

ARTÍCULO 7

Recibido: 9/5/2022
Aprobado: 9/6/2022

Obtención de hongo comestible seco en polvo

Obtaining dry edible mushroom powder

Wilfredo Lopez Sanguino ¹, Erick Ramírez Ruiz ²

¹ Estudiante. Carrera de Ingeniería de Alimentos. Facultad Ciencias y Tecnología, UAJMS.

² Docente. Carrera de Ingeniería de Alimentos. Facultad Ciencias y Tecnología, UAJMS.

Correspondencia del autor(es): lopezwilfredo83@gmail.com¹, erickramirezruiz@yahoo.com.ar²

Resumen

El presente trabajo experimental fue realizado en el Laboratorio Taller de Alimentos dependiente de la carrera de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" y tiene el propósito de realizar la investigación experimental para la obtención de hongo comestible seco en polvo aplicando el método de secado por aire caliente con la finalidad de obtener un producto de calidad nutricional para la población Tarijeña.

Para tal efecto, durante la experimentación se requiere como materia prima al hongo comestible "Pleurotus Ostreatus" proveniente del barrio Aranjuez de la provincia cercado de la ciudad de Tarija. Posteriormente aplicar el proceso de elaboración que consiste: lavar y acondicionar el hongo comestible, troceado, pretratamiento y escurrido, secado, enfriamiento, molienda y tamizado del producto final.

El análisis fisicoquímico y microbiológico de la materia prima CEANID indica los siguientes resultados: ceniza total 1,03%; humedad 92,17%; grasa 0,24%; proteína 3,66%; hidratos de carbono 8,04%; fibra 0,53%; fosforo 82,4 mg/100g de muestra, valor energético 48,96 Kcal/100 g Coliformes totales 1,0x10¹ UFC/g; Escherichia coli 1,0x10¹ UFC/g; Mohos y levaduras 1,9x10⁵ UFC/g.

Para elegir el pretratamiento en las muestras troceadas del hongo comestible (W03), se realizó cuatro grupos de pruebas preliminares con diferentes tipos de soluciones a diferen-

tes concentraciones, cada grupo se dividido en 4 muestras de diferentes concentraciones (0,1-1) %, estos fueron evaluados subjetivamente por personas no entrenadas que calificaron los atributos color y apariencia en la escala hedónica, con el objetivo de conocer la muestra de mayor aceptación. Así mismo las muestras elegidas de cada grupo fueron aplicadas a una evaluación sensorial con 16 jueces no entrenados.

Se efectuó el diseño factorial de 2³, para muestras con pretratamiento (W03) y sin pretratamiento (W04) para las variables de temperatura de secado (45-55) °C, tipo de corte (0,5-1) cm, velocidad del aire (3-6) m/s a ser analizadas y controladas durante el proceso de secado en función de la variable respuesta de contenido de humedad en base seca (g agua/ g solido seco).

El análisis fisicoquímico y microbiológico al producto terminado (hongo comestible seco en polvo), determinados en el CEANID indica los siguientes resultados: de humedad 2,70%; ceniza 6,88%; grasa 1,38%; proteína 26,46%; ausencia de fibra; hidratos de carbono 62,58% y valor energético 360,58 kcal/100g se tiene que Coliformes totales 6,8 x 10⁴ UFC/g; Escherichia coli 1,0 x 10¹ UFC/g; Mohos y levaduras 1,9 x 10⁴ UFC/g. Para reducir el índice de Coliformes totales, de mohos y levaduras, se puede utilizar el proceso de lavado a solución de DG6 (Piridonio Cloruro) al 1% en volumen, para tal fin se debe introducir los hongos mediante inmersión por un tiempo de 30 segundos.

Abstract

The present experimental work was carried out in the Food Workshop Laboratory dependent on the Food Engineering career of the “Juan Misael Saracho” Autonomous University and has the purpose of conducting experimental research to obtain dry edible fungus in powder by applying the method drying by hot air in order to obtain a product of nutritional quality for the population of Tarijeña.

For this purpose, during the experimentation the edible fungus “Pleurotus Ostreatus” from the Aranjuez neighborhood of the province surrounded by the city of Tarija is required as raw material. Subsequently apply the manufacturing process that consists of washing and conditioning the edible mushroom, then chopping, pretreatment and draining, drying, cooling, grinding, sieving the final product.

The physicochemical and microbiological analysis of the CEANID raw material indicates the following results: total ash is 1.03%; humidity 92.17%; fat 0.24%; protein 3.66%; carbohydrates 8.04%; fiber 0.53%; phosphorus 82.4 mg / 100g of sample and energy value 48.96 Kcal / 100 g Total coliforms 1.0x10¹ CFU / g; Escherichia coli 1.0x10¹ CFU / g; Molds and yeasts 1.9x10⁵ CFU / g.

To choose the pretreatment in the chopped samples of the edible fungus (W03), four groups of preliminary tests were carried out with different types of solutions at different concentrations,

Palabras clave: Hongo comestible, método de secado por aire caliente, trabajo experimental, diseño factorial, cinética de secado del hongo, hongo seco en polvo.

1. Introducción

La producción mundial de Pleurotus Ostreatus se ha incrementado notablemente en los últimos años. En América latina, los países como Brasil y México son donde se centra la principal producción del hongo comestible, seguida por los países de Colombia y Argentina; Así mismo en el año 2013, Brasil ha incrementado su cultivo produciendo 5.160,0 toneladas; por otro lado, en Mé-

each group was divided into 4 samples of different concentrations (0.1-1)%, These were subjectively evaluated by untrained people who rated the attributes of color and appearance on the hedonic scale, with the aim of knowing the most widely accepted sample. Likewise, the samples chosen from each group were applied to a sensory evaluation with 16 untrained judges.

The factorial design of 2³ was carried out, for samples with pretreatment (W03) and without pretreatment (W04) for the variables of drying temperature (45-55) ° C, type of cut (0.5-1) cm, speed of the air (3-6) m / s to be analyzed and controlled during the drying process as a function of the variable response of moisture content on a dry basis (g water / g dry solid).

The physicochemical and microbiological analysis of the finished product (dry edible fungus in powder), determined in the CEANID indicates the following results: humidity 2.70%; ash 6.88%; fat 1.38%; protein 26.46%; absence of fiber; carbohydrates 62.58% and energy value 360.58 kcal / 100g, total coliforms 6.8 x 10⁴ CFU / g; Escherichia coli 1.0 x 10¹ CFU / g; Molds and yeasts 1.9 x 10⁴ CFU / g. To reduce the total coliform, mold and yeast index, the washing process can be used with a solution of DG6 (Pyridonium Chloride) at 1% by volume, for this purpose the fungi must be introduced by immersion for a time of 30 seconds.

