

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

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 5160 toneladas; por otro lado, en México la producción en el año 2014 fue de 3000 toneladas. Existe el interés de producir hongos comestibles en casi todos los países de América Latina, debido sus cualidades nutritivas, organolépticas, nutraceuticas 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 “Misetas” 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 “*Pleurotus ostreatus*” 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)

Así mismo, el presente trabajo pretende transformar el hongo comestible en productos secos en polvo, con la finalidad de alargar su vida útil y/o dar valor agregado a esta materia prima y promover una alternativa de consumo para el mercado local. En tal sentido, el producto en polvo se podría utilizar para elaborar y formular nuevos tipos de productos alimenticios de usos gastronómico para distintos consumidores a nivel local.

1.2 Justificación

- Promover una alternativa de consumo del hongo comestible para el mercado local, sabiendo que el mismo presenta propiedades nutritivas saludables debido a la presencia de compuestos bioactivos que estimulan el sistema inmune y ayudan a reducir la incidencia de enfermedades como ser cardiovasculares, diabetes y ciertos tipos de cánceres.
- Debido a que el hongo comestible es un producto perecedero, el presente trabajo pretende aprovechar y transformar en producto terminado seco en polvo, con la finalidad para alargar la vida útil y mejorar el valor agregado.
- Actualmente en el mercado local no existen productos obtenidos a base del hongo comestible del género (*Pleurotus Ostreatus*), para tal efecto, se ve la necesidad de incorporar un producto novedoso y alternativo seco en polvo para ofrecer a la población local e incentivar su cultivo de este tipo de hongo.
- El hongo comestible del género *Pleurotus Ostreatus*, no es comercializado en cantidad y sostenible en los mercados de la ciudad de Tarija, debido a que el hábito alimentario de la población local se basa en creencias y tradiciones culturales de la región, con el presente trabajo de investigación se pretende obtener un producto terminado seco en polvo de calidad nutricional con el fin de incentivar su consumo del hongo en los diferentes platos regionales.

1.3 Objetivos

Los objetivos propuestos para el siguiente trabajo de investigación se describen a continuación:

1.3.1 Objetivo general

Plantear una metodología experimental del proceso de secado con aire caliente, para obtener hongo comestible seco en polvo “*Pleurotus Ostreatus*” de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las características físicas del hongo comestible, con el fin de conocer la porción comestible y no comestible.
- Determinar la composición fisicoquímica del hongo comestible con el propósito de conocer su composición nutricional.
- Realizar pruebas preliminares a las muestras del hongo comestible con el fin de definir el pretratamiento a ser aplicado durante la etapa de secado.
- Aplicar un diseño factorial en el proceso de elaboración, con la finalidad de controlar variables específicas que puedan afectar la variable respuesta.
- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del producto terminado seco en polvo con la finalidad de establecer su calidad.
- Realizar el balance de materia y energía utilizando diagrama de proceso para determinar las variables de entrada y salida del proceso.

1.4 Objeto de estudio

En el presente trabajo de investigación se tomó el siguiente objeto:

Aplicar el proceso de secado con aire caliente para obtener hongo comestible seco en polvo “*Pleurotus Ostreatus*” de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.5 Campo de acción

El campo de acción propuesto para el siguiente trabajo de investigación para la obtener hongo comestible seco en polvo se detalla a continuación:

1.5.1 Espacial

El lugar espacial donde se desarrolló el trabajo de investigación, fue en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS), provincia Cercado del departamento de Tarija.

1.5.2 Temporal

El periodo de tiempo en que se desarrolló el trabajo de investigación fueron entre las gestiones 2020-2021.

1.5.3 Institución

Las instituciones que se tomaron en cuenta para el desarrollo del trabajo de investigación propuesto fueron las siguientes:

- Laboratorio de Taller de Alimentos-UAJMS
- Laboratorio de Ingeniería de Alimentos-UAJMS
- Laboratorio de Operaciones Unitarias-UAJMS

1.6 Situación problemática

En el mercado local, se puede observar que no existen productos elaborados secos en polvo a base del hongo comestible de la variedad “ostra” de manera que la población desconoce el valor nutricional, además al tratarse de un producto perecedero requiere transformación del hongo comestible para alargar su vida útil; Por lo tanto, con la obtención del producto seco en polvo permitirá aprovechar y transformar la materia prima en un producto terminado, con el fin de mejorar el valor agregado de la materia

prima. En tal sentido, se aplicó el método de secado con aire caliente el cual permitió obtener producto seco en polvo de calidad nutricional de manera que promueva una alternativa de consumo del hongo comestible para el mercado local y que facilite su aplicación de sus propiedades culinarias en los diferentes platos regionales.

1.7 Formulación del problema

¿Cuál será la metodología experimental a ser aplicada a nivel de laboratorio, que permitirá obtener hongo comestible seco en polvo “*Pleurotus Ostreatus*” de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija?

1.8 Planteamiento de la hipótesis

La metodología experimental de secado por aire caliente a ser aplicada para obtener hongo comestible seco en polvo, permitirá elaborar un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Origen de los hongos comestibles

Los hongos comestibles fueron recolectados y consumidos por nuestros antepasados durante miles de años, de tal modo que fueron apreciados por su excelente sabor y propiedades medicinales, su consumo fue considerado un plato de reyes y su comercialización objeto de materia legal durante el Imperio Romano. (Boa, 2005)

“El cultivo empírico del hongo comestible “*Pleurotus Ostreatus*” fue iniciado en Alemania” (Sánchez & Royse, 2017), pero sin embargo este tipo de hongo comestible es de origen húngaro, también llamada comúnmente como seta de ostra, Orellana, seta de chopo, gírgola (López, 2015).

En Latinoamérica el cultivo de hongos comestibles del género *Pleurotus Ostreatus* se inició en los años 70, aunque existen países como México que iniciaron su cultivo mucho más antes, pero sin embargo en Bolivia, el cultivo comercial de los hongos comestibles comenzó en el año 1989, en las ciudades de La Paz y Cochabamba y posteriormente en el año 1996 en la ciudad de Santa Cruz. (Sánchez & Royse, 2017)

En Bolivia los hongos comestibles también son conocidos como k'allampas, los cuales son apreciados por la cocina moderna boliviana y son muy requeridos por el sector urbano de las diferentes ciudades del país, debido principalmente a su valor nutricional y organoléptico. (Melgarejo, 2015)

2.2 Hongos comestibles

Los hongos comestibles son frutos pertenecientes a un grupo vegetal específico fungí que crecen en estado silvestre o que se cultivan y que después de su elaboración necesaria son apropiados para utilizarse como alimento (Codex Alimentarius, 1981).

2.3 Generalidades de los hongos comestibles

El reino de los hongos se caracteriza por incluir una gran variedad de especies, por tanto, no se sabe con exactitud cuántas especies de hongos existen en la Tierra. De acuerdo a investigaciones se deduce que las setas silvestres, constituyen al menos doce

mil especies que están distribuidas a nivel mundial, de las cuales dos mil han sido catalogadas como comestibles y de entre ellas, solo 35 especies, son cultivadas, producidas y comercializadas durante todo el año. (Margret et al., 2013)

Los hongos son organismos pluricelulares, poseen células eucariotes, son heterótrofos, portadores de esporas y carente de clorofila. Los hongos se nutren a través de su pared celular ya que tiene la capacidad de producir enzimas para degradar las moléculas de gran tamaño, como la quitina o celulosa, que no pueden ser absorbidas al interior de la célula. (Castellanos & Trejo, 2008)

2.4 Tipos de hongos

En el reino fungí existen muchos tipos de hongos los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera (Garcia, 2014):

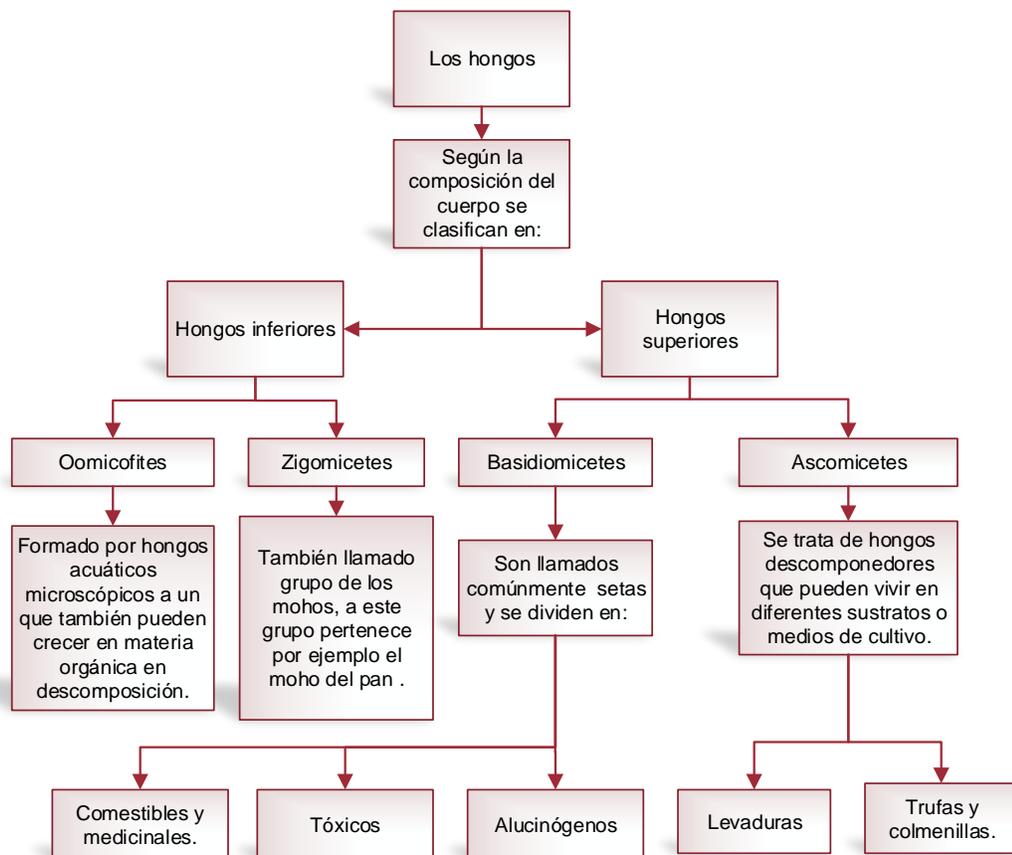


Figura 2.1 Clasificación de los tipos de hongos

Fuente: Garcia, 2014

La clasificación de los hongos superiores pertenecientes al reino fungi se divide en Basidiomicetes y Ascomicetes, y por tanto esta clasificación radica de acuerdo a la forma de reproducir sus esporas uno mediante ascas (ascomicetes) y otros mediante basidios denominados basidiomicetes (Alave, 2008).

Los basidiomicetos forman el segundo grupo más grande de hongos, en su mayoría macroscópicos que son visibles a simple vista e incluyen los conocidos hongos agaricales dentro de los que se encuentran algunas de las setas comestibles, tóxicas y alucinógenas (Huitrón & Nava, 2020).

2.4.1 Hongos tóxicos

Los hongos venenosos o tóxicos, son aquellos hongos cuando se los ingiere puede provocar en trastornos gastrointestinales como ser vómitos, diarreas, dolores abdominales, fiebre, taquicardia y en algunos casos la muerte segura según la especie que se consuma. La intoxicación a partir de hongos tóxicos se llama micetismo debido a que contienen y producen sustancias que no pueden ser descompuestas por los procesos digestivos y metabólicos del ser humano y al ser absorbidas provocan un cuadro diarreico e incluso la muerte. (Hongos de Chile, 2019)

2.4.2 Hongos alucinógenos

También llamados psicotrópicos o neurotrópicos. Son hongos que contienen sustancias que alteran el estado emocional del consumidor, la sustancia que produce estos efectos es llamada psilocibina. Los efectos de los hongos alucinógenos dependen de la interrelación de las características de la sustancia y en la medida en que lo consumas. (Castellanos & Trejo, 2008)

Los hongos alucinógenos provocan sensaciones de euforia, aumentan el ritmo cardiaco y la presión sanguínea. Incluso existen estudios psiquiátricos donde se utiliza este tipos de hongos para tratamiento de diferentes enfermedades mentales y los resultados en los pacientes fueron positivos (Lovera, 2017).

