotus ostreatus*, los cuales deben estar constituidos esencialmente por celulosa (45 – 60%), hemicelulosa (15 – 20%) y lignina (10 – 30%) [10]. Se dice que los materiales lignocelulósicos son difíciles de digerir, por motivo que presentan fuertes uniones físicas y químicas entre los carbohidratos y la lignina [11]. Uno de estos materiales son los residuos de la industrialización de la madera. Dichos residuos podrían emplearse como sustrato para la producción de hongos comestibles. Por ejemplo, en el Perú la producción de madera aserrada es alrededor de 5728.32 m³ situándose la mayor concentración de madera aserrada en el departamento de Cajamarca con una producción de 4248.35 m³, seguido de Apurímac con 651.74 m³, Ancash con 424.23 m³, Cusco con 110.19 m³ y Arequipa con 7.09 m³ [12].

Es por eso por lo que se plantea la posibilidad de dar uso a estos residuos generados por las industrias forestales y agroindustriales, con la finalidad de poder usarlos en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* el cual cuenta con alto valor nutricional y así contribuir a la disminución de la contaminación ambiental. Por lo tanto, se presenta como objetivo evaluar cómo afecta la mezcla de tres residuos agroindustriales (dos procedentes del aserrado de madera y uno del procesamiento de maíz) en la producción de hongo ostra.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Propagación de *Pleurotus ostreatus*.

Para la propagación de *Pleurotus ostreatus* se usó como medio de cultivo Papa-Dextrosa-Agar (PDA) [3], el cual fue preparado haciendo uso de 9.75 g diluido en 250 ml de agua destilada, usando un calentador eléctrico (Marca TEBA modelo TOE308 AP). La mezcla fue calentada hasta que la solución se tornó completamente transparente, luego se esterilizó en una autoclave a 121 °C durante 15 min y 0.98 bar de presión [13]. Para la inoculación se hizo uso de una cepa original crecida en un medio de cultivo, la cual fue adquirida en el Proyecto Especial Chavimochic, ubicado en la provincia de Virú-Perú. A este medio de cultivo se hizo divisiones de 1 cm² aproximadamente y se colocaron 1 cuadro en cada placa Petri acondicionado anteriormente [5], asegurándose que previamente estas placas Petri fueran esterilizadas, para evitar cualquier contaminación [1].

Las placas inoculadas fueron colocadas a un ambiente controlado en donde se llevó a cabo la incubación, esto se realizó en completa oscuridad, a una temperatura de 28 °C y con una humedad relativa de 82% [14] durante 10 días, tiempo en que el micelio invadió completamente el medio de cultivo.

B. Preparación del inóculo.

Para la preparación del inóculo se utilizó como sustrato trigo sin cáscara (*Triticum spp*), realizándose los siguientes pasos para su utilización. En la primera etapa, se hizo una

limpieza de los granos para eliminar las impurezas [5, 15], luego fueron lavados tres veces con agua potable. Los granos se hidrataron por 18 horas a temperatura ambiente (25 °C) con el objetivo de que el grano alcance una humedad entre 55 – 70% [16-20], para luego ser acondicionados en bolsas de polipropileno (7x10 cm) con un peso de 200 g cada una. Luego, el sustrato fue esterilizado en un autoclave a temperatura de 121 °C durante 30 min a 0.98 bar de presión [14, 19].

En la segunda etapa se llevó a cabo la inoculación del trigo, haciendo uso de micelio cultivado en las placas Petri anteriormente, el cual se siguió el mismo procedimiento haciendo uso de un bisturí estéril, se procedió a dividir el agar en cuadros de 1 cm² aproximadamente y se agregó 6 fracciones en cada bolsa de trigo acondicionado, de manera que las fracciones de micelio quedó distribuido por toda la bolsa [8, 14, 21, 22]. Una vez inoculado el trigo, se procedió a trasladar las bolsas al cuarto de incubación con temperatura (28 °C), y humedad relativa controlada (80%) y en completa oscuridad [13], por un lapso de 12 días, tiempo en que el micelio invadió por completo el trigo.