Key words: Edible mushroom, hot air drying method, experimental work, factorial design, fungus drying kinetics, dried mushroom powder.

xico la producción en el año 2014 fue de 3.000,0 toneladas. Existe el interés de producir hongos comestibles en casi todos los países de América Latina, debido a sus cualidades nutritivas, organolépticas, nutracéuticas y biotecnológicas. (Sanchez & Royse, 2017)

En Bolivia el consumo de hongos comestibles va en aumento, pero aún se desconocen por parte de

la población en general, los hongos cultivados y demandados por la sociedad boliviana son: *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus* conocido como champiñón de parís y el portobello, los cuales son distribuidos por empresas como Champibol en la ciudad de Santa Cruz, Avignon S.R.L en Cochabamba y en La Paz por la marca Stewart. (Melgarejo, 2015)

En Tarija, una empresa no gubernamental “Missetas” se dedica a la producción de cuatro especies de hongos comestibles “*Pleurotus Ostreatus* conocido como hongo ostra, champiñón de parís, portobello y hongo sol. La especie cultivada en mayor cantidad es el hongo comestible *Pleurotus Ostreatus*, por tanto, la producción en el año 2018 fue de 200 kg/mes, actualmente se produce 300 kg/mes, y la meta a mediano plazo es 450 kg/mes. (Maldonado, 2020)

Actualmente el consumo de hongo comestible a nivel nacional es de gran demanda por sus características nutricionales, pero debido a que el producto es sumamente perecedero y de fácil descomposición requiere transformación de la materia prima para su conservación y distribución en el mercado. (Maldonado, 2020)

2. Materiales y método

2.1. Materiales

Se utilizó como materia prima el hongo comestible “*Pleurotus Ostreatus*”. Los insumos alimentarios: ácido cítrico, ácido ascórbico y meta bisulfito de potasio. En cuanto a equipos de laboratorio se utilizó secador a bandejas, molino analítico, tamizador vibratorio y selladora eléctrica; entre los instrumentos se utilizó dos balanzas analíticas, anemómetro digital termo-higrómetro digital y entre los instrumentos de laboratorio fueron un vernier manual, mortero, termómetro de sonda y envases de polipropileno.

2.2. Metodología

En la Figura 1, se describe el proceso experimental para la obtención de hongo comestible seco en polvo.

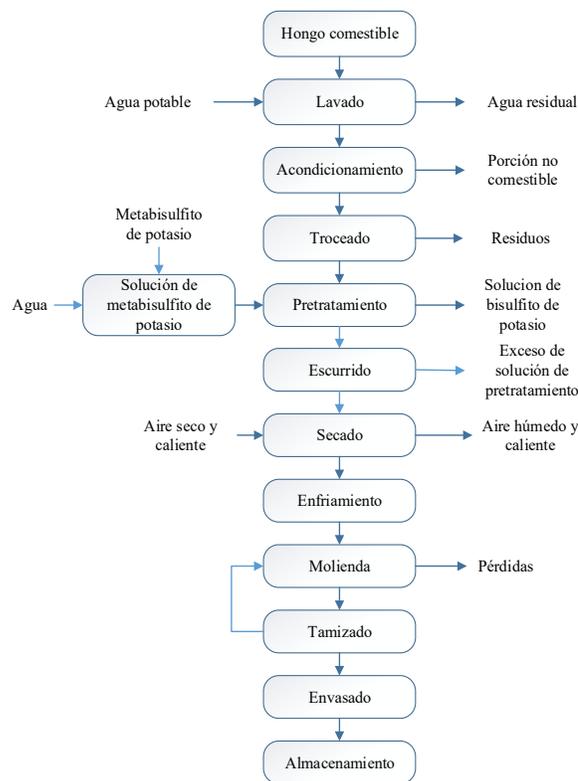


Figura 1. Diagrama para el proceso de obtención de hongo comestible seco en polvo

2.2.1. Lavado

El proceso de lavado consiste en colocar las muestras del hongo comestible en una fuente de acero inoxidable en el cual, se efectuó el lavado con immersiones en agua potable con el fin de eliminar tierras y otras partículas extrañas que están contenidas en el pie del hongo comestible.

2.2.2. Acondicionamiento

Después del lavado de las muestras del hongo comestible, se procedió a realizar el acondicionamiento que consistió en separar la porción comestible (sombrero y pie) y no comestible (pie con restos de partículas extrañas) con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable con el fin de facilitar el proceso de troceado.

2.2.3. Troceado

Una vez acondicionada la materia prima, se procedió con el troceado de la porción comestible de las muestras del hongo con el fin de facilitar la etapa de secado, esta etapa se realizó de forma manual y con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable donde se realizó dos tipos de corte entre 0,5 y 1,0 cm.

2.2.4. Pretratamiento

El pretratamiento se realizó con la finalidad de evitar el pardeamiento de las muestras de la porción comestible del hongo durante la etapa de secado, el cual consistió en preparar soluciones con metabisulfito de potasio, ácido cítrico y ácido ascórbico en diferentes concentraciones (1,0%; 0,5%; 0,3%, 0,1%), una vez preparada las soluciones, las muestras fueron introducidas mediante inmersión por un tiempo de 3 minutos para los diferentes tratamientos.

2.2.5. Ecurrido

Después de la etapa de pretratamiento se procedió a escurrir las muestras de porción comestible del hongo, colocándolas sobre la bandeja de malla plástica, con el fin de eliminar el exceso de solución del tratamiento químico y reducir el tiempo de secado de las muestras.

2.2.6. Secado

En el proceso de secado de las muestras de la porción comestible del hongo, en primer lugar, se realizó el ajuste de las condiciones de trabajo en el secador a bandejas, que consiste en poner en funcionamiento el equipo y se lo dejó calentar por un tiempo (30-40) minutos hasta que alcance la temperatura de trabajo de las condiciones de secado entre 45 a 55°C. Subsiguientemente, se procede a ajustar en el generador de aire las condiciones de velocidad del aire en el conducto de entrada del secador entre 3 a 6 m/s, la cual se determinó con ayuda de un anemómetro digital.

Para determinar de pérdida de peso en función del tiempo de las muestras del hongo comestible, se armó un equipo (bandeja, balanza digital, soporte metálico), de modo que el soporte formo la base sobre el secador en el cual se ubicó la

balanza digital. Posteriormente, se realizó una conexión por el conducto de salida del aire entre la balanza analítica y la bandeja milimétrica de 14 x 14 cm la cual estaba ubicada en la cabina del secador, evitando el rozamiento con las paredes del tubo metálico.

Después de ajustar las condiciones para el proceso de secado, se procedió a introducir las muestras de porción comestible del hongo en la bandeja milimétrica que se encuentra dentro de la cámara de secado y la determinación de variación de pérdida del peso se registró cada 20 minutos hasta peso constante con lectura directa a la balanza digital.

2.2.7. Enfriamiento

Terminado de secar las muestras del hongo comestible, se procedió a enfriar las muestras en las mismas bandejas a temperatura ambiente entre 20 a 25 °C, luego se envasa en bolsas de polipropileno (9 cm alto y 6 cm de ancho) con el fin de que no absorba humedad del ambiente.