2.4.3 Hongos medicinales

Los hongos comestibles y medicinales son una valiosa fuente de nutrientes y compuestos bioactivos para el ser humano, su sabor y aroma característicos han despertado un creciente interés gastronómico y culinario. Contienen efectos potenciales beneficiosos sobre la salud humana los hacen ser firmes candidatos para considerarlos alimentos funcionales. (Roncero, 2015)

2.5 Compuestos bioactivos de los hongos comestibles

Muchos hongos comestibles han sido utilizados en la prevención y tratamiento de enfermedades debido a que tienen propiedades medicinales, los cuales contienen moléculas sintetizadas bioactivas, que se encuentran en el cuerpo de los hongos comestibles, estos compuestos bioactivos son los polisacáridos, proteína, grasas, minerales, terpenoides, aceites volátiles, flavonoides, lectinas y otros en general. Pero los compuestos más importantes la prevención y tratamiento son los polisacáridos y los B-glucano que son metabolitos con un alta actividad biología en las propiedades medicinales. (Valverde et al., 2014)

2.5.1 Polisacáridos

Entre los compuestos bioactivos de los hongos, los polisacáridos como la quitina, celulosa, β -glucanos y complejos polisacáridos-proteína son los que presentan mayor actividad antitumoral, antiviral e inmunomoduladora; estos polisacáridos biológicamente activos se pueden encontrar en los cuerpos fructíferos, en el micelio cultivado e incluso ser extraídos del medio donde se cultivan, . Existen numerosos estudios, tanto *in vivo* como *in vitro*, en los que se han aislado β -glucanos y complejos polisacáridos-proteína de diferentes hongos y se ha demostrado que éstos tienen importantes propiedades biológicas como agentes inmunomoduladores, antitumorales, hipoglicémicos y antioxidantes. (Roncero, 2015)

2.5.2 β -glucanos

Los β -glucanos son los principales polisacáridos que se encuentran en los hongos, los cuales son responsables de actividades anticancerígenas, antimoduladoras, antioxidantes y neuroprotectoras, protegen de enfermedades y efectos dañinos como ser las toxinas ambientales y carcinógenos que dañan el sistema inmunológico de las personas. (Valverde et al., 2014)

2.6 Definición del hongo comestible “*Pleurotus Ostreatus*”

El hongo comestible es un hongo saprofito, que crece principalmente sobre sustratos lignocelulósicos vivos o muertos, pobres en nutrientes y con bajos niveles de minerales y vitaminas (Cruz et al, 2010).

Este tipo de hongo comestible es considerado un complemento alimenticio de alto valor nutricional, dado por su gran aporte de proteínas que contienen todos los aminoácidos esenciales. Posee un bajo contenido de grasas y está libre de colesterol, además contiene una baja cantidad de carbohidratos y sobre sale su alto contenido de vitaminas del grupo B y minerales. (Morales, 2019)

2.6.1 Morfología del hongo comestible

El hongo comestible está formado por su sombrero más o menos circular y su pie que lo sostiene, en la cara inferior del sombrero se encuentran las láminas verticales que se extiende desde la parte superior hasta el pie del hongo las cuales tienen función de producir las estructuras de reproducción llamadas esporas cuya misión es perpetuar la especie. (Gaitan *et al.*, 2006)

2.6.2 Taxonomía del hongo comestible

Según (Barba & López, 2017) el hongo comestible (*Pleurotus Ostreatus*) se ubica en el reino fungí dentro de la siguiente clasificación taxonómica como se muestra en la tabla 2.1:

Tabla 2.1

Clasificación taxonómica del hongo comestible

Reino	Fungí
División	Basidiomycota
Subdivisión	Basidiomycotina
Clase	Basidiomycetes
Subclase	Holobasidiomycetidae
Orden	Agaricales
Familia	Tricholomataceae
Genero	Pleurotus
Especie	Ostreatus

Fuente: Barba & López, 2017

2.6.3 Propiedades nutricionales del hongo comestible Pleurotus Ostreatus

El alto valor nutricional que posee Pleurotus ostreatus le ha permitido ser catalogado como la carne vegetal, porque presenta el doble del contenido proteico que los vegetales tradicionales, además tiene un elevado contenido de vitaminas (tiamina (B1), riboflavina (B2), piridoxina (B6), cobalamina (B12), ácido ascórbico (C), ácido nicotínico, ácido fólico y tocoferol), y actúa como fuente importante de calcio y fósforo. Además, contiene ácidos grasos esenciales como el oleico, palmítico y linoleico. (Vallejo et al., 2017)

En la tabla 2.2, se observa la composición fisicoquímica del hongo comestible cultivado de datos referidos en 100 g de materia fresca.

Tabla 2.2

Composición fisicoquímica de Pleurotus Ostreatus

Parámetro	Unidad	Total	Parámetro	Unidad	Total
Materia seca	g	9,3	Potasio	mg	216,50
Agua	g	90,7	Calcio	mg	0,44
Grasa	g	0,7	Vitamina B1	mg	0,08
Proteína	g	1,9	Vitamina B2	mg	0,16
Fibra total	g	4,6	Vitamina B6	mg	0,03
Carbohidratos	g	1,4	Vitamina C	mg	0,48
Calorías	Kcal	20,0	Ácido fólico	mg	0,05
Sodio	mg	2,5	Niacina	mg	2,82

Fuente: Sánchez & Royse, 2017

2.7 Usos y aplicaciones del hongo comestible “*Pleurotus Ostreatus*”

El consumo frecuente de hongos beneficia la salud y bienestar general, sobre todo en los que se refiere a la prevención de las enfermedades que comúnmente ocasionan las dietas inadecuadas, se mencionan algunas de las propiedades medicinales que se han encontrado al hongo comestible. (Maccapa, 2021).

2.7.1 Efectos antitumorales

El hongo comestible *Pleurotus Ostreatus* contiene cantidades importantes de polisacáridos de estructura molecular compleja, los cuales se le ha encontrado una importante cantidad antitumoral, es decir, se ha comprobado a nivel laboratorio que estas sustancias son capaces de retardar y disminuir el tamaño de algunos tipos de tumores, además de prevenir la formación de estos. El mecanismo consiste en que estos polisacáridos actúan como potenciadores de las células de defensa que posteriormente destruyen las células cancerosas sin ocasionar efectos colaterales a la salud de las personas. (Maccapa, 2021)

2.7.2 Efecto antiinflamatorio

El hongo *Pleurotus ostreatus* tiene también propiedades antiinflamatorias, se han hecho investigaciones en donde se aislaron glicopeptidos que contienen aminoácidos, ácidos con glucosa, arabinosa, galactosa, manosa y xilosa, en la cadena de carbohidratos, con excelente capacidad fúngica y antibiótica, estos componentes han sido 22 aislados tanto del micelio como de los cuerpos fructíferos. (Maccapa, 2021)

2.7.3 Control del colesterol

Altos niveles de colesterol normalmente están asociados a la hipertensión y propensión a enfermedades cardiovasculares en el ser humano. La eritadenina compuesto en hongos comestibles tiene la capacidad de reducir eficazmente las concentraciones de colesterol, triglicéridos y fosfolípidos en suero sanguíneo. Se ha propuesto que este compuesto hipocolesterolémico, también conocido como “lentisina” o “lentinacina”, acelera la excreción y descomposición metabólica del colesterol ingerido por el organismo. (Martínez *et al.*, 2004)

2.7.4 Efectos antivirales

Los mismos mecanismos que estimulan el sistema inmune del organismo, actúan de la misma manera para combatir algunos agentes infecciosos, tanto virales como bacterianos, el hecho de que se puedan activar mediante estos polisacáridos ciertos sistemas de defensa puede contribuir como coadyuvante en el tratamiento de enfermedades de deficiencia inmunológica como el SIDA y otras enfermedades de origen autoinmune como la Artritis reumatoide o el Lupus. (Maccapa, 2021)

2.7.5 Estimula el sistema inmune

Los hongos representan una fuente ilimitada de polisacáridos, lectinas, complejos polisacárido-péptido o polisacárido-proteína con propiedades inmuno estimulantes, ejerciendo sus efectos a través de la activación de varios tipos de células efectoras del sistema inmune (Ramírez, 2009).

2.7.6 Control de la diabetes

El hongo comestible reduce los azúcares en la sangre, esto se debe al alto contenido de fibra y proteína beneficiosa y el bajo contenido de los hongos, combate la diabetes en forma natural debido a su compuesto contenido en el hongo ostra llamado Guanide que produce un poderoso efecto hipoglucémico. (Patel *et al.*, 2012)

2.8 Aditivos alimentarios

Los aditivos alimentarios son sustancias naturales o manufacturadas que no se consuma normalmente como alimento, ni se utiliza normalmente como un ingrediente característico de los alimentos, se agregan a los alimentos para restaurar los colores perdidos durante el procesamiento, prevenir oxidaciones, prevenir el deterioro durante almacenamiento y protección contra intoxicaciones alimentarias. (Durán, 2006)

Los aditivos alimentarios para evitar el pardeamiento enzimático de las muestras del hongo comestible se detallan a continuación:

2.8.1 Ácido cítrico

El ácido cítrico se encuentra entre los aditivos más utilizados. Se producen por procesos de fermentación haciendo crecer ciertos tipos de mohos en subproductos de la industria alimentaria ricos en azúcares, se pueden emplear en prácticamente cualquier tipo de producto alimentario elaborado los que confiere su característica acidez. En los procesos de secado, es un aditivo especialmente eficaz para evitar el oscurecimiento es que se produce rápidamente en las superficies cortadas de algunas frutas y otros vegetales. (Durán, 2006)

2.8.2 Ácido ascórbico

El ácido ascórbico también conocido como vitamina C, se obtiene industrialmente por un conjunto de reacciones químicas y procesos microbiológicos, es un antioxidante que contribuye a evitar el oscurecimiento de la fruta y hortalizas (Durán, 2006).

2.8.3 Meta bisulfito de potasio

El meta bisulfito de potasio es obtenido como cristales blancos o incoloros en forma de polvo o granos, se emplea como conservante alimentario el cual retarda la acción bacteriana, funciona como antioxidante y previene la decoloración de frutas y hortalizas deshidratadas. (Igoe, 2011)

2.9 Secado como medio de conservación de alimentos

Mediante este proceso se elimina el agua en forma de vapor de los alimentos líquidos o sólidos, su finalidad es prolongar la vida útil de los alimentos. La conservación se consigue debido a que se reduce la actividad de agua a niveles en los cuales se disminuye y bloquea el crecimiento de microorganismos, inhibiendo de igual forma, la presencia de reacciones químicas y bioquímicas, por lo tanto, aumenta la estabilidad del alimento. (Aguilar, 2012)

2.10 Secado con aire caliente

Cuando un alimento se pone en contacto con aire de una temperatura y humedad dadas, este último proporciona el calor latente necesario para que el agua del producto pase a

vapor. El vapor de agua abandona el alimento por difusión, a través de la película de aire en reposo que rodea a la superficie del producto, hasta alcanzar la corriente de aire en movimiento, que se encarga de arrastrarlo fuera del secador. La transferencia de materia tiene lugar debido al gradiente existente entre la presión de vapor del agua del alimento y la presión parcial del vapor de agua en el aire, siendo la fuerza impulsora de este movimiento. (Rodríguez et al., 1999)

2.11 Secador de bandejas

Están formados por una cámara metálica rectangular, en cuyo interior se disponen unos bastidores móviles. Cada bastidor lleva un cierto número de bandejas perforadas que ayudan a reducir el tiempo de secado, montadas unas sobre otras con una separación conveniente, colocándose sobre ellas el producto a secar, el ventilador colocado en la parte superior hace circular el aire por los calentadores y después entre las bandejas, con la ayuda de unos deflectores montados convenientemente. (Casp & Abril, 2003)

El aire se puede calentar por métodos directos o indirectos. El calentamiento directo consiste en mezclar el aire con los gases de una combustión, sin que se interponga entre ambos fluidos resistencia alguna a la transmisión de calor, como es el caso de un intercambiador de calor (Rodríguez et al., 1999). En la figura 2.2, se muestra un esquema de secador de bandejas.