C. Preparación de los sustratos

Como sustratos se usó viruta de *Pinus sylvestris* (Pino), viruta de *Eucalyptus globulus* (Eucalipto) y coronta de *Zea mays* (variedad amarillo duro). El acondicionamiento de los sustratos se realizó de la siguiente manera: para los tres sustratos fue necesario hacer una trituración previa con el objetivo de obtener una partícula alrededor de 2-3 cm de tamaño [23, 24]. Después de la trituración, los sustratos fueron hidratados individualmente durante 24 horas con el objetivo de alcanzar una humedad del 65–70% [15]. Para el caso de la viruta de *Pinus sylvestris* y *Eucalyptus globulus* fue necesario hacer varios lavados para eliminar los compuestos fenólicos propios de la madera, luego los tres sustratos fueron escurridos durante 1 hora para eliminar el agua excedente [5]. Los sustratos fueron esterilizados a 121 °C por 30 min a 0.98 bar de presión en bolsas de polipropileno de 40 x 60 cm con una cantidad de 300 g de sustrato húmedo y con una concentración de 0.1% p/p de urea dispersado en todo el sustrato [25].

Los sustratos esterilizados fueron inoculados con el 10% p/p de semilla (granos de trigo invadido completamente por el micelio), estos se incubaron a una temperatura de 28–30 °C, en completa oscuridad y con una humedad relativa entre 75 - 85% [11, 14, 19] por un lapso de 22 días. Para la fructificación se aumentó la humedad relativa entre 85 - 95%, ventilando de 4 a 6 veces el volumen de la sala/h, disminuyendo la temperatura entre 17-19 °C [26] y proporcionando 12 horas luz (500 lux) y 12 horas de oscuridad [27]. Además, se realizaron 4 perforaciones en toda la bolsa, con una navaja estéril, a fin de facilitar la salida de los primordios [15, 25]. Se hicieron 3 riegos al día para mantener la humedad relativa constante [27], la cosecha de todas las muestras se realizó a los 35 días de cultivo, considerando el tratamiento con mayor desarrollo que estuvo listo para ser cosechado. El corte se realizó en la base del estípote con un bisturí desinfectado con alcohol al 96% [23].

D. Análisis Estadístico

Para determinar la mezcla óptima del sustrato y obtener la mayor capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* se empleó el Diseño simplex con Centroide ampliado dentro de la metodología “Superficie de respuesta”, en el que se consideró como variable independiente la proporción de sustratos y como variable dependiente el % Rendimiento (R), % Eficiencia Biológica (EB) y %Tasa de Producción (TP).

En la Figura 1, se presenta el diseño del experimento generado por el software estadístico Design-Expert® versión 7,0 correspondiente a un diseño simplex con centroide, con 3 factores, con la adición de puntos en el interior del diseño (ampliado) el cual consta de mezclas puras (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1), mezclas binarias (1/2, 1/2, 0); (0, 1/2, 1/2); (1/2, 0, 1/2); pasando por el centroide correspondiente a las mezclas ternarias (1/3, 1/3, 1/3); y otras correspondientes al centroide ampliado (4/6; 1/6; 1/6); (1/6; 4/6; 1/6); y (1/6; 1/6; 4/6), haciendo un total de 10 tratamientos.

El porcentaje de rendimiento (%R), Eficiencia Biológica (%E.B) y Tasa de Producción (%T.R), se determinó usando las siguientes ecuaciones [7, 16].

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del hongo fresco}}{\text{Peso del sustrato húmedo}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Eficiencia Biológica} = \frac{\text{Peso del hongo fresco}}{\text{Peso de sustrato seco}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Tasa de Producción} = \frac{\text{Eficiencia Biológica}}{\text{Tiempo de producción}} \times 100 \quad (3)$$

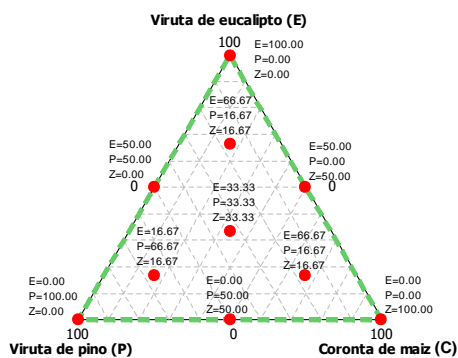


Fig 1. Diseño simplex con centroide ampliado con los 3 componentes para optimización de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus*.