2.2.8. Molienda

Una vez terminado el proceso de enfriado, se procedió a triturar las muestras secas de la porción comestible del hongo en un mortero con la finalidad de facilitar el proceso de molienda; Posteriormente, se procedió a introducir las muestras al molino analítico con el fin de reducir el tamaño y homogenizar las muestras hasta una granulometría de 0,25 mm

2.2.9. Tamizado

Terminado la molienda, se procedió a tamizar la muestra obtenida del hongo comestible seco en polvo y el cual se realizó con un tamizador vibratorio eléctrico con aberturas de malla de: 0,50 m/m y 0,25m/m en la serie Tyler, con la finalidad de obtener en polvo el producto. El tiempo utilizado para realizar la etapa fue de 25 minutos y una velocidad de 2500 r.p.m.

2.2.10. Envasado

El proceso de envasado consiste en colocar el producto seco en polvo en bolsas de polipropileno, las cuales fueron desinfectadas previamente con

alcohol, posteriormente se realizó el sellado de las bolsas con ayuda de la selladora eléctrica con el fin de evitar la contaminación ambiental (polvo, insectos) y proteger de la humedad al producto terminado.

2.2.11. Almacenamiento

El almacenamiento, se realizó en un lugar oscuro con condiciones ambientales normales entre 15 a 30°C.

3. Metodología utilizada para la obtención de resultados

3.1. Análisis fisicoquímico

En la Tabla 1, se muestran los análisis fisicoquímicos de la materia prima y producto terminado realizado en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); perteneciente a la U.A.J.M.S.

Parámetros	Unidades	Métodos
Humedad	%	Gravimétrico
Fibra	%	Gravimétrico
Proteína total	%	Gravimétrico
Hidratos de carbono	%	Cálculo
Grasa	%	Gravimétrico
Cenizas	%	Gravimétrico
Valor energético	Kcal/100g	Cálculo

Tabla 1 Análisis fisicoquímicos de la materia prima y producto final
Fuente: CEANID, 2021

3.2. Análisis microbiológico

En la Tabla 2, se muestran los análisis microbiológicos de la materia prima y producto terminado realizado en el “CEANID”; perteneciente a la U.A.J.M.S.

Parámetros	Unidad	Normas
Mohos y levaduras	ufc/ml	NB 32006:03
Coliformes totales	ufc/ml	NB 32005:02
Escherichia coli	ufc/ml	NB 32005:2002

Tabla 2 Análisis microbiológicos en materia prima y producto final
Fuente: CEANID, 2021

3.3. Análisis Sensorial

Se realizó el análisis sensorial (Tabla 3) para determinar el tipo de pretratamiento a utilizar durante la etapa de secado del hongo comestible troceado, la cual se realizó con 16 jueces no entrenados en la escala hedónica.

Determinación en la selección de la muestra preliminar				
Muestra	Atributo	Jueces	Escala	Test
W01	Color	16 jueces no entrenados	Hedónica	Test 1
	Apariencia		5 puntos	Anexo B
W02	Color	16 jueces no entrenados	Hedónica	Test 1
	Apariencia		5 puntos	Anexo B
W03	Color	16 jueces no entrenados	Hedónica	Test 1
	Apariencia		5 puntos	Anexo B
W04	Color	16 jueces no entrenados	Hedónica	Test 1
	Apariencia		5 puntos	Anexo B

Tabla 3 evaluación sensorial a las muestras secas del hongo comestible
Fuente: Elaboración propia

3.4. Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial de tres niveles 23 (Montgomery, 2004) en el proceso de secado, realizando variación de los factores: temperatura, tipo de corte y velocidad del aire utilizando dos niveles de variación para cada factor (Tabla 4), teniendo como variable respuesta el contenido de humedad en base seca (g agua/ g solido seco)

Corridos	Variables			Interacciones				Respuesta
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	Yi
1	-	-	-	+	+	+	-	Y1
2	+	-	-	-	-	+	+	Y2
3	-	+	-	-	+	-	+	Y3
4	+	+	-	+	-	-	-	Y4
5	-	-	+	+	-	-	+	Y5
6	+	-	+	-	+	-	-	Y6
7	-	+	+	-	-	+	-	Y7
8	+	+	+	+	+	+	+	Y8

Tabla 4 Diseño factorial en el proceso de secado del hongo comestible
Fuente: Elaboración propia

4. Resultados

En base a la propuesta metodológica, se procede a realizar la caracterización de los resultados a nivel experimental.

Parámetros	Valores	Unidad
Fibra	0,53	%
Proteína	3,66	%
Grasas	0,24	%
Cenizas	1,03	%
Hidratos de carbono	8,04	%
Humedad	92,17	%
Valor energético	48,96	Kcal/100g

Tabla 5 Análisis fisicoquímico del hongo comestible
Fuente: CEANID, 2021

Se observa que el hongo comestible contiene: humedad 92,17%; cenizas 1,03%; grasa 0,24%; proteína 3,66%; fibra 0,53%; hidratos de carbono 8,04% y valor energético 48,96 Kcal/100 g.

Parámetros	Valores	Unidad
Mohos y levaduras	1,9x10 ⁵	ufc/g
Coliformes totales	<1,0x10 ¹ (*)	ufc/g
Escherichia coli	<1,0x10 ¹ (*)	ufc/g

Tabla 6 Análisis microbiológico del hongo comestible
Fuente: CEANID, 2021

Se observa que el producto contiene: Coliformes totales 1,0x10¹ UFC/g, Escherichia coli 1,0x10¹ UFC/g, mohos y levaduras 1,9x10⁵ UFC/g.

4.1. Caracterización de las variables

Para la caracterización de las variables del proceso para la obtención de hongo comestible seco en polvo, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

4.2. Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento en las muestras del hongo comestible

En la figura 2, se muestra las pruebas preliminares realizadas durante la parte experimental, en donde se procedieron a elaborar soluciones en

diferentes concentraciones (grupo 1, grupo 2 y grupo 3) con el fin de determinar el pretratamiento a utilizar durante la etapa de secado en las muestras del hongo comestible

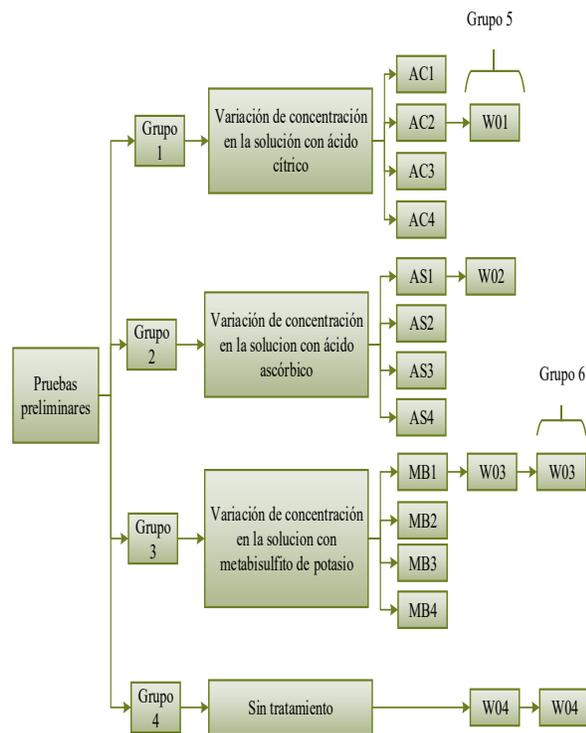


Figura 2. Pruebas preliminares para la determinación del pretratamiento

En la figura 2 se procedió a evaluar de manera subjetiva los grupos uno (soluciones con ácido cítrico), grupo dos (soluciones con ácido ascórbico), grupo tres (soluciones con metabisulfito de potasio) y grupo cuatro (sin tratamiento) por el personal del laboratorio Taller de Alimentos que evaluaron los atributos color y apariencia, se determinó que las muestras del grupo 5 mantienen el color característico del hongo y fueron las seleccionadas para realizar una posterior evaluación sensorial.