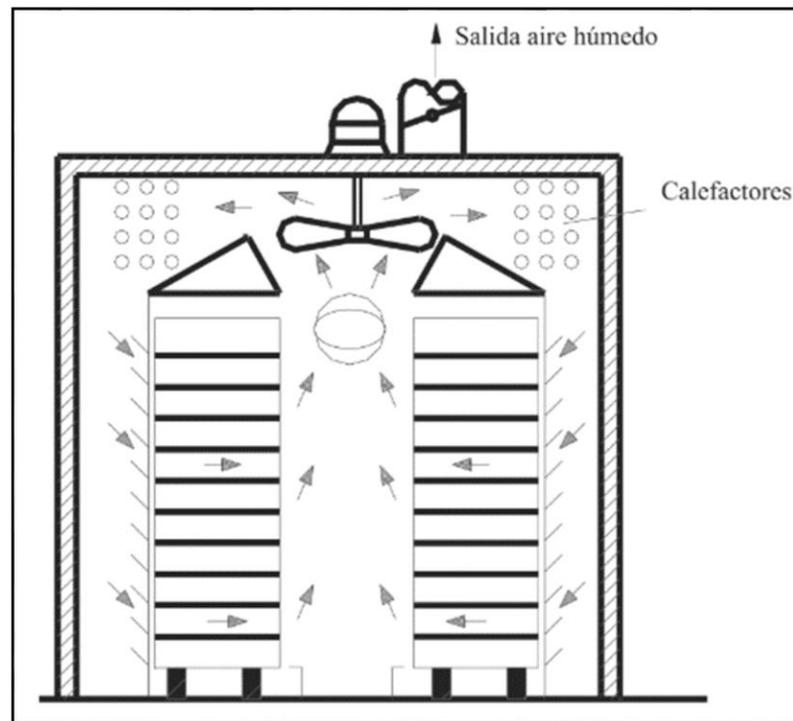


Figura 2.2 Esquema del secador de bandejas
Fuente: Casp & Abril, 2003

2.12 Contenido de humedad de los sólidos

La humedad indica la cantidad de agua presente en una muestra, a continuación describen ciertos términos que se utilizan para explicar el contenido de humedad de las sustancias (Singh & Heldman, 2009).

2.12.1 Humedad base húmeda

Humedad en base húmeda (HBH) es la cantidad de agua por unidad de masa de muestra húmeda y el cálculo para el contenido de humedad en base humedad se describe en la (ecuación 2.1)

$$HBH = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólido seco} + \text{masa de agua}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

2.12.2 Humedad en base seca

Humedad en base seca (HBS) es la cantidad de agua por unidad de masa de sólido seco en la muestra y el cálculo para el contenido de humedad en base seca se describe en la (ecuación 2.2).

$$HBS = \frac{\textit{masa agua}}{\textit{masa sólido seco}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

2.12.3 Humedad en equilibrio

Según (Sachin, 2010) indica que “es el contenido de humedad que a cierta temperatura y presión determinadas, el contenido de humedad de sólido húmedo este equilibrio con la mezcla gas-vapor del aire”.

2.12.4 Humedad no ligada

Desde el punto de vista de (Sachin, 2010) concluye que es “humedad en el sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura”.

2.12.5 Humedad ligada

De acuerdo con (Sachin, 2010) afirma que “es la humedad unida física o químicamente a una matriz sólida para ejercer una presión de vapor menor que la del líquido puro a la misma temperatura”.

2.12.6 Humedad libre

Según (Sachin, 2010) indica que “es la diferencia entre la humedad inicial y su contenido de humedad de equilibrio, también se lo conoce como humedad en exceso”.

2.12.7 Humedad relativa

Según (Tzia & Varzakas, 2015) indica que “es la relación entre la presión parcial de vapor de agua en el sistema y la presión parcial de vapor de agua en estado de saturación (presión de vapor de equilibrio) a la misma temperatura”.

2.12.8 Humedad absoluta

De acuerdo con (Tzia & Varzakas, 2015) indica que “es la masa de humedad de vapor de agua, contenida en la mezcla húmeda por unidad de masa de aire seco, se mide en kg de agua/kg de aire seco”

2.13 Variables que influye en la velocidad de secado

Las variables que influyen en la velocidad de secado se describen a continuación:

2.13.1 Temperatura del aire

Según (Jimenez & Vidal, 2009) dicen “cuanto mayor sea la temperatura del aire de secado (manteniendo constante el resto de las variables), mayor será la velocidad de secado, y las curvas presentarán mayor pendiente”.

2.13.1.1 Temperatura de bulbo seco

De acuerdo con (Padma, 2019) dice que “se define como la temperatura del aire seco medida con un termómetro estándar o un sensor de temperatura no modificado”.

2.13.1.2 Temperatura de bulbo húmedo

Es la temperatura medida con el elemento sensor húmedo que se enfría por la evaporación del agua. Cuando se cubre un termómetro con una mecha húmeda y se coloca en la corriente de aire, el agua se evapora de la mecha debido a la mayor presión de vapor de la mecha húmeda en comparación con el aire. El agua que se evapora enfría el bulbo a una temperatura inferior a la indicada por un termómetro con un elemento sensor seco (termómetro de bulbo seco). Además, la temperatura del bulbo húmedo es la temperatura más baja a la que una mezcla de aire puede ser enfriada únicamente por la adición de agua sin que se produzca ninguna eliminación de calor. (Padma, 2019)

2.13.2 Velocidad másica del aire

Al aumentar la velocidad de aire de secado la velocidad del aire aumentara, aunque se puede pensar que nada tiene que ver con la velocidad del aire sino su capacidad de

transferir masa función que es dependiente de la humedad relativa y la humedad absoluta. (Jimenez & Vidal, 2009)

2.13.3 Humedad absoluta de aire

Según (Jimenez & Vidal, 2009) mencionan “al aumentar la humedad absoluta del aire disminuye lógicamente la velocidad de secado, al hacerlo la fuerza impulsora en la fase gas”.

2.13.4 Naturaleza del alimento

La naturaleza del alimento que se desea secar es un factor muy importante en los procesos de secado, ya que sus propiedades físicas y químicas juegan un papel importante, debido a los posibles cambios que puedan ocurrir y al efecto de estos cambios en la eliminación del agua del producto. (Ibarz & Barbosa, 2005)

2.13.5 Tamaño de partícula

Al aumentar la superficie de contacto del aire con el producto, permite alcanzar antes la temperatura al cual el secado es efectivo, además la evaporación tiene lugar en la superficie del producto y permite al aire acceder más fácilmente a toda esta superficie del producto y esto provoca que la eliminación de agua del producto será tanto más fácil cuando menor sea el tamaño de los trozos. (Casp & Abril, 2003)

2.14 Curvas de secado

Las velocidades de secado de los materiales alimenticios generalmente se determinan experimentalmente, ya que es muy difícil predecir con precisión las tasas de transporte de masa y calor, las pruebas de secado se realizan sobre una capa de material, colocada en un secador experimental, que se opera en condiciones controladas, se controla en las muestras el peso en función de tiempo de la cual se obtienen la curva de secado básica del contenido de humedad en base seca frente al tiempo y la curva de velocidad de secado. (Saravacos & Maroulis, 2011)

2.14.1 Curva de contenido de humedad a través del tiempo

El proceso de secado está normalmente dividido en tres fases: una fase inicial de precalentamiento, seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más fases de velocidad de secado decreciente (Casp & Abril, 2003). En la figura 2.3, se muestra la curva del contenido de humedad en base seca a través del tiempo.

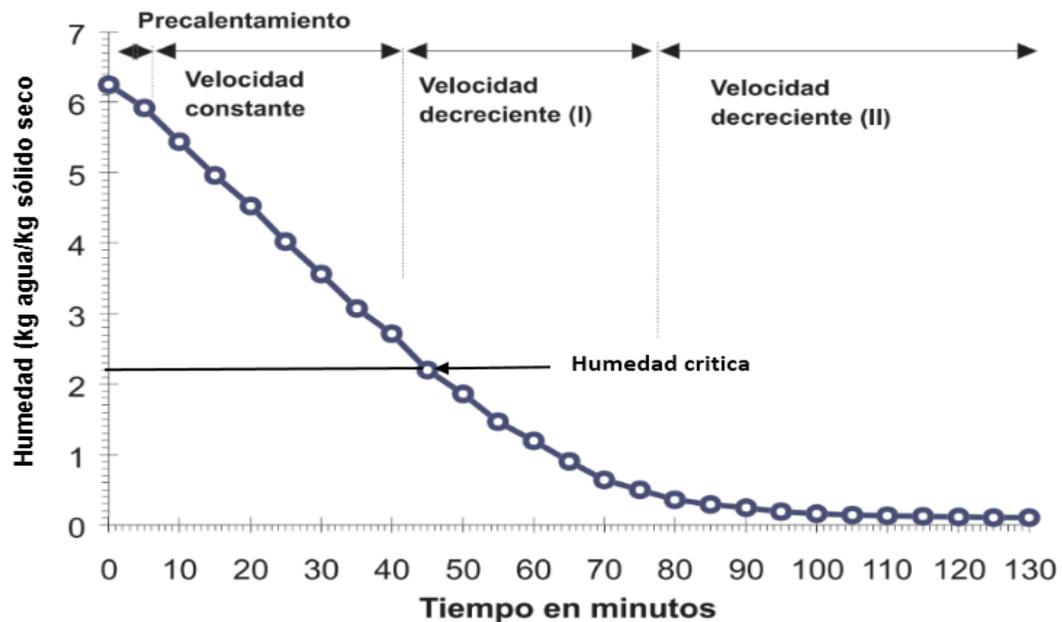


Figura 2.3 Periodos de secado

Fuente: Casp & Abril, 2003

Según (Casp & Abril, 2003) en el secado por convección, se pueden distinguir las siguientes etapas clásicas, diferenciadas entre sí por la velocidad de secado:

Periodo de precalentamiento: Este periodo es corto con relación al tiempo total de secado debido a que el producto a secar está frío y se calienta hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo del medio, la velocidad de transmisión de masa es muy lenta, mientras que la transmisión de calor es alta debido al gradiente de temperatura del aire y del producto a secar. (Arias, 2013)

Periodo de velocidad constante: Durante el cual se produce una reducción importante del contenido de agua, el agua de imbibición se elimina con un flujo másico constante. Este periodo continúa mientras que la superficie del producto esté alimentada por agua libre líquida desde el interior, fundamentalmente por capilaridad., esta etapa de velocidad de secado constante finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica. (Casp & Abril, 2003)

Periodo de velocidad decreciente: Comienza a partir del punto correspondiente a la humedad crítica, la evaporación tiene lugar en el interior del producto a temperatura mayor que la del bulbo húmedo, la velocidad de secado disminuye por relación a la disminución del área de transferencia de masa. (Arias, 2013)

Segundo periodo de velocidad decreciente: Este periodo sólo existe para los materiales higroscópicos, En el alimento no queda más que agua ligada que se evacua muy lentamente. Esta fase se termina cuando el producto alcanza su humedad de equilibrio, que depende de las condiciones de secado. (Casp & Abril, 2003)

2.14.2 Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad

El proceso de secado de un material, puede describirse por una serie de etapas en las que la velocidad de secado juega un papel determinante. Los periodos de velocidad de secado se aprecian si se representa la velocidad de secado (dx/dt : variación de la humedad con respecto del tiempo), En la gráfica 2.4 puede verse el tramo horizontal correspondiente a la velocidad constante y los tramos de velocidad decreciente. La humedad crítica coincide con el punto de intersección de la recta de velocidad constante con la del primer tramo de velocidad decreciente. (Casp & Abril, 2003)

Donde:

N_v = Es la unidad de secado por unidad de area.