Luego, un análisis de varianza (ANOVA) fue empleado para determinar el modelo matemático más adecuado (significativo, $p < 0.05$) para explicar la variable de respuesta. Se consideraron los siguientes modelos matemáticos:

$$Y = \sum \beta_i X_i \quad (4)$$

$$Y = \sum \beta_i X_i + \sum \sum \beta_{ij} X_i X_j \quad (5)$$

$$Y = \sum \beta_i X_i + \sum \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \sum \sum \beta_{ijk} X_i X_j X_k \quad (6)$$

Donde Y representa la variable de respuesta, β_i mide el efecto individual de cada componente de la mezcla, β_{ij} mide el efecto de las mezclas binarias y β_{ijk} mide el efecto interactivo de los tres componentes. X_i , X_j y X_k representan las fracciones de cada sustrato en la mezcla.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus*, los cuales son la media de dos replicas con un periodo de cultivo de 35 días, con un error estándar del 5%.

Los resultados fueron ajustados a diferentes modelos matemáticos relacionados al diseño de mezclas. Según el análisis de varianza se observó que el modelo cuadrático (5) para la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* (%Rendimiento, %Eficiencia Biológica y % Tasa de Producción) fue significativo ($p < 0.05$), debido a que el R^2 (%R 0.987; %E.B. 0.989 y %T.P 0.989) y R^2 -ajustado (%R 0.971; %E.B 0.975; %T.P 0.975) fueron superiores al 85 y 75 %, respectivamente [28]. Los coeficientes del modelo cuadrático para el %R, %EB y %TR se encuentran en la tabla 2, donde se aprecian los coeficientes significativos ($p < 0.05$) con los cuales se generaron las ecuaciones (7), (8) y (9). Estas ecuaciones nos permiten predecir el comportamiento de la capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus* al trabajar con diferentes concentraciones de sustratos.

TABLA 1
CAPACIDAD PRODUCTIVA DE *Pleurotus ostreatus* PARA CADA TRATAMIENTO DEL DISEÑO DE MEZCLAS.

Tratamiento	Eucalipto (g)	Pino (g)	Coronta (g)	CAPACIDAD PRODUCTIVA		
				Rendimiento (%)	Eficiencia biológica (%)	Tasa de producción (%)
T ₁	300	0	0	2.61	6.41	17.80
T ₂	0	300	0	17.63	48.78	135.50
T ₃	0	0	300	4.54	12.13	33.68
T ₄	150	150	0	4.74	12.32	34.23
T ₅	150	0	150	2.00	5.11	14.21
T ₆	0	150	150	15.19	41.33	114.81
T ₇	100	100	100	5.77	15.14	42.04
T ₈	200	50	50	1.60	4.07	11.30
T ₉	50	200	50	13.56	36.53	101.48
T ₁₀	50	50	200	7.08	18.76	52.10

Puede verificarse que la presencia de viruta de *Eucalyptus globulus* tuvo efecto negativo en la capacidad productiva del hongo, ya que presenta signo negativo en el coeficiente significativo EP (Eucalipto-Pino).

Al graficar las ecuaciones (7), (8) y (9), se obtuvieron las superficies de respuesta mostradas en la Figura 2. Las zonas rojas indican un mayor valor de la variable de respuesta estudiada y las zonas verdes zonas de menor valor.