En la tabla 7, se detallan las cuatro soluciones preparadas de diferente concentración (0,1 a 1,0) % con ácido cítrico a temperatura ambiente de 25° por un tiempo de inmersión de tres minutos.

Muestra	Unidad	Valor
AC1	%	0,1
AC2	%	0,3
AC3	%	0,5
AC4	%	1,0

Tabla 7 Porcentaje de soluciones con ácido cítrico
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se puede observar los porcentajes de las soluciones con ácido ascórbico en diferentes concentraciones (0,1 a 1) % a temperatura ambiente de 25°C, tiempo de inmersión tres minutos.

Muestra	Unidad	Valor
AS1	%	0,1
AS2	%	0,3
AS3	%	0,5
AS4	%	1,0

Tabla 8 Porcentaje de soluciones con ácido ascórbico
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9, se puede observar los porcentajes de las soluciones con ácido ascórbico en diferentes concentraciones (0,1 a 1,0) % a temperatura ambiente de 25°C. tiempo de inmersión tres minutos.

Muestra	Unidad	Valor
MB1	%	0,1
MB2	%	0,3
MB3	%	0,5
MB4	%	1,0

Tabla 9 Porcentaje de soluciones con metabisulfito de potasio
Fuente: Elaboración propia

4.3. Selección de muestra preliminar

En base a las muestras seleccionadas de manera objetiva por el personal del Laboratorio Taller de Alimentos en los distintos pretratamientos; se procedió a realizar los mismos pretratamientos de las cuatro muestras seleccionadas con el fin de determinar la muestra preliminar final. Por lo tanto, se realizó una evaluación sensorial utilizando 16 jueces no entrenados en la escala hedónica de cinco puntos donde las muestras seleccionadas de manera objetiva (W01, WO2 y WO3) y muestra sin ningún tipo de pretratamiento (natural) codificada como W04 fueron evaluadas en base a los atributos color y apariencia.

4.4. Evaluación sensorial para elegir el pretratamiento

En la figura 3 se muestran los resultados de caja y bigotes para el atributo color.

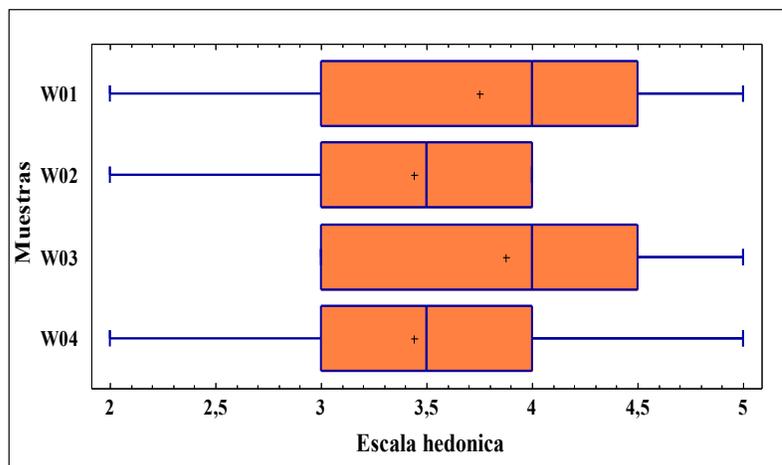


Figura 3. Caja y bigote de la evaluación sensorial del atributo color para elegir el pretratamiento

En la figura 3, se puede observar que el atributo color para la muestra W03 tiene una mediana de 3,88, situada en el segundo cuartil abarcando el 50% de los datos con una distribución simétrica, por lo tanto, tiene mayor aceptación por los jueces no entrenados, seguida por la muestra WO1 con una mediana de 3,75 la cual tiene situada en el segundo cuartil. Sin embargo, las muestras WO2 y WO4 tienen menor aceptación por los jueces con una mediana de 3,44 donde el rango de dispersión de los datos es más pequeño.

En la figura 4 se muestran los resultados de caja y bigotes para el atributo apariencia.

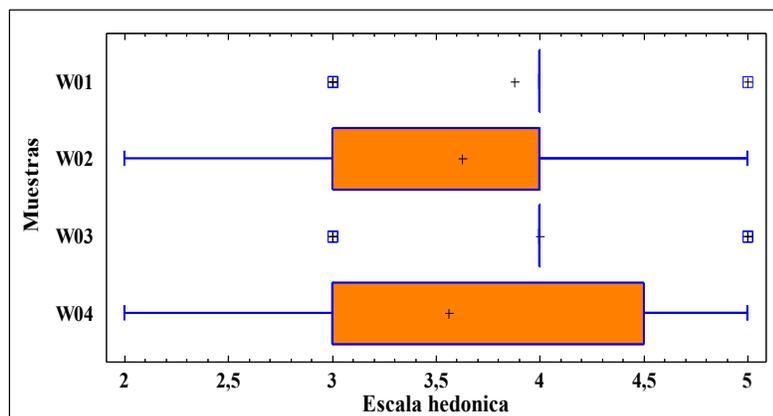


Figura 4. Caja y bigote de la evaluación sensorial del atributo color para elegir el pretratamiento

En la figura 4, se puede observar que el atributo apariencia para la muestra W03 presenta mayor mediana (4,0) abarcando el 50% de los datos que se encuentran agrupados, pero sin embargo existen dos datos atípicos, así mismo, se encuentra por encima de las medianas de las muestras W01 (3,87), W02 (3,62) y W04 (3,56).

Realizada la evaluación sensorial se procedió a elegir el pretratamiento aplicado a las muestras del hongo comestible; se demuestra estadísticamente que la muestra W03 (muestra con inmersión de metabisulfito de potasio al 0,1%), es la que mejor conserva el color característico en la etapa de secado. Por lo tanto, se procedió a tomar en cuenta como pretratamiento previo durante la obtención de hongo comestible seco en polvo; así mismo se tomó en cuenta la muestra W04 (Sin tratamiento) con la finalidad de determinar qué diferencias existen durante la etapa de secado.

4.5. Diseño factorial en el proceso de secado para las muestras del hongo comestible

El análisis estadístico, se realizó en el proceso de secado, para tal efecto se tuvo en cuenta la muestra ideal (W03) y la muestra (W04) sin ningún tipo de pretratamiento las cuales se realizaron con diferentes niveles de las variables de temperatura (45 – 55) °C, tipo de corte (0,5 –1) cm y velocidad del aire (3 – 6) m/s, la variable respuesta es el contenido de humedad en base seca.