N_w = Velocidad cuando el cuerpo esta totalmente saturado.

X_{cr} = Contenido de humedad critico.

X_{eq} = Contenido de humedad en equilibrio.

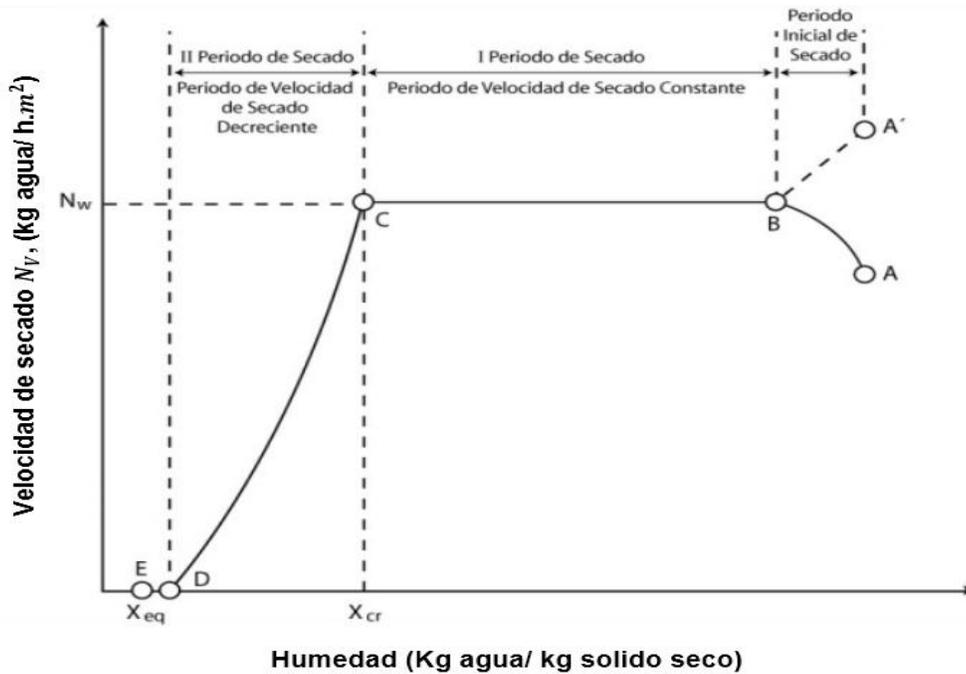


Figura 2.4 Cinética de secado

Fuente: Mendieta & Picado, 2002

La figura 2.4 se muestra una curva de velocidad de secado en la que los puntos A y A' representan el inicio de secado para un material frío y caliente. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. El tramo de la curva B-C es conocido como período de velocidad constante de secado está asociado a la eliminación del agua no ligada al producto y termina cuando la humedad se reduzca al contenido de humedad crítica. (Ibarz & Barbosa, 2005)

El período de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado no se mantiene constante y empieza a disminuir. El punto C representa el inicio del período de velocidad decreciente. La primera de ellas se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está seca completamente (punto D), mientras que la segunda etapa del período de velocidad de secado decreciente se inicia en el punto D, cuando la superficie está completamente seca, y el plano de evaporación se traslada al interior del sólido y posteriormente se llega al equilibrio. (Ibarz & Barbosa, 2005)

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Introducción

El presente trabajo de investigación para obtener hongo comestible seco en polvo “*Pleurotus Ostreatus*”, se realizó en el Laboratorio del Taller de Alimentos (L.T.A.); Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) y Laboratorio de Ingeniería de Alimentos (LIA); dependientes de la Carrera de Ingeniería de Alimentos de la “Universidad Autónoma Juan Misael Saracho”.

3.2 Descripción de los equipos, instrumentos de laboratorio, utensilios e aditivos

A continuación, se describen los equipos, instrumentos de laboratorio, utensilios e aditivos que se utilizaron en la parte experimental para obtener hongo comestible seco en polvo.

3.2.1 Equipos de proceso

Los equipos requeridos para obtener hongo comestible seco en polvo se describen a continuación:

3.2.1.1 Secador a bandejas

En la figura 3.1, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción del secador de bandejas.

	Marca	Esztergom
	Industria	Hungary
	Tipo	1231 SZ-1
	Capacidad de bandejas	5 (66X66)cm
	Tensión	220 V
	Potencia total	2200 W
Descripción: Este equipo se utilizó para secar las muestras del hongo comestible, con temperaturas regulable en función de las variables de secado.		

Fuente: LTA, 2021

Figura 3.1 Secador de bandejas

3.2.1.2 Molino analítico eléctrico

En la figura 3.2, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción del molino analítico eléctrico.

	Marca	Quimis
	Industria	Brasil
	Modelo	0298A21
	Capacidad de cámara	50 ml
	Tensión	220 V
	Potencia total	1000 W
	<p>Descripción: Este equipo se utilizó con el fin de triturar las muestras de hongo comestible secas.</p>	

Fuente: LCIA, 2021

Figura 3.2 Molino Analítico eléctrico

3.2.1.3 Tamizador vibratorio eléctrico

En la figura 3.3, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción del tamizador.

	Marca	Orto Alresa
	Industria	España
	Año	2005
	Tensión	220 V
	Potencia total	80 W
	Frecuencia	50 Hz
	<p>Descripción: Este equipo, se utilizó para separar las partículas de diferente tamaño que pasaron por el proceso de molienda, con aberturas de malla de 0,25 mm y 0,50 mm de luz.</p>	

Fuente: LOU, 2021

Figura 3.3 Tamizador eléctrico

3.2.1.4 Generador de aire

En la figura 3.4 se muestra las especificaciones técnicas y su descripción del generador de aire.

	Marca	Intermed
	Industria	Boliviana
	Capacidad max.	6 m/s
	Tención	220 V
	Potencia total	250 W
	Frecuencia	50 – 60 Hz
Descripción: Este equipo cumplió la función de introducir aire (m/s) al secador de bandejas, con el fin de coayudar en la evacuación del aire caliente y húmedo de la cabina del secador.		

Fuente: LTA, 2021

Figura 3.4 Generador de aire

3.2.1.5 Selladora eléctrica

En la figura 3.5, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción de la selladora eléctrica.

	Marca	Alfosin
	Industria	Boliviana
	Tención	220 V
	Potencia total	500 W
	Termonizador	0-10
Descripción: Este equipo se utilizó para el sellado de las bolsas de polipropileno con muestras del producto seco en polvo.		

Fuente: LTA, 2021

Figura 3.5 Selladora eléctrica

3.2.2 Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos utilizados en la parte experimental para obtener hongo comestible seco en polvo, se detallan a continuación:

3.2.2.1 Balanza analítica digital

En la figura 3.6, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción de la balanza de precisión.

	Marca	Mettler Toledo		
	Industria	Suiza		
	Modelo	PB1502		
	Capacidad (g)	Max.	1510	e 0,1
		Min.	0,5	d 0,01
	Frecuencia	50 - 60 Hz		
	Potencia	5 W		
Descripción: Este instrumento, se utilizó para determinar el peso (g) de la cantidad del hongo comestible y aditivos.				

Fuente: LTA, 2021

Figura 3.6 Balanza analítica digital

3.2.2.2 Balanza de precisión digital

En la figura 3.7, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción de la balanza de precisión.

	Marca	Radwag		
	Industria	Polonia		
	Modelo	PS 4500.R2		
	Capacidad (g)	Max.	4500	e 0,1
		Min	0,5	d 0,01
	Frecuencia	50 - 60 Hz		
	Potencia	4 W		
<p>Descripción: Este instrumento se utilizó para controlar la variación de la pérdida de peso de las muestras del hongo comestible en el proceso de secado.</p>				

Fuente: LCIA, 2021

Figura 3.7 Balanza de precisión

3.2.2.3 Anemómetro digital

En la figura 3.8, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción del anemómetro digital.

	Marca	HT Instruments	
	Industria	China	
	Modelo	HT-4000	
	Tensión	9 V	
	Resolución	0,1	
<p>Descripción: Este instrumento, se utilizó para determinar la velocidad de la corriente de aire (m/s) en la boquilla de entrada de aire de la cabina del secador.</p>			

Fuente: LCIA, 2021

Figura 3.8 Anemómetro digital

3.2.2.4 Termo-higrómetro digital

En la figura 3.9, se muestra las especificaciones técnicas y su descripción del termohigrómetro digital.

	Marca	Ehdis	
	Modelo	HT-4000	
	Tensión	9 V	
	Humedad relativa	(0-100)%	
	Rango temperatura (°C)	TBS	TBH
		-40 – 105	0 – 80
	Exactitud	±0.5 °C	
Descripción: Este instrumento, se utilizó para medir temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo (°C) en la boquilla del aire de entrada y salida del secador a bandejas.			

Fuente: LCIA, 2021

Figura 3.9 Termo-higrómetro digital

3.2.3 Material de laboratorio

Los materiales de laboratorio utilizados para obtener hongo comestible seco en polvo, se detallan a continuación en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

Material de laboratorio

Material	Capacidad	Calidad	Cantidad
Termómetro de sonda	(-50-70)°C	Digital	1
Vernier manual	(0-25)cm e=0.05mm	Acero inoxidable	1
Vidrio reloj	Pequeño	Vidrio	3
Envases	Pequeño	Polipropileno	50
Mortero	Pequeño	Porcelana	1

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina utilizados para obtener hongo comestible seco en polvo, se detallan a continuación en la tabla 3.2.

Tabla 3.2

Utensilios utilizados durante la parte experimental

Ítems	Capacidad	Calidad	Cantidad
Fuentes	Mediano	Acero inoxidable	4
Jarras graduada	1 Litro	Plástico	2
Cuchillo	Mediano	Acero inoxidable	1
Cucharas	Mediano	Acero inoxidable	2
Coladores	Mediano	Plástico	2

Fuente: Elaboración propia

3.3 Materia prima e insumos alimentarios

El hongo comestible “*Pleurotus Ostreatus*” fue utilizado como materia prima el cual procede del barrio Aranjuez, de la provincia Cercado del departamento de Tarija. En la figura 3.10, se muestra el hongo comestible.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Hongo comestible (*Pleurotus Ostreatus*)

Los insumos alimentarios que se utilizaron durante el proceso para obtener hongo comestible seco en polvo, se detallan a continuación en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

Insumos alimentarios

Ítems	Estado	Calidad	Procedencia	Marca
Ácido ascórbico	Sólido	Alimenticio	Boliviana	Solquifar
Meta bisulfito de potasio	Sólido	Alimenticio	Boliviana	Solquifar
Ácido cítrico	Sólido	Alimenticio	Boliviana	Solquifar

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.4, se muestran algunos datos del metabisulfito de potasio utilizado para la elaboración del producto final.