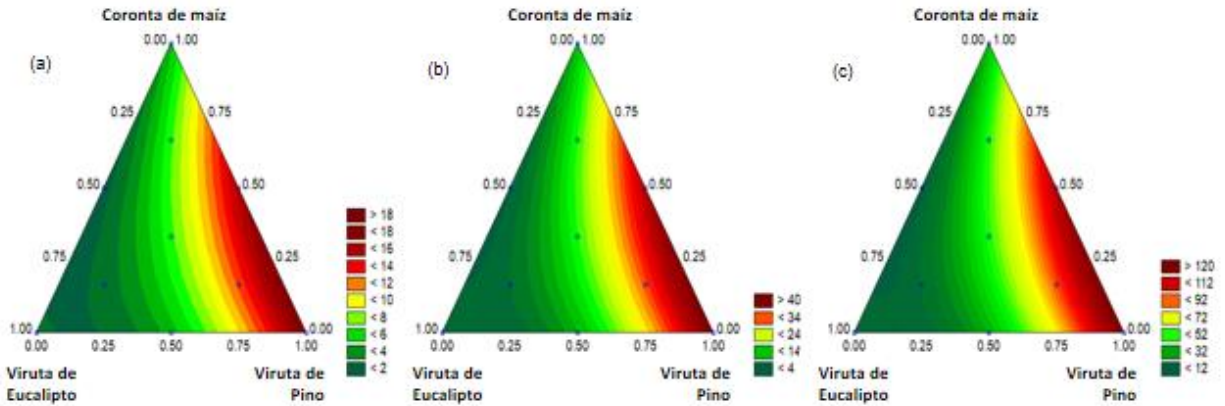


Fig 2. Superficie de Respuesta para (a) Rendimiento (b) Eficiencia Biológica (c) Tasa de Producción de la producción de *Pleurotus ostreatus*.

TABLA 2
COEFICIENTES DEL MODELO CUADRÁTICO (5) PARA LAS
VARIABLES % RENDIMIENTO, % EFICIENCIA BIOLÓGICA Y % DE
TASA DE PRODUCCIÓN.

Componente	% Rendimiento		% Eficiencia Biológica		% Tasa de Producción	
	Coefficiente estimado	P	Coefficiente estimado	P	Coefficiente estimado	P
E	0.0542	0.0760	0.0195	0.0760	0.0542	0.0760
P	0.4624	0.0000	0.1665	0.0000	0.4624	0.0000
C	0.1151	0.0072	0.0414	0.0072	0.1151	0.0072
EP	-0.0020	0.0048	-0.0007	0.0048	-0.0020	0.0048
EC	-0.0007	0.1301	-0.0002	0.1301	-0.0007	0.1301
PC	0.0013	0.0208	0.0005	0.0208	0.0013	0.0208

$$\%R = 0.4624P + 0.1151C - 0.002EP + 0.0013PC \quad (7)$$

$$\%EB = 0.1665P + 0.0414C - 0.0007EP + 0.0005PC \quad (8)$$

$$\%TP = 0.4624P + 0.1151C - 0.0002EP + 0.00013PC \quad (9)$$

Considerando sustratos individuales, la viruta de *Pinus sylvestri* obtuvo mayor capacidad productiva, seguido de la coronta de *Zea mays* y por último la viruta de *Eucalyptus globulus*. Cuando se realiza la mezcla de los tres sustratos, se observa que a mayor concentración de viruta de *Pinus sylvestri*, se obtiene la mayor capacidad productiva. De hecho, el mejor sustrato sería el que presente 100% de viruta *Pinus sylvestri*; sin embargo, podría usarse una mezcla binaria de hasta 25% de coronta de *Zea mays* y 75% de viruta de *Pinus sylvestri*, ya que se obtendrían valores parecidos de capacidad productiva.

Para visualizar mejor la mezcla óptima, se obtuvo el gráfico de deseabilidad mostrado en la Figura 3. Esta figura nos indica que para tener una alta capacidad productiva se debe realizar un tratamiento de 0 g de viruta de *Eucalyptus globulus*, 300 g de viruta de *Pinus sylvestri* y 0 g de coronta de *Zea mays*, lo cual concuerda con lo discutido en las superficies de respuesta. Además, también se puede observar que usando el 25% (75 g) de coronta de *Zea mays* y 75% (225 g) de viruta de *Pinus*

sylvestri, también se podría obtener valores deseables. Ya la decisión estaría dada por la cantidad de sustrato disponible de cada tipo y/o los costos relacionados.