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fcal	Ftab	Valor - p
A	0,00073	1	0,0007	0,118	5,318	0,741
B	0,01323	1	0,0132	2,132	5,318	0,182
C	0,01092	1	0,0109	1,761	5,318	0,221
AB	0,00585	1	0,0059	0,944	5,318	0,360
AC	0,01232	1	0,0123	1,987	5,318	0,196
BC	0,00006	1	0,0001	0,010	5,318	0,922
ACB	0,00391	1	0,0039	0,630	5,318	0,450
Error	0,04961	8	0,0062	-	-	-
Total	0,09663	15	0,0064	-	-	-

Tabla 10 Análisis de varianza en el proceso de secado del hongo comestible con pretratamiento
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se observa que los factores: temperatura de secado (A), tipo de corte (B), velocidad aire (C) y las interacciones AB, AC, BC, y ABC no son estadísticamente significativos debido a que $F_{calc} < F_{tab}$ para un límite de probabilidad del 95%.

En la figura 5, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental los cuales están ordenados de mayor a menor. En consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto los factores que sobre pasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de probabilidad del 95%.

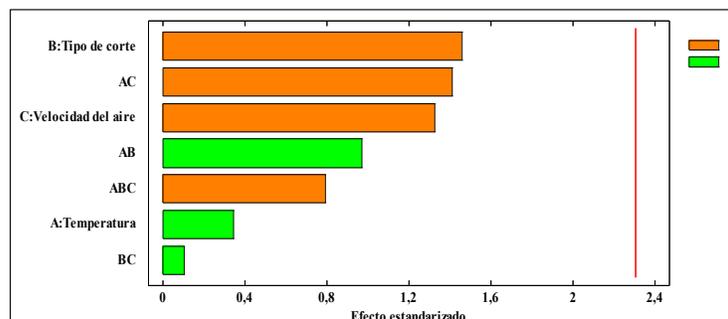


Figura 5. Diagrama de Pareto estandarizado del diseño factorial con pretratamiento

En la figura 5, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente. Donde los factores: temperatura de secado (A), tipo de corte (B), velocidad del aire (C) y las interacciones temperatura de secado-velocidad del aire (AC), temperatura de secado-tipo de corte (AB), tipo de corte-velocidad del aire (BC), temperatura de secado-tipo de corte-velocidad del aire (ABC); no son estadísticamente significativos debido a que ninguna de las barras de los factores sobre pasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$

Para la optimización de la variable respuesta, los datos fueron introducidos en el software “Statgraphics Centurión XVI” con la finalidad de optimizar las variables de la etapa de secado y los valores óptimos para minimizar contenido de humedad en base seca con pretratamiento fueron temperatura 55°C, tipo de corte 0,5 cm y velocidad 3,0 m/s.

Fuente de varianza	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fcal	Ftab	Valor - p
A	0,00002	1	0,00002	0,001	5,318	0,9764
B	0,02280	1	0,02280	1,329	5,318	0,2823
C	0,00156	1	0,00156	0,091	5,318	0,7707
AB	0,00497	1	0,00497	0,290	5,318	0,6051
AC	0,00810	1	0,00810	0,472	5,318	0,5114
BC	0,00108	1	0,00108	0,063	5,318	0,8074
ACB	0,00027	1	0,00027	0,016	5,318	0,9029
Error	0,13724	8	0,01716			
Total	0,17605	15	0,01170			

Tabla 11 Análisis de varianza en el proceso de secado del hongo comestible sin pretratamiento
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11, se observa que los factores: temperatura de secado(A), tipo de corte (B), velocidad aire (C) y las interacciones AB, AC, BC, Y ABC no son estadísticamente significativos debido a que $F_{calc} < F_{tab}$ para un límite de probabilidad del 95%.

En la figura 6, se muestra el diagrama de Pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental los cuales están ordenados de mayor a menor y por lo tanto las barras que sobre pasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de confianza del 95%.

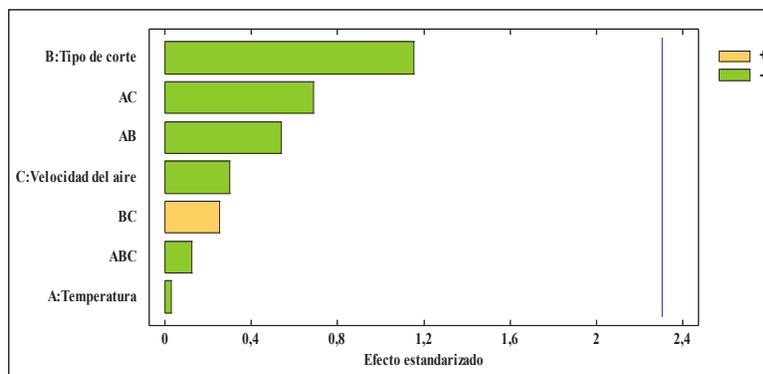


Figura 6. Diagrama de Pareto estandarizado del diseño factorial sin pretratamiento

En la figura 6, se puede observar los valores absolutos de los efectos estandarizados en forma decreciente; donde los factores: temperatura de secado (A), tipo de corte (B), velocidad del aire (C) y las interacciones temperatura de secado-velocidad del aire (AC), temperatura de secado-tipo de corte (AB), tipo de corte-velocidad del aire (BC), temperatura de secado-tipo de corte-velocidad del aire (ABC); no son estadísticamente significativos debido a que ninguno de los factores sobre pasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

Para la optimización de la variable respuesta, los datos fueron introducidos en el software “Statgraphics Centurión XVI” con la finalidad de optimizar las variables de la etapa de secado y los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca con pretratamiento fueron temperatura 55°C, tipo de corte 1,0 cm y velocidad 6,0 m/s.

4.6. Influencia del contenido de humedad en la etapa de secado de las muestras del hongo comestible

La variación del contenido de humedad se determinó a partir de la pérdida de peso que se registró durante la etapa de secado de las muestras, partiendo de un peso inicial entre 28 a 33 g del hongo comestible.

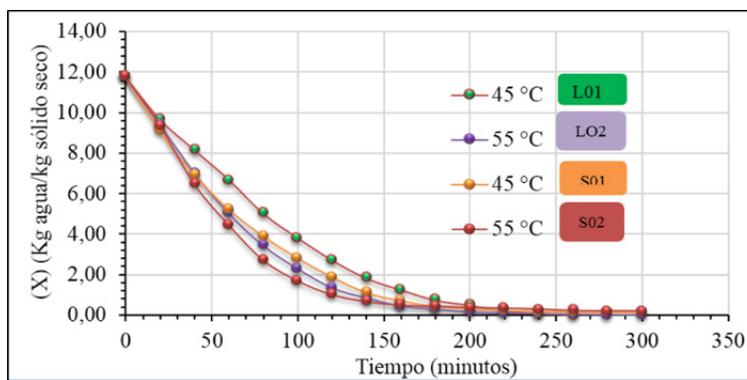


Figura 7. Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B1 (0,5 cm) vs C1 (3 m/s)

En la figura 7, se observa que al incrementar la temperatura de 45°C (T1) a 55°C (T2) el proceso de secado se ve favorecido con el cambio de humedad final y el tiempo de secado. Así mismo, la muestras L02 y S02 aplicada en condiciones de temperatura 55°C, tipo de corte 0,5 cm y velocidad del aire 3,0 m/s se observa que para un tiempo de 200 minutos tienen pérdida de agua de 0,148 kg agua/kg sólido (L02) y 0,374 kg agua/kg sólido seco (S02). Por otro lado, las muestras L01 y S01 aplicada a condiciones de temperatura 45°C, tipo de corte 0,5 cm y velocidad del aire 3,0 m/s se observa que para un tiempo de 200 minutos tienen pérdida de agua de 0,486 kg agua/kg sólido seco (L01) y 0,318 kg agua/kg sólido seco (S01).