Tabla 3.4

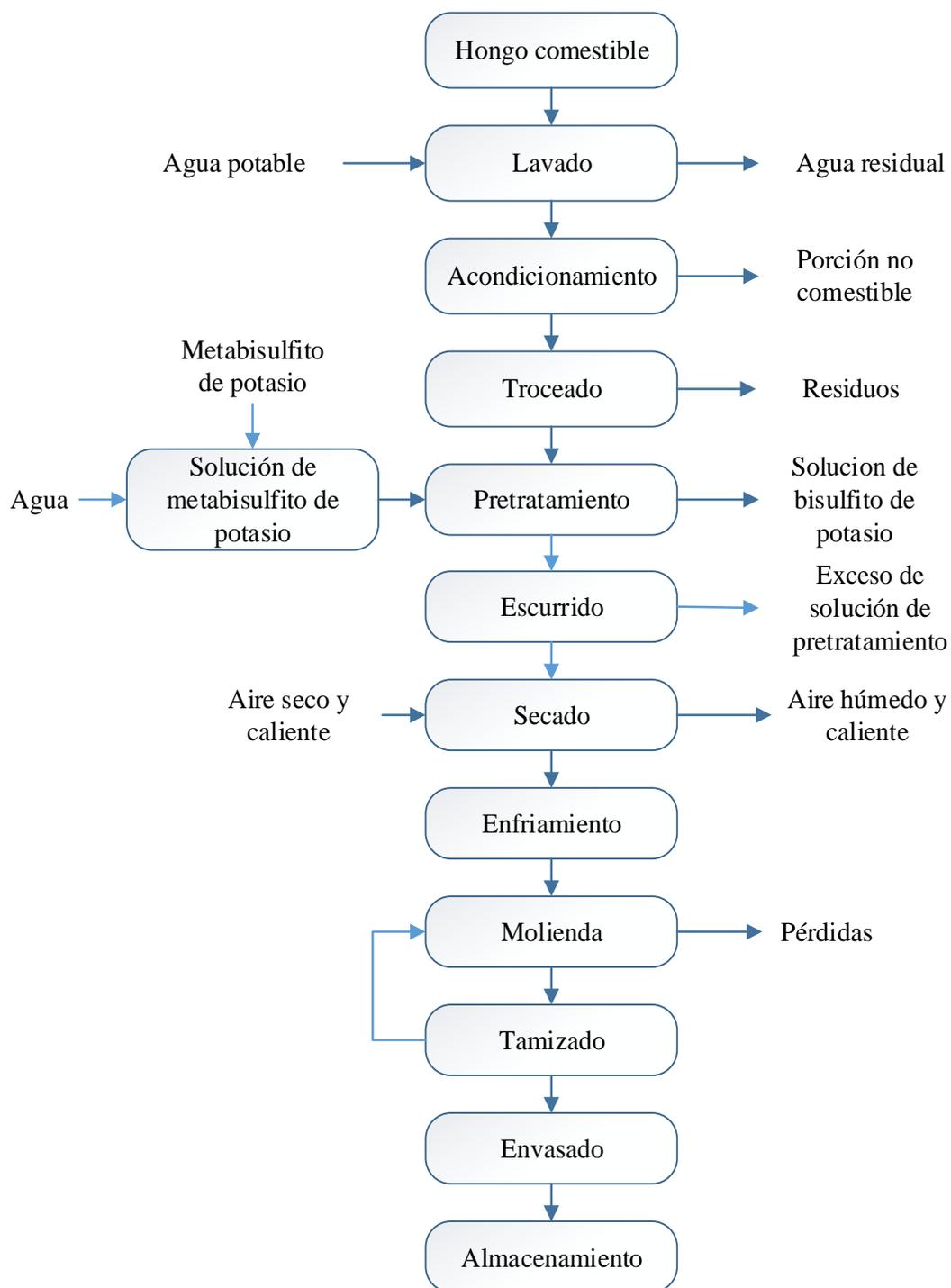
Datos del metabisulfito de potasio

Datos	Descripción
Cantidad	¼ kg
Código	01023411
Marca	Solquifar
Lote	20-0234-001

Fuente: Elaboración propia

3.4 Proceso para la obtención del hongo comestible seco en polvo

En la figura 3.11, se muestra el diagrama de flujo para obtener hongo comestible seco en polvo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Diagrama para obtener hongo comestible seco en polvo

3.4.1 Descripción del proceso para obtener hongo comestible seco en polvo

Las operaciones involucradas para obtener hongo comestible seco en polvo, se describen a continuación:

3.4.1.1 Hongo comestible

El hongo comestible utilizado durante la parte experimental fue del género *Pleurotus* *Ostreatus*.

3.4.1.2 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 inmersiones en agua potable con el fin de eliminar tierras y otras partículas extrañas que están contenidas en el pie del hongo comestible.

3.4.1.3 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.

3.4.1.4 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.

3.4.1.5 Pretratamiento

El pretratamiento se realizó con la finalidad de evitar el pardeamiento de 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%; 0,5%; 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.

3.4.1.6 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.

3.4.1.7 Secado

En el proceso de secado de las muestras de la porción comestible del hongo, en primer lugar, se realizó es 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 (45-55)°C. Subsiguientemente, se procede a ajustar en el generador de aire las condiciones de velocidad del aire en el conducto de entrada del secador (3-6) 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 (14x14) 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.

3.4.1.8 Enfriamiento

Terminado de secar las muestras del hongo comestible, se procedió a enfriar las muestras en las mismas bandejas a temperatura ambiente (20-25) °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.

3.4.1.9 Molienda

Una vez terminado el proceso de enfriado, se procedió 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 0,25mm.

3.4.1.10 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.

3.4.1.11 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 contaminación ambiental (polvo, insectos) y proteger de la humedad al producto terminado.

3.4.1.12 Almacenamiento

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

3.5 Metodología para la obtención de resultados

La metodología utilizada para la obtención de resultados experimentales del presente trabajo de investigación, se detalla a continuación:

3.5.1 Propiedades físicas del hongo comestible

En el presente trabajo de investigación se tomó en cuenta de las propiedades físicas del hongo comestible “*Pleurotus Ostreatus*”, que se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5

Caracterización física del hongo comestible

Características	Unidad
Peso	(g)
Diámetro sombrero	(mm)
Diámetro del pie	(mm)
Altura	(cm)
Porción comestible	(%)
Porción no comestible	(%)

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Análisis fisicoquímicos del hongo comestible

Las determinaciones fisicoquímicas de la materia prima (hongo comestible) y del producto terminado, se determinaron en el CEANID (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. En la tabla 3.6, se muestran los parámetros y técnica utilizadas para determinar la composición fisicoquímica.

Tabla 3.6

Análisis fisicoquímicos de hongo comestible

Parámetros	Unidad	Técnica de ensayo
Humedad	(%)	NB 313010:05
Cenizas	(%)	NB 39034:10
Grasa	(%)	NB 313010:06
Hidratos de carbono	(%)	Cálculo
Fibra	(%)	Gravimétrico
Proteína	(%)	NB/ISO 8968-1:08
Valor energético	Kcal/100g	Cálculo
Fósforo	mg/100g	SM 4500-P-D

Fuente: CEANID, 2020

3.5.3 Análisis microbiológicos del hongo comestible

En la tabla 3.7, se muestran los análisis microbiológicos para el hongo comestible y los cuales fueron realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.7

Análisis microbiológicos del hongo comestible

Microorganismos	Unidad	Técnica	Método
Coliformes totales	(UFC/g)	Recuento en placa	NB 32005:2002
Escherichia coli	(UFC/g)	Confirmación bioquímica	NB 32005:2002
Mohos y levaduras	(UFC/g)	Recuento en placa	NB 32006:2003

Fuente: CEANID, 2020

3.5.4 Análisis fisicoquímicos del hongo comestible seco en polvo

En la tabla 3.8, se muestran los análisis fisicoquímicos que fueron realizados al hongo comestible seco en polvo. Los análisis mencionados se realizaron a cabo en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.8*Análisis fisicoquímicos del hongo comestible seco en polvo*

Parámetros	Unidad	Técnica de ensayo
Humedad	(%)	NB 313010:05
Cenizas	(%)	NB 39034:10
Grasa	(%)	NB 313010:06
Hidratos de carbono	(%)	Cálculo
Fibra	(%)	Gravimétrico
Proteína	(%)	NB/ISO 8968-1:08
Valor energético	Kcal/100g	Cálculo

Fuente: CEANID, 2021

3.5.5 Análisis microbiológicos del hongo comestible seco en polvo

En la tabla 3.9, se muestran los análisis microbiológicos que fueron realizados para el hongo comestible seco en polvo. Los análisis mencionados se llevarán a cabo en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), perteneciente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 3.9*Análisis microbiológicos del hongo comestible seco en polvo*

Microorganismos	Unidad	Técnica	Método
Coliformes totales	(UFC/g)	Recuento en placa	NB 32005:2002
Escherichia coli	(UFC/g)	Confirmación bioquímica	NB 32005:2002
Mohos y levaduras	(UFC/g)	Recuento en placa	NB 32006:2003

Fuente: CEANID, 2020

3.6 Operacionalización de las variables en el proceso de obtención del hongo comestible seco en polvo

La operacionalización de las variables es un proceso mediante el cual se transforma una variable teórica compleja en variables empíricas, directamente observables, con la finalidad de que puedan ser medidas a través de la aplicación de un instrumento (Espinoza, 2018).

En la tabla 3.10, se muestra la operacionalización de las variables en la obtención de hongo comestible seco en polvo.

Tabla 3.10

Operacionalización de las variables en la obtención hongo comestible seco en polvo

Hipótesis	Variables		Conceptualización	Dimensiones	Indicadores
La metodología experimental de secado por aire caliente a ser aplicada para obtener hongo comestible seco en polvo permitirá elaborar un producto de calidad nutricional para la provincia Cercado del departamento de Tarija.	Variable independiente	Proceso de secado mediante aire caliente	"Proceso por lo cual un producto se somete a la acción de aire caliente, en el cual se elimina parcial o totalmente su contenido de agua de producto que la contiene" (Fito et al., 2016).	Tiempo de secado	(3-6) h
				Contenido de humedad	(%)
				Temperatura de secado	(45-55)°C
				Tipo de corte	(0,5-1,0) cm
				Velocidad del aire	(3-6) m/s
	Variable dependiente	Hongo comestible seco en polvo	"Se entiende polvo de hongos, los hongos comestibles de una sola especie, desecados y molidos tan finamente que su polvo puede pasar por un tamiz de malla de 200 micras" (Codex Alimentarius, 1981).	Proteína	(%)
				Hidratos de carbono	(%)
				Fibra	(%)
				Grasa	(%)
				Humedad	(%)
				Cenizas	(%)
				Valor energético	(Kcal/100g)
				Mohos y levaduras	(UFC/g)
				Escherichia coli	(UFC/g)
				Coliformes totales	(UFC/g)
Análisis organoléptico	Color				
	Apariencia				

Fuente: Elaboración propia

3.7 Evaluación sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial se ha definido como la disciplina científica utilizada para revocar, medir, analizar e interpretar las respuestas a productos percibidos a través de los sentidos de la vista, el olfato, el tacto, el gusto y el oído (Severiano, 2019).

Actualmente, el análisis sensorial es una ciencia establecida y puesta en práctica por la industria de alimentos por constituir una herramienta adicional del control de calidad total desde la consecución de las materias primas hasta el consumo por la población, dependiendo el desarrollo de ensayos de la finalidad que se pretenda conseguir (Zuluaga, 2017).

En otras palabras, es la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo (Hernandez, 2005).

En la tabla 3.11, se detalla la evaluación sensorial que fue realizada, durante el presente trabajo de investigación, con la finalidad de evaluar los atributos sensoriales a las muestras secadas del hongo comestible.

Tabla 3.11

Evaluación sensorial realizada a las muestras secas del hongo comestible

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

Fuente: Elaboración propia

3.8 Diseño experimental

Un diseño de experimentos consiste en planear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de generar datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionan evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas por el experimentador sobre determinada situación (Gutierrez & Vara, 2012).

Un experimento puede definirse como una prueba o series de pruebas en las que se hacen cambios deliberados en las variables de entrada del proceso de un proceso o sistema para observar e identificar, los cambios que pudieran observarse en la variable respuesta de salida (Montgomery, 2004).

3.8.1 Diseño factorial

Los diseños factoriales se aplica ampliamente en experimentos que incluyen varios factores cuando es necesario estudiar el efecto conjunto de los factores en una respuesta. El más útil de estos casos especiales es el de k factores cada uno solo con dos niveles, de los cuales pueden ser cuantitativos (Montgomery, 2004).