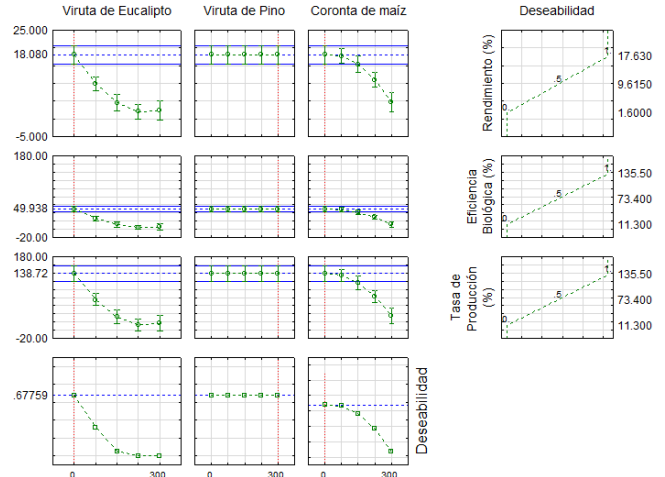


Fig 3. Perfiles para valores predichos y deseables (óptimos).

Retomando la discusión de la Tabla 1, se puede apreciar que la mayor capacidad productiva se obtuvo con viruta de *Pinus sylvestri* con los siguientes valores: 17.63% de Rendimiento, 48.78% de Eficiencia Biológica y 135.50% de Tasa de Producción en su mezcla pura. Sin embargo, se observa que al mezclar la viruta de *Pinus sylvestri* con los demás sustratos también se obtiene resultados más elevados que al mezclar los demás sustratos (*Eucalyptus globulus* y *Zea mays*) en mayor cantidad. Los resultados obtenidos fueron similares a lo que reporta Gaitán [29] quien obtuvo valores de 14.87% a 17.27% de rendimiento sobre viruta de pino y paja de cebada. Por otro lado Merlo and Mata [11] reportan valores de %E.B. similares a los que se obtuvo en este estudio los cuales fueron 27.98% a 53.53% en viruta de pino y 66.26% a 106.04% en paja de cebada, así mismo reporta valores de %T.P. de 63 a 113% en viruta de pino y 153 a 246% en paja de cebada.

Además, la viruta de *Eucalyptus globulus* obtuvo la menor capacidad productiva tanto en su mezcla pura como en sus demás combinaciones (Tabla 1). Esto pudo haberse debido a la composición del sustrato (Tabla 3). Los hongos que realizan la descomposición aeróbica de un sustrato requieren de una mayor concentración de carbono que de nitrógeno para crear un ambiente óptimo para su crecimiento y desarrollo, en este estudio se observó que la mayor relación C/N lo obtuvo la viruta de *Eucalyptus globulus* (437.3 p/p), seguido de la viruta de *Pinus sylvestris* (196.3 p/p) y por último la coronta de *Zea mays* (72.6 p/p) por lo que se vería reflejado en la productividad del hongo. Cabe indicar que el porcentaje de carbono total influye en la propagación del micelio puesto que a mayor cantidad de carbono, el hongo se adapta con mayor facilidad para la degradación del sustrato y lo usa para su crecimiento y formación de biomasa [30]. No obstante, la presencia de compuestos antagónicos impiden que se produzca el aprovechamiento de estos nutrientes el cual tiene un efecto en la productividad del hongo [31].

TABLA 3
ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS 3 SUSTRATOS EMPLEADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE *Pleurotus ostreatus*.

Componente	Eucalipto	Pino	Coronta
Nitrógeno (% b.s.)	0.11	0.24	0.39
Fósforo (ppm)	12.1	18.88	3.1
Potasio (ppm)	101	1921	284
Carbono (% b.s.)	48.1	47.1	28.3
Materia Orgánica (% b.s.)	78.3	81.0	73.5

Algunos compuestos antagónicos que contiene la viruta de *Eucalyptus globulus* son las resinas fenólicas, las cuales imposibilita el desarrollo del micelio y dejan un gusto desagradable en las setas [32], además de tener más de 30 taninos que pueden inhibir el crecimiento de Hongos y bacterias, como el 1,8-Cineol o Eucaliptol (77-82%), α -Pinoeno, Limoneno, α Terpineno, α -Copaeno, Guaiol, α -Felandreno, β -Terpinen-4-ol, Linalol, α -Terpineol, Mirceno y β - Selineno que tienen efecto antibiótico [31, 33].