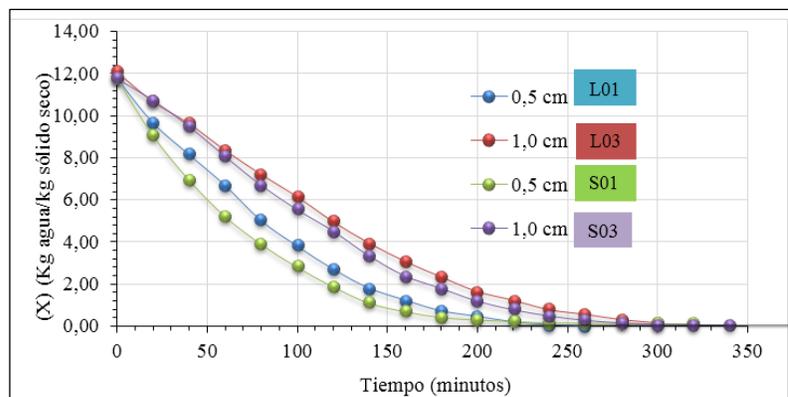


Figura 8. Variación del contenido de humedad con el tipo de corte, a A1 (45 °C) vs C1 (3 m/s)

En la figura 8, se observa que al variar el tipo de corte de 0,5 cm (B1) a 1,0 cm (B2), el tiempo de secado de las muestras aumenta debido al cambio de superficie expuesta a la corriente de aire; por lo tanto, las muestras L03 y S03 en condiciones de temperatura 45°C, tipo de corte 1,0 cm y velocidad del aire 3,0 m/s, se observan que para un tiempo de 300 minutos los contenidos de humedad son: 0,146 kg agua/kg aire seco (L03) y 0,102 kg agua/kg de aire seco (S03). Para las muestras L01 y S01 en condiciones de temperatura 45 °C, tipo de corte 0,5 cm y velocidad de aire 3,0 m/s, se observa que en un tiempo de 240 minutos tienen un contenido de humedad de 0,014 kg agua/kg aire seco (L01) y 0,164 kg agua/ kg aire seco (S01).

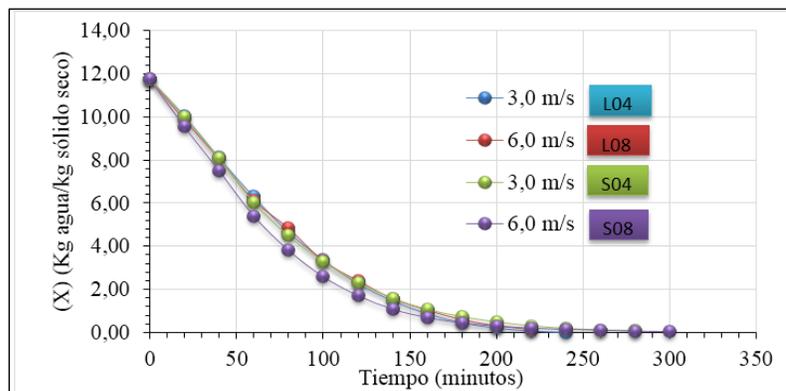


Figura 9 Variación contenido de humedad con la velocidad del aire, a A2 (55 °C) vs B2 (1,0 cm)

En la figura 9, se observa que al incrementar la velocidad del aire de 3,0 m/s (C1) a 6,0 m/s (C2), el proceso de secado se ve favorecido en la disminución del tiempo de secado y el contenido de humedad; por lo tanto, las muestras L08 y S08 en un tiempo de 220 minutos y en condiciones de temperatura 55°C, tipo de corte 1,0 cm y una velocidad del aire de 6,0 m/s, tienen un contenido de humedad final de 0,142 kg agua/kg aire seco (L08) y una pérdida de agua de 0,182 kg de agua/ kg de aire seco (S08). Así mismo las muestras L04 y S04, en un tiempo de 240 y en condiciones de temperatura 55°C, tipo de corte 1,0 cm y velocidad del aire de 3,0 m/s los contenidos de humedad son: 0,007 kg agua/kg de aire seco (L04) y 0,175 kg de agua/kg de solido seco (S04).

4.7. Cinéticas de secado en la obtención de hongo comestible seco en polvo

En la tabla 12, se muestra los resultados ajustados para la cinética de secado de las muestras del hongo comestible con pretratamiento, donde la temperatura 55°C, tipo de corte fue de 1,0 cm, velocidad del aire 3,0 m/s. los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2016). Por lo tanto, las condiciones de secado fueron las siguientes:

- ⊙ Área de la bandeja: 0,020 m²

- ⊙ Cantidad de materia: 33,69 g
- ⊙ Contenido de materia seca: 2,637 g
- ⊙ Contenido de humedad: 92,17 %
- ⊙ Tiempo de secado: 5 horas

Tiempo (minutos)	Peso (g)	X (kg/kg)	X media(kg/kg)	(h)	X(kg/kg)	(kg/kg/h)	N(kg/M2h)
0	33,69	11,771					
10	32,12	11,176	11,474	0,167	0,595	3,5639	0,470
20	29,81	10,301	10,738	0,167	0,876	5,2436	0,692
30	27,62	9,470	9,885	0,167	0,830	4,9712	0,656
40	25,53	8,678	9,074	0,167	0,792	4,7442	0,626
50	23,66	7,969	8,324	0,167	0,709	4,2449	0,560
60	21,85	7,283	7,626	0,167	0,686	4,1087	0,542
70	19,89	6,540	6,912	0,167	0,743	4,4491	0,587
80	18,42	5,983	6,261	0,167	0,557	3,3369	0,440
90	16,84	5,384	5,683	0,167	0,599	3,5866	0,473
100	15,14	4,739	5,062	0,167	0,644	3,8590	0,509
110	13,56	4,140	4,440	0,167	0,599	3,5866	0,473
120	12,52	3,746	3,943	0,167	0,394	2,3608	0,311
130	11,51	3,363	3,555	0,167	0,383	2,2927	0,302
140	10,27	2,893	3,128	0,167	0,470	2,8148	0,371
150	9,36	2,548	2,721	0,167	0,345	2,0657	0,272
160	8,66	2,283	2,416	0,167	0,265	1,5890	0,210
170	8,01	2,036	2,160	0,167	0,246	1,4755	0,195
180	7,14	1,707	1,872	0,167	0,330	1,9749	0,260
190	6,53	1,475	1,591	0,167	0,231	1,3847	0,183
200	6,08	1,305	1,390	0,167	0,171	1,0215	0,135
210	5,60	1,123	1,214	0,167	0,182	1,0896	0,144
220	5,01	0,899	1,011	0,167	0,224	1,3393	0,177
230	4,62	0,751	0,825	0,167	0,148	0,8853	0,117
240	4,30	0,630	0,691	0,167	0,121	0,7264	0,096
250	4,00	0,516	0,593	0,167	0,114	0,6810	0,090
260	3,64	0,380	0,448	0,167	0,136	0,8172	0,108
270	3,40	0,289	0,334	0,167	0,091	0,5448	0,072
280	3,26	0,236	0,262	0,167	0,053	0,3178	0,042
290	3,14	0,190	0,213	0,167	0,045	0,2724	0,036
300	3,07	0,164	0,117	0,167	0,027	0,1589	0,021