El diseño factorial a ser aplicado en la parte experimental del presente trabajo de investigación se muestra en la ecuación 3.1

$$2^k \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

Dónde:

2 = Número de niveles

k = Número de variables (factores)

Según (Ferre, 2004) en un diseño factorial 2^k es fácil expresar los resultados del experimento en términos de un modelo de regresión. En la ecuación 3.2 se describe el modelo de regresión a ser aplicado.

$$y = \beta_0 + \beta_A x_A + \beta_B x_B + \beta_C x_C + \beta_{AxB} x_A x_B + \beta_{AxC} x_A x_C + \beta_{BxC} x_B x_C + \beta_{AxBxC} x_A x_B x_C \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Donde x_A , x_B , x_C son los valores codificados que han tomado los factores en los experimentos y β son los coeficientes de regresión.

3.8.2 Diseño factorial en la etapa de secado del hongo comestible

El diseño experimental que se tomó en cuenta para el siguiente trabajo de investigación en el proceso de secado, se aplicó de acuerdo a la ecuación 3.1 cuya ecuación corresponde a la ecuación 3.3.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos/ prueba} \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

Donde las variables propuestas para el trabajo de investigación son: temperatura, tipo de corte y velocidad del aire a la entrada del secador; los niveles de variación de los factores se muestran en la tabla 3.12.

Tabla 3.12

Niveles de variación de los factores en el proceso de secado

Factores		Nivel bajo	Nivel alto	Unidad
Temperatura de secado	(A)	45,0	55	°C
Tipo de corte	(B)	0,5	1	cm
Velocidad del aire	(C)	3,0	6	m/s

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.13, se muestra la matriz del diseño factorial que fue aplicado en el proceso de secado del hongo comestible, constituido por tres variables temperatura (A), tipo de corte (B) y velocidad del aire (C).

Tabla 3.13

Diseño factorial de la matriz de las variables para el proceso de secado

Corridas	Combinación tratamientos	Variables			Interacciones				Y _i
		A	B	C	AB	AC	BC	ABC	
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-	Y ₁
2	a	+	-	-	-	-	+	+	Y ₂
3	b	-	+	-	-	+	-	+	Y ₃
4	ab	+	+	-	+	-	-	-	Y ₄
5	c	-	-	+	+	-	-	+	Y ₅
6	ac	+	-	+	-	+	-	-	Y ₆
7	bc	-	+	+	-	-	+	-	Y ₇
8	abc	+	+	+	+	+	+	+	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Y_i= Contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y

DISCUSIONES

4.1 Caracterización del hongo comestible

Para caracterizar la materia prima (hongo comestible) se tomaron en cuenta las siguientes propiedades físicas, fisicoquímicos y microbiológicos.

4.1.1 Propiedades físicas del hongo comestible

Para la determinación de las propiedades físicas (tabla 4.1), se realizaron en 15 muestras del hongo comestible, las cuales fueron tomadas al azar y aleatoriamente para determinar los valores del peso promedio, porción comestible (PC), porción no comestible (PNC), altura, diámetro del sombrero y el pie del hongo comestible.

Tabla 4.1

Propiedades físicas del hongo comestible

Muestras	Unidades de muestras	Altura promedio (cm)	Diámetro Sombrero promedio (cm)	Diámetro pie promedio (cm)	Peso total (g)	PC (g)	PNC (g)	PC (%)	PNC (%)
1	27	9,01	4,88	0,87	145,33	142,83	2,50	98,28	1,72
2	23	8,95	4,72	0,81	152,37	146,61	5,76	96,22	3,78
3	14	7,56	5,33	1,23	107,05	103,12	3,93	96,33	3,67
4	24	8,01	5,41	1,09	178,39	169,96	8,43	95,27	4,73
5	11	7,47	6,94	1,76	149,69	135,14	14,55	90,28	9,72
6	22	6,54	3,74	0,93	116,38	111,31	5,07	95,64	4,36
7	15	8,02	5,01	1,00	92,60	85,50	7,10	92,33	7,67
8	19	8,92	5,80	1,05	112,99	100,10	12,89	88,59	11,41
9	16	5,57	6,64	0,57	73,98	60,06	13,92	81,18	18,82
10	10	6,08	5,50	1,19	90,95	87,92	3,03	96,67	3,33
11	10	6,40	3,90	0,74	68,50	60,10	8,40	87,74	12,26
12	13	6,85	4,48	1,12	128,92	120,80	8,12	93,70	6,30
13	14	6,97	4,88	1,13	174,80	166,10	8,70	95,02	4,98
14	10	6,21	5,26	0,92	60,33	54,75	5,58	90,75	9,25
15	19	5,88	4,00	0,76	74,10	61,06	13,04	82,40	17,60
Promedio	16	7,23 ±0,05	5,09±0,05	1,01±0,05	115,09±0,01	107,02±0,01	8,07±0,01	92,03	7,97

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1 se muestran los resultados promedios de las propiedades físicas del hongo comestible donde: altura 7,23±0,05 cm.; diámetro sombrero 5,09±0,05 cm.; diámetro pie 1,01±0,05 cm.; peso total 115,09±0,01 g.; PC 92,03% y PNC 7,97%.

4.1.2 Análisis fisicoquímico del hongo comestible

Los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del hongo comestible se muestran en la tabla 4.2 de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A).

Tabla 4.2

Análisis fisicoquímico del hongo comestible

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

Fuente: CEANID, 2021 * AL 105/21 M-2

Como se puede observar en la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos del hongo comestible, donde: 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.

4.1.3 Análisis de minerales del hongo comestible

En la tabla 4.3, se puede observar los resultados obtenidos del análisis de minerales del hongo comestible de datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A).

Tabla 4.3

Análisis de minerales del hongo comestible

Mineral	Unidad	Cantidad
Fósforo	mg/100g	82,3

Fuente: CEANID, 2021

Como se puede observar, en la tabla 4.3 se expresan los resultados obtenidos del análisis de minerales del hongo comestible, donde el contenido de fósforo es 82,4 mg/100g de muestra.

4.1.4 Análisis microbiológico del hongo comestible

En la tabla 4.4, se puede observar los resultados obtenidos del análisis microbiológico del hongo comestible de datos extraídos de tabla A.1 (Anexo A)

Tabla 4.4

Análisis microbiológico del hongo comestible

Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	$1,0 \times 10^1$
Escherichia coli	UFC/g	$1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$1,9 \times 10^5$

Fuente: CEANID, 2021

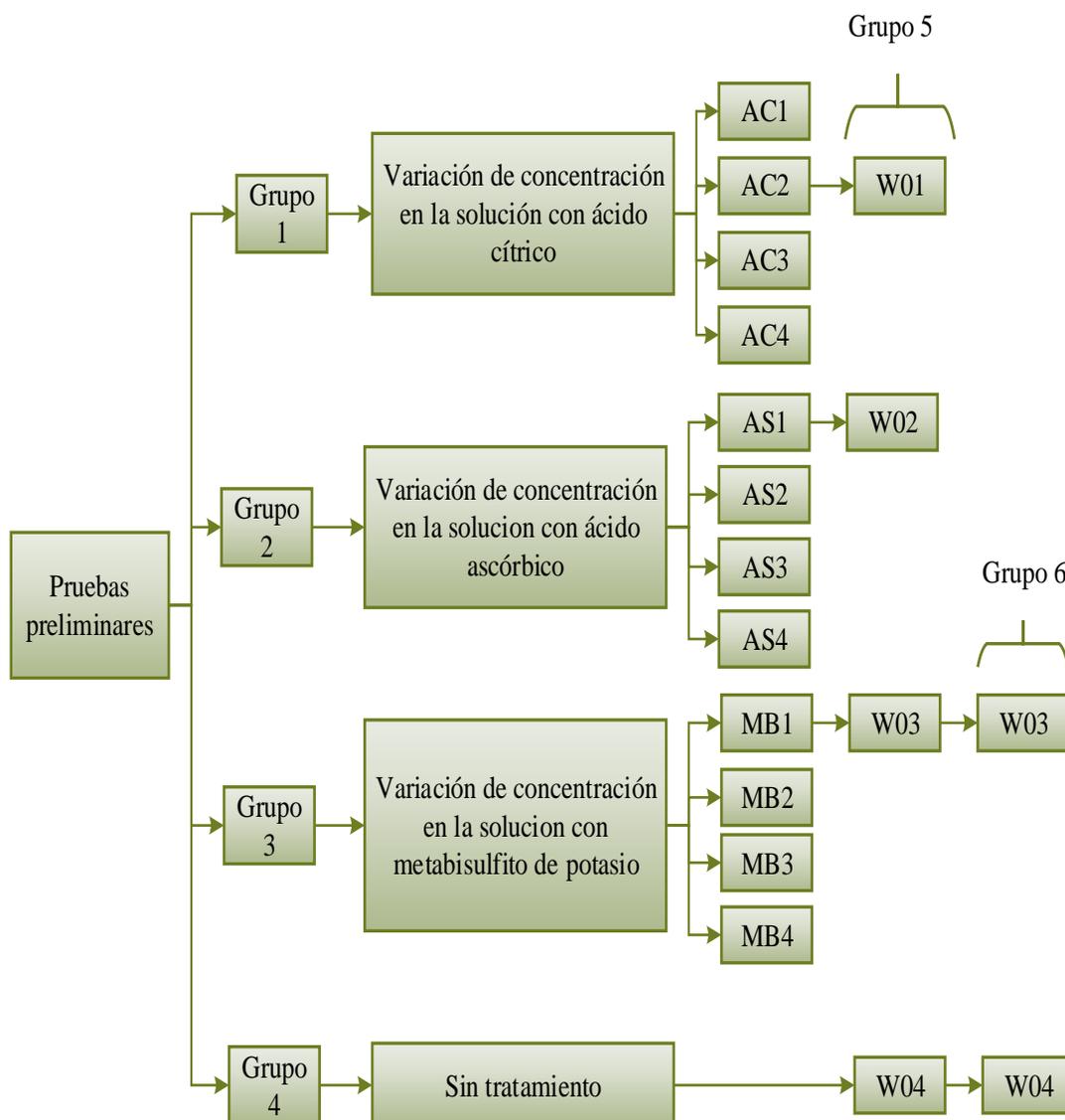
En la tabla 4.4, se observan los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos del hongo comestible, donde: Coliformes totales $1,0 \times 10^1$ UFC/g, en el cual no se observan desarrollo de colonias; Escherichia coli $1,0 \times 10^1$ UFC/g, en el cual no se observan desarrollo de colonias; mohos y levaduras $1,9 \times 10^5$ UFC/g.

4.2 Caracterización de las variables del proceso para la obtención de hongo comestible seco en polvo

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

4.2.1 Pruebas preliminares para determinar el pretratamiento de muestras de hongo comestible

En la figura 4.1, 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.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Pruebas preliminares para la determinación del pretratamiento

4.2.1.1 Pruebas preliminares para pretratamiento con solución de ácido cítrico

En la tabla 4.5, se detallan las cuatro soluciones preparadas de diferente concentración (0,1 a 1,0) % con ácido cítrico a temperatura ambiente de 25°C; Posteriormente, las muestras del hongo comestible se sometieron a un proceso de corte de un 1 cm y se introdujeron en la solución de pretratamiento mediante inmersión por un tiempo de tres minutos.