Otro compuesto que está relacionado con la productividad del hongo es la presencia de lípidos [34], se ha demostrado que este compuesto estimula el crecimiento del micelio y la producción de cuerpos fructíferos [35]. Por ejemplo, la coronta de *Zea mays* presenta un porcentaje de lípidos relativamente bajo 0.4% [36] y un porcentaje de carbono más bajo que los demás sustratos (72.6 p/p), esto puede explicar porque no se genera una alta capacidad productiva en el sustrato Coronta de *Zea mays*. Por otro lado, en la viruta de *Eucalyptus globulus* el porcentaje de lípidos oscila entre (0.3-0.6%) siendo esta especie la que presenta el menor contenido de este componente [37].

Otro aspecto que puede explicar la poca productividad del hongo en la coronta de *Zea mays* es la compactación del

sustrato, según los resultados se observó que tanto en la viruta de *Eucalyptus globulus* y coronta de *Zea mays* la propagación del micelio fue mucho más lento que en la viruta de *Pinus sylvestris* en donde se tuvo una invasión completa a los 22 días. Al realizar las mezclas de sustratos se notó claramente que al mezclar la viruta de *Eucalyptus globulus* y coronta de *Zea mays* se formaban apelmazamientos por lo que el tamaño de las partículas tiene un efecto en el intercambio de aire entre los espacios del sustrato dentro de la bolsa con el exterior, el cual es importante para el desarrollo del micelio y la productividad del hongo [38].

Finalmente, se puede apreciar en la Tabla 3 que la viruta de *Pinus sylvestris*, presenta altos contenidos de Potasio en comparación con los demás sustratos. Esto pudo ser la causa de la mayor capacidad productiva del *Pleurotus ostreatus* empleando este sustrato, ya que hay estudios donde se verifica que la presencia de potasio en el sustrato es beneficioso para la producción de este hongo [39].

IV. CONCLUSIÓN

Se determinó que el mejor sustrato para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* es la viruta de *Pinus sylvestris*, debido a que se observó una mejor adaptabilidad del micelio y una mayor producción de setas cosechadas.

En cuanto a la capacidad productiva obtenida se observó que el mayor porcentaje (%R, %E.B, %TP) lo obtuvo la viruta de *Pinus sylvestris* seguido de la coronta de *Zea mays* y por último la viruta de *Eucalyptus globulus*.

En la optimización mediante la función de deseabilidad se observó que para tener una mayor capacidad productiva de *Pleurotus ostreatus*, se debe trabajar con 100% de viruta de *Pinus sylvestri*, 0% de coronta de *Zea mays* y 0% de viruta de *Eucalyptus globulus*.

REFERENCIAS

- [1] C. Martínez, D. S. Larqué, A. M. Aliphath, A. Aguilar, M. Bonilla, and W. Martínez, "La biotecnología de hongos comestibles en la seguridad y soberanía alimentaria de México," *Memorias II foro nacional sobre seguridad y soberanía alimentaria*, pp. 193-207, 2000.
- [2] W. M. Breene, "Nutritional and medicinal value of specialty mushrooms," *Journal of food protection*, vol. 53, pp. 883-894, 1990.
- [3] M. D. P. Ríos, J. L. Hoyos, and S. A. Mosquera, "Evaluación de los parámetros productivos de la semilla de *Pleurotus ostreatus* propagada en diferentes medios de cultivo," *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 8, pp. 86-94, 2010.
- [4] K. Deepalakshmi and M. Sankaran, "Pleurotus ostreatus: an oyster mushroom with nutritional and medicinal properties," *Journal of Biochemical Technology*, vol. 5, pp. 718-726, 2014.
- [5] S. J. Mejía and E. Albertó, "Heat treatment of wheat straw by immersion in hot water decreases mushroom yield in *Pleurotus ostreatus*," *Revista Iberoamericana de Micología*, vol. 30, pp. 125-129, 2013.
- [6] A. L. C. Esduardo, "La Producción de los Hongos Comestibles," Maestría en Docencia Universitaria con Especialidad en Evaluación Educativa, Facultad de Humanidades, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2007.