Tabla 12 Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de hongo comestible seco en polvo con pretratamiento Fuente: Elaboración propia

Donde:

X = Humedad en base seca de las muestras del hongo comestible

ΔX = Gradiente de humedad en base seca

$\Delta X / \Delta \Theta$ = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo

X media = Humedad media

N = Velocidad de secado

En la figura 10 se observa la curva de velocidad para las muestras del hongo comestible con tratamiento en función del contenido de humedad media de los datos obtenidos de la tabla 12.

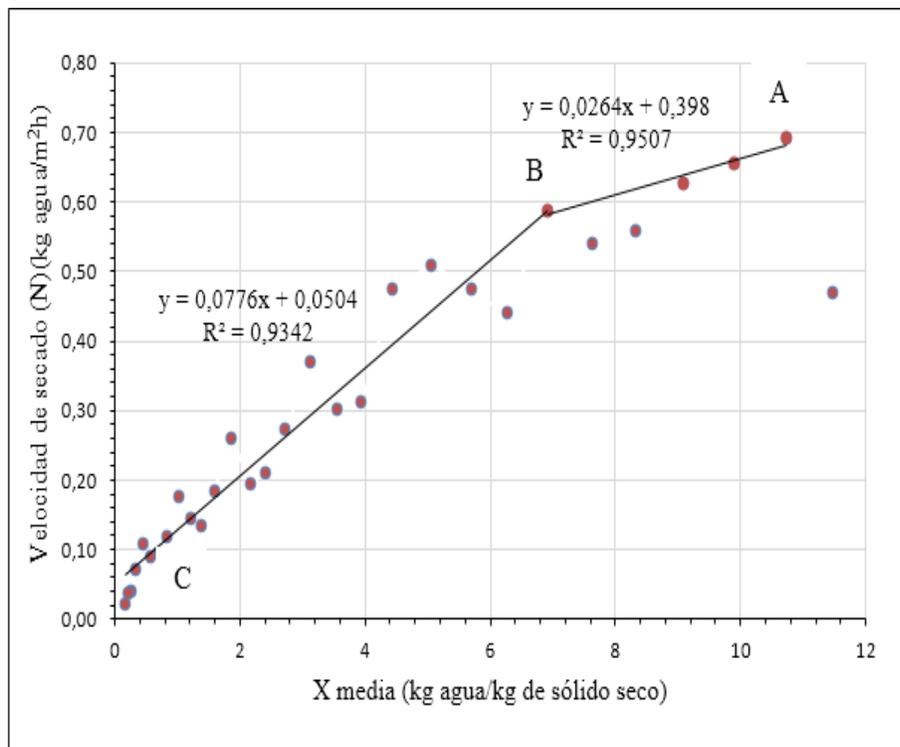


Figura 10 Cinética en el proceso de secado con pretratamiento

En la tabla 13 se muestra los resultados ajustados para la cinética de secado de las muestras del hongo comestible sin tratamiento, donde la temperatura 55°C, tipo de corte fue de 1,0 cm, velocidad del aire 3,0 m/s. los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Excel (2016).

Por lo tanto, las condiciones de secado fueron las siguientes:

Área de la bandeja: 0,020 m²

Cantidad de materia: 34,19

Contenido de humedad: 92,17 %

Contenido de materia seca: 2,677 g

Tiempo de secado: 5 horas

Tiempo (minutos)	Peso (g)	X (kg/kg)	X media(kg/kg)	(h)	X(kg/kg)	(kg/kg h)	N(kg/M2h)
0	34,19	11,771					
10	30,78	10,498	11,135	0,167	1,274	7,6274	1,021
20	27,12	9,130	9,814	0,167	1,367	8,1866	1,096
30	24,40	8,114	8,622	0,167	1,016	6,0840	0,814
40	22,66	7,464	7,789	0,167	0,650	3,8920	0,521
50	20,55	6,676	7,070	0,167	0,788	4,7196	0,632
60	18,60	5,948	6,312	0,167	0,728	4,3617	0,584
70	16,76	5,261	5,604	0,167	0,687	4,1157	0,551
80	15,47	4,779	5,020	0,167	0,482	2,8854	0,386
90	14,18	4,297	4,538	0,167	0,482	2,8854	0,386
100	12,79	3,778	4,037	0,167	0,519	3,1091	0,416
110	11,73	3,382	3,580	0,167	0,396	2,3710	0,317
120	10,88	3,064	3,223	0,167	0,318	1,9013	0,254
130	9,97	2,724	2,894	0,167	0,340	2,0355	0,272
140	9,06	2,384	2,554	0,167	0,340	2,0355	0,272
150	8,37	2,127	2,255	0,167	0,258	1,5434	0,207
160	7,87	1,940	2,033	0,167	0,187	1,1184	0,150
170	7,39	1,760	1,850	0,167	0,179	1,0737	0,144
180	6,81	1,544	1,652	0,167	0,217	1,2973	0,174
190	6,29	1,350	1,447	0,167	0,194	1,1631	0,156
200	5,99	1,238	1,294	0,167	0,112	0,6710	0,090
210	5,69	1,125	1,181	0,167	0,112	0,6710	0,090
220	5,30	0,980	1,053	0,167	0,146	0,8723	0,117
230	5,11	0,909	0,944	0,167	0,071	0,4250	0,057
240	4,92	0,838	0,873	0,167	0,071	0,4250	0,057
250	4,82	0,800	0,819	0,167	0,037	0,2237	0,030
260	4,59	0,715	0,758	0,167	0,086	0,5145	0,069
270	4,51	0,685	0,700	0,167	0,030	0,1789	0,024
280	4,47	0,670	0,677	0,167	0,015	0,0895	0,012
290	4,42	0,651	0,660	0,167	0,019	0,1118	0,015
300	4,37	0,632	0,642	0,167	0,019	0,1118	0,015

Tabla 13 Variación del contenido de humedad y velocidad de secado para la obtención de hongo comestible seco en polvo sin pretratamiento

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se observa la curva de velocidad para las muestras del hongo comestible sin pretratamiento en función del contenido de humedad media de los datos obtenidos de la tabla 13.