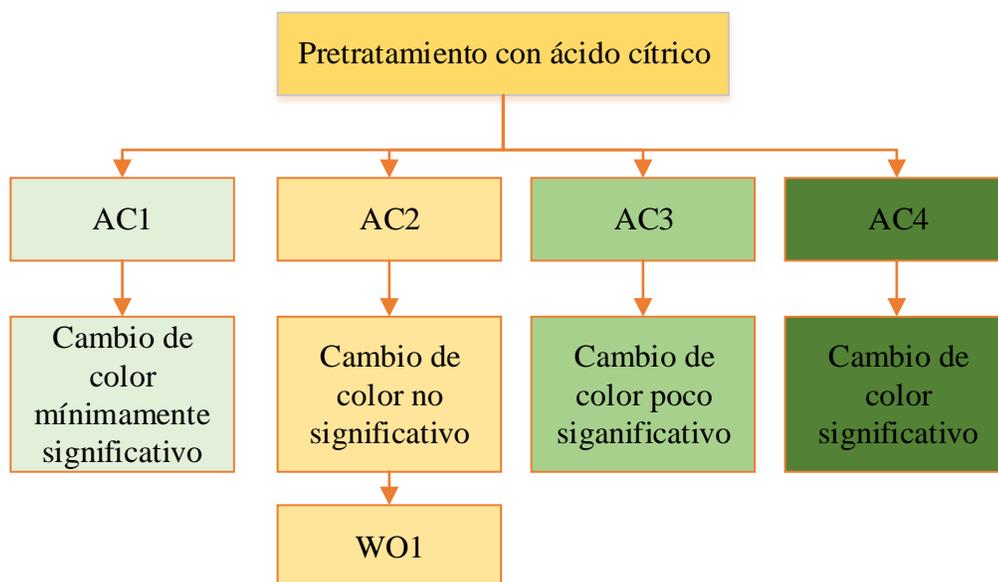
Tabla 4.5

Porcentaje de soluciones con ácido cítrico

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

Fuente: Elaboración propia

Por motivo de pandemia de Covid-19, los cuatro pretratamientos de las muestras con soluciones de ácido cítrico fueron valoradas de manera subjetiva según el atributo color por el personal de Taller de Alimentos y la valoración se detalla en la figura 4.2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Valoración subjetiva del atributo color con ácido cítrico

En base a la figura 4.2, se procedió a seleccionar una muestra (AC2) según el atributo color que presentó mayor aceptación por partes de las personas que valoraron de manera objetiva. Por tanto, se observó que el pretratamiento realizado cuando la concentración de la solución es mayor el cambio de color es significativo; en comparación cuando la concentración de la solución es menor en el cual no existe significancia en el cambio color; Por lo tanto, la muestra seleccionada (AC2) se recodificó con W03 con el fin de poder realizar una posterior evaluación sensorial.

4.2.1.2 Pruebas preliminares con ácido ascórbico para determinar el pretratamiento

En la tabla 4.6, se puede observar los porcentajes de las soluciones con ácido ascórbico en diferentes concentraciones (0,1 a 1) % a temperatura ambiente de 25°C; así mismo las muestras del hongo comestible se sometieron a proceso de cortado de un 1 cm, posteriormente fueron introducidas en las soluciones de pretratamientos con un tiempo de inmersión de tres minutos.

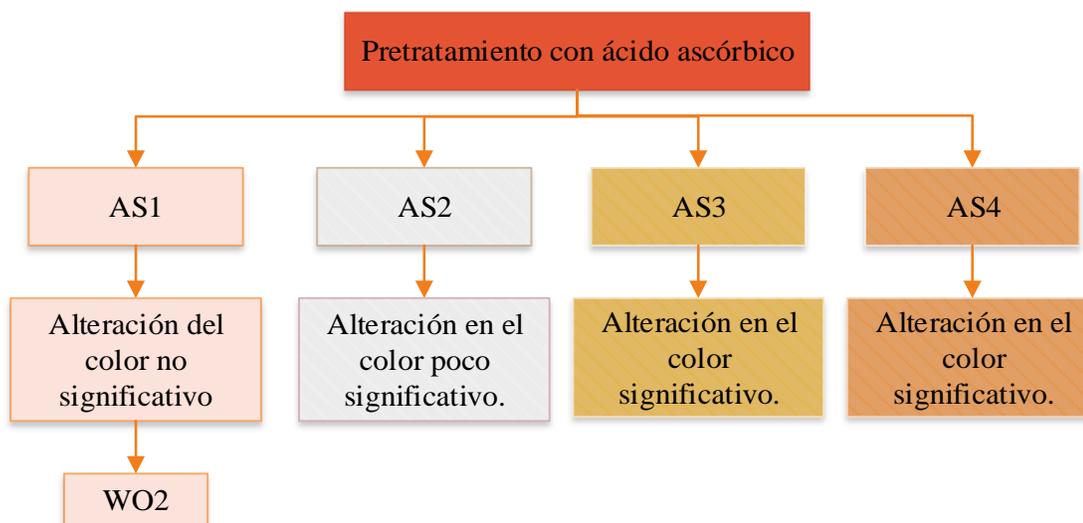
Tabla 4.6

Porcentaje de soluciones con ácido ascórbico

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

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.3 se observa la valoración de los cuatro pretratamientos de las muestras con soluciones de ácido ascórbico, así mismo por motivo de pandemia de Covid-19 las muestras fueron evaluadas de manera subjetiva según el atributo color por el personal de Taller de Alimentos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Valoración subjetiva del atributo color con ácido ascórbico

En la figura 4.3, se procedió a seleccionar una muestra (AS1) según el atributo color que presento mayor aceptación por parte de las personas que evaluaron de manera objetiva. Por lo tanto, la alteración del color de las muestras en los pretratamientos fue significativa cuando la concentración de la solución es mayor; en comparación cuando concentración de la solución es menor donde el cambio de color no es significativo. Así mismo, la muestra seleccionada (AS1) fue recodificada como W02 con el fin de realizar una posterior evaluación sensorial.

4.2.1.3 Pruebas preliminares con metabisulfito de potasio para determinar el pretratamiento

En la tabla 4.7, se detallan los porcentajes de las soluciones en diferentes concentraciones (0,1 a 1,0)% utilizadas durante las pruebas preliminares con metabisulfito de potasio; por consiguiente, las muestras del hongo comestible fueron sometidas a una etapa de troceado en un tipo de corte de 1 cm, las cuales se sometieron a un proceso de inmersión en las cuatro soluciones de pretratamiento con un tiempo de inmersión en la solución de tres minutos.

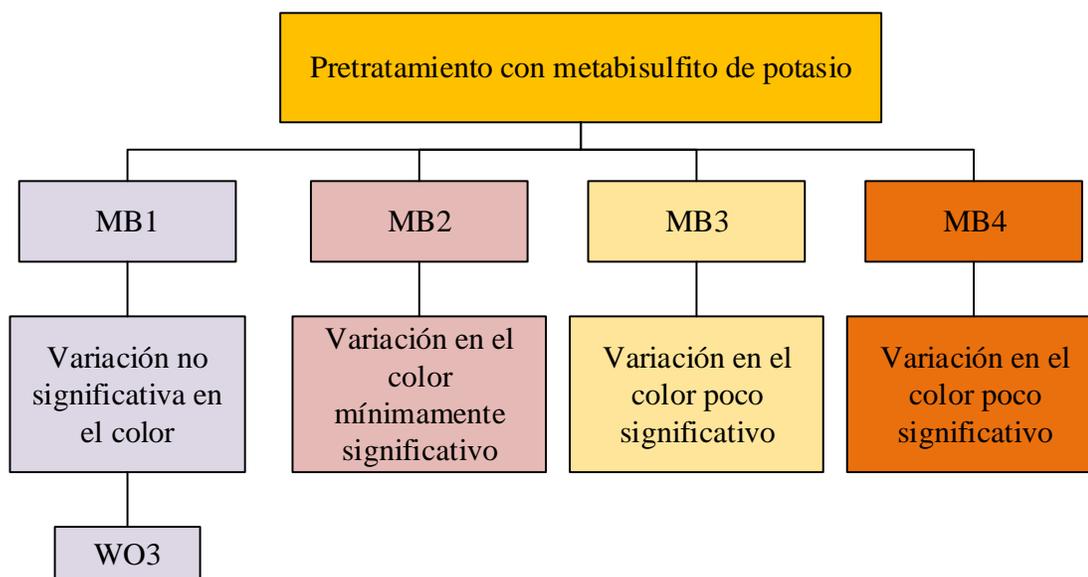
Tabla 4.7

Porcentaje de soluciones con metabisulfito de potasio

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

Fuente: Elaboración propia

Por motivo de pandemia de Covid-19, las muestras con soluciones de metabisulfito de potasio se evaluaron según el atributo color de manera subjetiva por el personal de Taller de Alimentos, la valoración se muestra en la figura 4.4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4 Valoración subjetiva del atributo color con metabisulfito de potasio

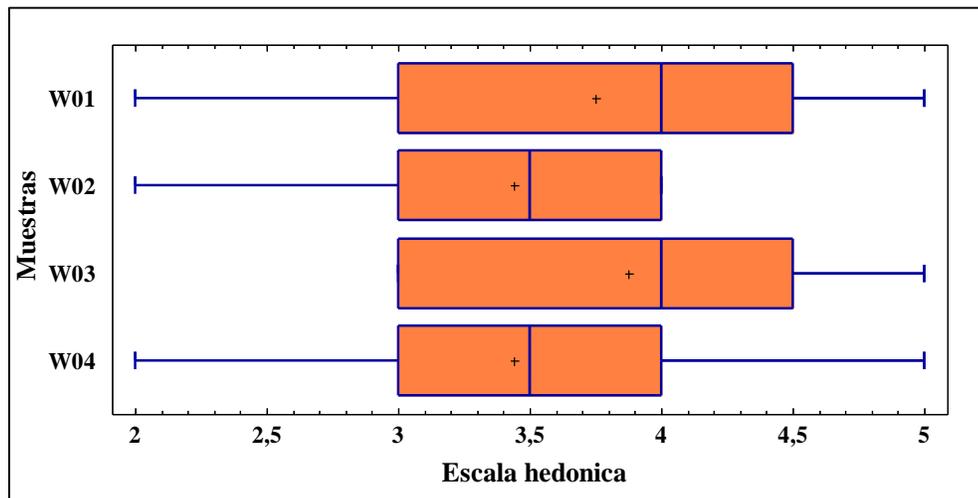
En la figura 4.4 se procedió a seleccionar una muestra (MB1) según el atributo color que presento mayor aceptación por parte de las personas que evaluaron de manera objetiva. Se observó que cuando la concentración de la solución es mayor el cambio de color es poco significativo; en comparación cuando la concentración de la solución es menor donde la variación del color no es significativa; así mismo, la muestra seleccionada MB1 fue recodificada como WO3 con la finalidad de realizar una posterior evaluación sensorial.

4.2.1.4 Selección final de muestra preliminar

En base a las muestras seleccionadas de manera objetiva por el personal del 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, W02 y W03) y muestra sin ningún tipo de pretratamiento (natural) codificada como W04 fueron evaluadas en base a los atributos color y apariencia.

4.2.1.5 Evaluación sensorial del atributo color para elegir el tipo de pretratamiento final de muestra preliminar

En la figura 4.5 se muestran los resultados de caja y bigotes para el atributo color de datos extraídos de la tabla C.2.1 (Anexo C).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Caja y bigote de la evaluación sensorial del atributo color para elegir el pretratamiento

En la figura 4.5, 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 W01 con una mediana de 3,75 la cual tiene situada en el segundo cuartil. Sin embargo, las muestras W02 y W04 tienen menor aceptación por los jueces con una mediana de 3,44 donde el rango de dispersión de los datos es más pequeño.