- [7] R. C. López, C. R. Hernández, F. C. Suárez, and M. Borrero, "Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca," *Universitas Scientiarum*, vol. 13, pp. 128-137, 2008.
- [8] B. C. Song. (2004) Manual del Cultivador de Hongos 1. Cultivo del hongo Ostra. *MushWorld*. 298 pp.
- [9] V. M. Bajío, "Determinación de patrones genéticos de cepas parentales e híbridas de *Pleurotus* spp," 2011.
- [10] L. C. E. Ardón, "La Producción de los Hongos Comestibles," Maestría en Docencia Universitaria con Especialidad en Evaluación Educativa, Facultad de Humanidades, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2007.
- [11] R. P. Merlo and G. Mata, "Selección de cepas de *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kumm. y *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Qué. Y la factibilidad de reutilizar la madera de *Pinus* spp. Para su cultivo," *Foresta Veracruzana*, vol. 4, pp. 31-34, 2002.
- [12] R. Webb and G. Fernández, "Perú en Números 2012," 2012.
- [13] B. Aguinaga and N. Paulina, "Evaluación de cuatro sustratos para la producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*) en tres ciclos de producción en la zona de Tambillo, provincia de Pichincha," QUITO/EPN/2012, 2012.
- [14] J. P. G. Gómez and J. L. C. Andrade, "Producción de *Pleurotus ostreatus* sobre residuos sólidos lignocelulósicos de diferente procedencia," *Nova*, vol. 6, 2008.
- [15] H. R. Gaitán, D. Salmones, R. P. Merlo, and G. Mata, "Manual práctico del cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción," *Instituto de Ecología, Xalapa, Ver. México*, 2002.
- [16] M. C. A. Camey, "Comparación de la eficiencia de cinco métodos de desinfección como una alternativa a la pasteurización de sustratos en el cultivo de *Pleurotus ostreatus* esc. 0112," Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002.
- [17] C. Tocagón and G. Margoth, "Evaluación de la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* sobre cinco tipos de sustratos (tamo de trigo, tamo de cebada, tamo de vicia, tamo de avena y paja de páramo); enriquecidos con tuza molida, afrecho de cebada y carbonato de calcio," Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Ibarra (PUCE-SI), Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA). Ibarra Ecuador. 2012.
- [18] S. Granados, "Orellana Sajor. Manual cultivo de setas comestibles tropicales," *Armenia. Colombia*, 2004.
- [19] M. T. Varnero, M. S. Quiroz, and C. H. Álvarez, "Utilización de residuos forestales lignocelulósicos para producción del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*)," *Información tecnológica*, vol. 21, pp. 13-20, 2010.
- [20] M. T. Varnero, M. S. Quiroz, and C. H. Álvarez, "Utilización de Residuos Forestales Lignocelulósicos para Producción del Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus*)," *Información tecnológica*, vol. 21, pp. 13-20, 2010.
- [21] F. Vogel and D. Salmones, "Análisis comparativo de la productividad de cepas de *Pleurotus* spp. cultivadas en una planta comercial," *Revista Iberoamericana de Micología*, vol. 17, pp. 138-141, 2000.
- [22] K. Wha, "Manual del cultivador de hongos 1: cultivo del hongo ostra," *Disponible Internet: [http://www.girgolas.unlugar.com/00-05.Galeria_de_Fotos.pdf\[Links\]](http://www.girgolas.unlugar.com/00-05.Galeria_de_Fotos.pdf[Links])*, 2005.
- [23] O. I. P. Jaramillo, "Evaluación de tres Residuos Agroindustriales Lignocelulósicos provenientes de Cebada (*Hordeum vulgare* L.), Arroz (*Oryza sativa*), Eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), para el cultivo de dos Cepas de Hongo Ostra (*Pleurotus ostreatus* F.), bajo Invernadero," 2013.