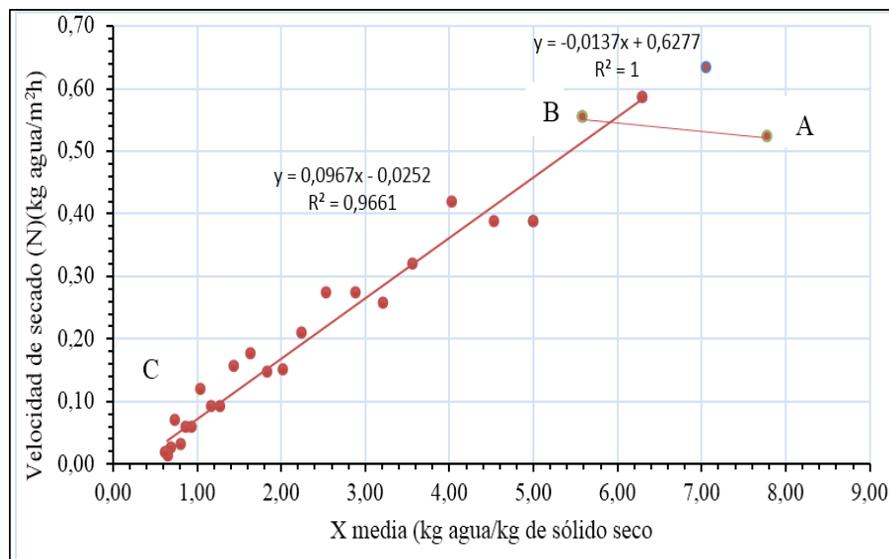


Figura 11 Cinética en el proceso de secado sin pretratamiento

Parámetros	Unidad	Resultado
Humedad	%	2,70
Ceniza	%	6,88
Grasa	%	1,38
Proteína	%	26,46
Fibra	%	0,00
Hidratos de carbono	%	62,58
Valor energético	Kcal/100g	360,58

Tabla 14 Análisis fisicoquímico del hongo comestible seco en polvo

Fuente: CEANID, 2021

Se observa que el hongo comestible seco en polvo contiene: humedad 2,70%; ceniza 6,88%; grasa 1,38%; proteína 26,46%; fibra no contiene; hidratos de carbono 62,58% y valor energético 360,58 kcal/100g.

Parámetros	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	6,8x104
Escherichia coli	UFC/g	1,0x101
Mohos y levaduras	UFC/g	ufc/g

Tabla 15 Análisis microbiológico del hongo comestible seco en polvo

Fuente: CEANID, 2021

Se observa que el producto terminado hongo comestible seco en polvo contiene: Coliformes totales 6,8 x 10⁴ UFC/g; Escherichia coli 1,0 x 10¹ UFC/g; mohos y levaduras 1,9 x 10⁴ UFC/g.

5. Discusión

De los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del hongo comestible se tiene que el contenido de ceniza total es de 1,03%; humedad 92,17%; grasa 0,24%; proteína 3,66%; hidratos de carbono 8,04%; fibra 0,53%; fosforo 82,40 mg/100g de muestra y valor energético 48,96 Kcal/100 g.

En base a los análisis microbiológicos del hongo comestible se tiene: Coliformes totales 1,0x101 UFC/g; Escherichia coli 1,0x101 UFC/g; Mohos y levaduras 1,9x105 UFC/g.

Realizada la evaluación sensorial para elegir el tipo de pretratamiento aplicado en muestras del hongo comestible, se pudo determinar que la muestra W03 tiene mayor preferencia por los jueces, la cual fue aplicada en una solución de 0,1% de metabisulfito de potasio por un tiempo de inmersión de tres minutos.

Según el diseño factorial 23 en la etapa de secado para muestras de hongo comestible con pretratamiento y sin pretratamiento, para tres variables independientes: temperatura de 45 a 55°C, tipo de corte ente 0,5 a 1,0 cm y velocidad del aire de 3,0 a 6,0 m/s; en donde la variable respuesta fue el contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco); por tanto, aplicando el software “Statgraphics centurión XVI” los resultados estadísticamente no son significativos con P-valor >0,05 para los tres factores analizados.

Aplicado el diseño factorial 23 para muestras de hongo comestible con pretratamiento y sin pretratamiento se pudo comprobar estadísticamente que las variables: Temperatura (A), Tipo de corte (B), velocidad del aire (C) y las interacciones temperatura-tipo de corte (A-B), temperatura-velocidad del aire (A-C), tipo de corte-velocidad aire (B-C), temperatura-tipo de corte-velocidad aire (A-B-C); no influyen significativamente en la variable respuesta humedad.

La composición fisicoquímica obtenida del hongo comestible seco en polvo, como producto terminado, se tiene que el contenido de humedad 2,70%; ceniza 6,88%; grasa 1,38%; proteína 26,46%; ausencia de fibra; hidratos de carbono 62,58% y valor energético 360,58 kcal/100g.

El análisis microbiológico del hongo comestible seco en polvo se tiene como resultados: se tiene que Coliformes totales 6,8 x 104 UFC/g; Escherichia coli 1,0 x 101 UFC/g; Mohos y levaduras 1,9 x 104 UFC/g.

Para reducir el índice de Coliformes totales, de mohos y levaduras, se puede utilizar el proceso de

lavado una solución de DG6 (Piridonio Cloruro) al 1% en volumen, para tal fin se debe introducir los hongos mediante inmersión por un tiempo de 30 segundos; con el fin de garantizar la inocuidad del hongo.

6. Bibliografía

- ❑ CEANID. (2021) Resultados de la composición fisicoquímica y microbiológica del hongo comestible “Pleurotus ostreatus”. Obtenido: Centro de Análisis y Desarrollo CEANID
- ❑ CEANID. (2021) Resultados de la composición fisicoquímica y microbiológica del hongo comestible seco en polvo. Obtenido: Centro de Análisis y Desarrollo CEANID
- ❑ Codex Alimentarius. (1981). Norma General Del Codex Para Hongos Comestibles Y Sus Productos. Obtenido En <https://www.fao.org>. Codex Stan 38-1985.
- ❑ Durán, F. (2006). Manual del Ingeniero de Alimentos. Colombia: Grupo Latino Ltda.
- ❑ Ibarz, A., & Barbosa, G. (2005). Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- ❑ LTA. (2019). UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO. Laboratorio Taller de Alimentos
- ❑ Maldonado, C. E. (26 de mayo de 2020). Mi Setas. (W. Lopez, Entrevistador)
- ❑ Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. México: Limusa Wiley.
- ❑ Melgarejo, E. (2015). “Algunos Usos De Los Hongos Silvestres De Bolivia En El Contexto Sudamericano”. (trabajo de investigación). Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba, Bolivia.

- Ureña, P. M. (1999). “Análisis sensorial de alimentos Metodos y aplicaciones”. En U. P. Milber, & D. H. Matilde, Introduccion al analisis sensorial de alimentos. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sánchez, J. E., & Royse, D. J. (2017). La biología, el cultivo y las propiedades nutricionales de las setas Pleurotus Spp. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas,- Mexico: El Colegio de la Frontera Sur
- Singh, P., & Heldman, D. (2009). Introducción a la ingeniería de los alimentos (Segunda ed.). Zaragoza: Acribia, S.A.