- [24] R. C. B. Savón, C. D. Fernández, C. E. M. Manrique, E. I. R. Sevilla, and H. J. M. Quevedo, "Efecto de la luz en la concentración de micosteroides de *Pleurotus ostreatus* var. florida," *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, vol. 16, pp. 13-18, 2002.
- [25] M. J. A. Calderón, "Determinación de la mejor etapa de aplicación de la fertilización nitrogenada en el sustrato caña de maíz (*Zea mays* L.) para la producción del hongo *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) Kumm (Cepa ECS-152)." INGENIERO AGRÓNOMO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, Facultad de Agronomía, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, Guatemala, 2009.
- [26] D. Job, "La utilización de la borra del café como sustrato de base para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer," *Rev Iberoam Micol*, vol. 21, pp. 195-197, 2004.
- [27] A. D. Ceballos, "Evaluación de rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) y hojarasca de roble (*Quercus peduncularis*) previo al cultivo artesanal del hongo ostra (*Pleurotus ostreatus* ECS 110). Universidad San Carlos de Guatemala (USAC)," Tesis de Grado, 2007.
- [28] D. C. Montgomery, "Diseño y análisis de experimentos," 2005.
- [29] H. R. Gaitán, "Evaluación in vitro del hongo comestible *Pleurotus eryngii*: efecto de diferentes suplementos orgánicos en el crecimiento micelial y producción de cuerpos fructíferos," *Revista mexicana de micología*, vol. 21, pp. 77-84, 2005.
- [30] C. López-Rodríguez, R. Hernández-Corredor, C. Suárez-Franco, and M. Borrero, "Evaluación del crecimiento y producción de *Pleurotus ostreatus* sobre diferentes residuos agroindustriales del departamento de Cundinamarca," *Universitas Scientiarum*, vol. 13, pp. 128-137, 2008.
- [31] J. M. Cruz, J. M. Domínguez, H. Domínguez, and J. C. Parajó, "Antioxidant and antimicrobial effects of extracts from hydrolysates of lignocellulosic materials," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 49, pp. 2459-2464, 2001.
- [32] S. W. K. Hyunjong Kwon. (2005) Manual del cultivador de Hongos 1. Formas de cultivo, capítulo 7. 146-149. Available: <http://www.hongoscomestibles-latinoamerica.com/P/P/oyster%20bien/capitulo%207%20pag%20147.pdf>
- [33] X. Y. Rueda and O. F. C. Mogollón, "Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de las especies *Eucalyptus globulus* y *E. camaldulensis* de tres zonas de Pamplona (Colombia)," *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, vol. 10, 2013.
- [34] N. Nair, C. Song, J. Jiang, J. Vine, B. Tattum, and K. Cho, "Lipid profile of *Pleurotus sajor caju*," *Annals of applied biology*, vol. 114, pp. 167-176, 1989.
- [35] P. Bonzom, A. Nicolaou, and W. Baldeo, "NMR lipid profile of *Pleurotus ostreatus*," *Phytochemistry*, vol. 50, pp. 1311-1321, 1999.
- [36] P. Stamets and D. Yao, "MycMedicinals: an informational booklet on the medicinal properties of mushrooms," *Mycomedica Productions, Fungi Perfecti, Olympia, Washington*, 2002.
- [37] J. Rencoret, A. Gutiérrez Suárez, and J. C. d. Río Andrade, "Estudio de lignina y lípidos en madera de eucalipto: Caracterización química en distintas especies y su evolución durante la fabricación y blanqueo químico y enzimático de pasta de papel," 2008.
- [38] A. Peláez Acero, "Producción de enzimas lacasas e isoformas del género *pleurotus* spp sobre bagazo de caña de azúcar por cultivo sólido," 2010.
- [39] W. Manu-Tawiah and A. M. Martin, "Pleurotus ostreatus requirements for P, K, Mg, and Mn in submerged culture," *Canadian journal of microbiology*, vol. 34, pp. 620-624, 1988.