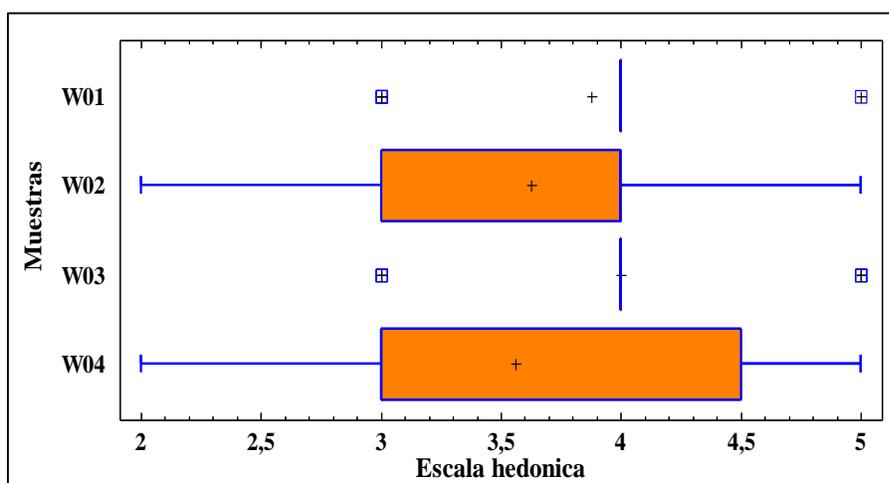
4.2.1.6 Análisis de varianza del atributo color para elegir el pretratamiento de las muestras del hongo comestible

En la tabla C.2.4 (Anexo C), se muestran los resultados del análisis de varianza donde se observa que $F_{calc} < F_{tab}$ ($1,145 < 2,812$) para los tratamientos, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada debido a que el $P\text{-valor} > \alpha$ ($0,341 > 0,05$), entonces se concluye que no existe evidencia estadísticamente significativa para un α igual 0,05 y por lo

tanto cualquier muestra se muestra se puede tomar en cuenta. Sin embargo, se decidió tomar la preferencia de los jueces a la muestra WO3 (Grupo 6).

4.2.1.7 Evaluación sensorial del atributo apariencia para elegir el tipo de pretratamiento final de muestra preliminar

En la figura 4.6 se muestran los resultados de caja y bigotes para el atributo apariencia; Datos extraídos de la tabla C.2.6 (Anexo C.2).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Caja y bigote de la evaluación sensorial del atributo apariencia

En la figura 4.6, 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).

4.2.1.8 Análisis de varianza del atributo apariencia para elegir el tratamiento de las muestras del hongo comestible

En la tabla C.2.9 (Anexo C), se muestran los resultados del análisis de varianza donde se observa que $F_{calc} < F_{tab}$ ($1,195 < 2,812$) para los tratamientos, por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada debido a que el $P\text{-valor} > \alpha$ ($0,322 > 0,05$), entonces se concluye que no existe evidencia estadísticamente significativa para un α igual 0,05 y por tanto, cualquier muestra se muestra se puede tomar en cuenta. Sin embargo, se decidió tomar a preferencia de los jueces a la muestra WO3(Grupo 6).

Realizada la evaluación sensorial se procedió a elegir el pretratamiento aplicado a las muestras del hongo comestible; se demuestra estadísticamente que la muestra WO3 (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.

4.3 Diseño experimental en el proceso de secado para las muestras del hongo comestible

El diseño experimental, se realizó en función a los niveles de variación durante el proceso de secado según indica la tabla 3.12 para el diseño factorial 2^3 , donde las variables tomadas en cuenta son: Temperatura (45-55 °C), Tipo de corte (0,5-1 cm) y Velocidad del aire (3-6 m/s); la variable respuesta fue el contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco).

4.3.1 Diseño factorial 2^3 para muestras del hongo comestible con pretratamiento

En la tabla 4.8 se observan las variables controladas durante la etapa de secado de las muestras del hongo comestible y donde los resultados de la variable respuesta se muestran en contenido de humedad en base seca en función del tiempo.

Tabla 4.8*Contenido de humedad en base seca del proceso de secado del hongo comestible*

Combinación tratamientos	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Temperatura	Tipo de corte	Velocidad del aire			
	A	B	C			
(1)	45	0,5	3	0,011	0,018	0,029
a	55	0,5	3	0,003	0,027	0,030
b	45	1,0	3	0,248	0,043	0,291
ab	55	1,0	3	0,012	0,002	0,014
c	45	0,5	6	0,092	0,001	0,093
ac	55	0,5	6	0,111	0,080	0,191
bc	45	1,0	6	0,002	0,212	0,214
abc	55	1,0	6	0,114	0,170	0,284

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1 Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado del hongo comestible con pretratamiento

En la tabla 4.9 se muestran los resultados del análisis de varianza del diseño dos al cubo para la etapa de secado de las muestras del hongo comestible con pretratamiento, donde la variable respuesta es contenido de humedad en base seca de datos extraídos de la tabla D.1.4 (Anexo D).

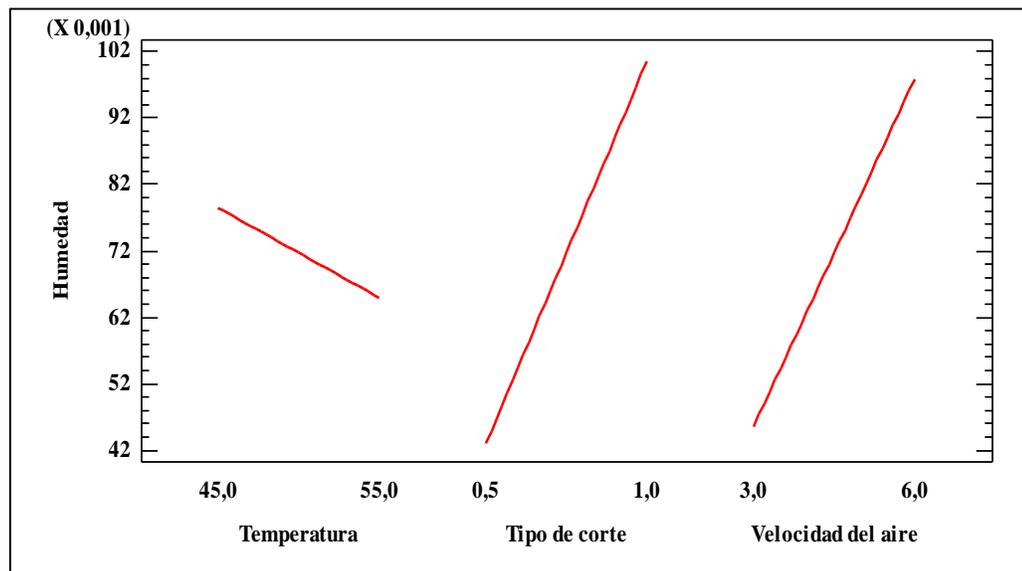
Tabla 4.9*Análisis de varianza en la etapa de secado de las muestras del hongo comestible con pretratamiento*

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			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.9 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 4.7, se puede observar los efectos principales de los siguientes factores: temperatura (A), tipo de corte (B), velocidad del aire (C) con relación al contenido de humedad en base seca de las muestras del hongo comestible con pretratamiento.

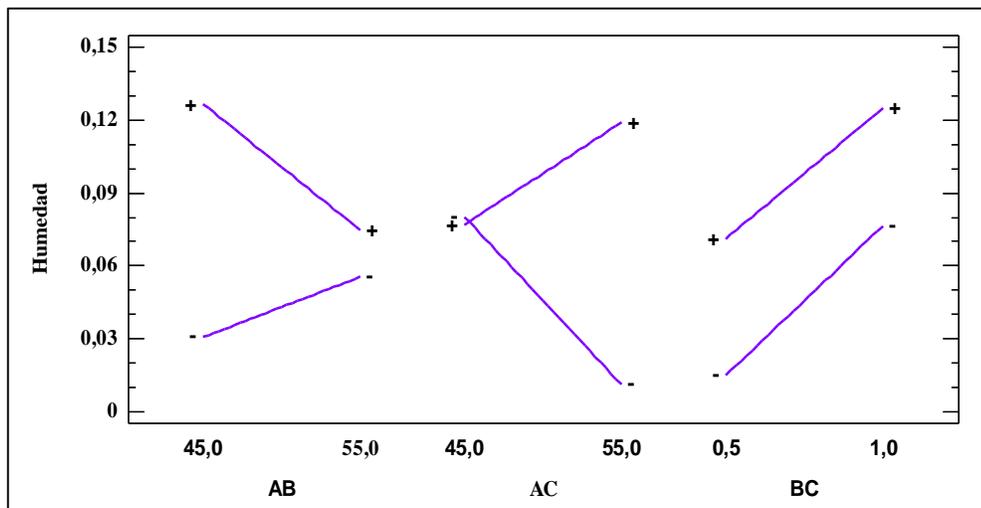


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7 Efectos principales con relación al contenido de humedad

En la figura 4.7 se observa que los factores: tipo de corte (0,5 a 1,0) cm, velocidad del aire (3 a 6) m/s inciden significativamente en el contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en su nivel alto y bajo, en cuanto a la temperatura (45 a 55) °C el efecto del factor no incide significativamente cuando se encuentra en su nivel alto y bajo debido a que la variación del contenido de humedad en base seca es mínima.

En la figura 4.8, se muestran las interacciones de los factores temperatura-tipo de corte (AB), temperatura-velocidad de aire (AC), tipo de corte-velocidad del aire para el contenido de humedad en base seca de las muestras del hongo comestible con pretratamiento.



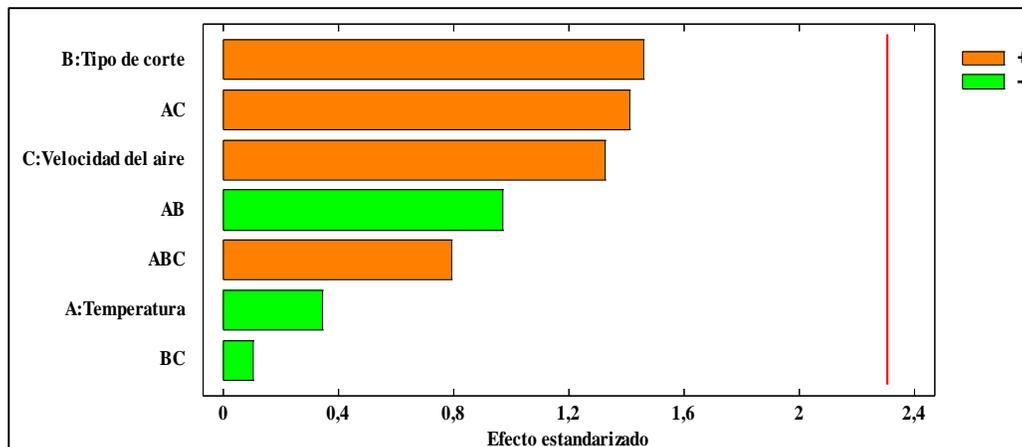
Fuente: Elaboracion propia

Figura 4.8 Interacciones de los factores con relacion al contenido de humedad

En la figura 4.8, se puede observar que la interaccion AC es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre si, para una temperatura de 45°C la velocidad del aire (C) no afecta significativamente debido a que el contenido de humedad no cambia cuando se encuentra en su nivel alto (3) m/s y bajo (6)m/s ; pero sin embargo, cuando la temperatura se incrementa a 55°C el contenido de humedad se ve afectado sigificantlyamente cuando la velocidad del aire se encuentra en su nivel alto y bajo. Asi mismo en la interaccion AB se observa que a una temperatura de 45°C el contenido de humedad se ve afectado cuando el tipo de corte se encuentra en su nivel alto (1,0) cm y bajo (0,5) cm; pero sin embargo a una temperatura 55°C el cambio de contenido de humedad es minimo cuando tipo de corte se encuentra en su nivel alto y bajo. Por otro lado en la interaccion BC, se observa que el tipo de corte (1,0 o 0,5) cm no es muy significativo debido que el contenido de humedad no se ve afectado cuando la velocidad del aire se encuentra en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.9, se muestra el diagrama de pareto estandarizado de los factores tomados en cuenta para el diseño experimental los cuales estan ordenados de mayor a menor y de datos extraidos de tabla D.1.4 (Anexo D). 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%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9 Diagrama de Pareto estandarizado del diseño factorial con pretratamiento

En la figura 4.9, 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 $\alpha=0,05$.

4.3.1.2 Coeficientes de regresión para el contenido de humedad de las muestras del hongo comestible con pretratamiento

Según la ecuación 3.2 del modelo de regresión para un diseño 2^K ; en la ecuación 4.1 se observa el modelo de regresión que se ha ajustado a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de muestras de hongo comestible con pretratamiento, de datos extraídos de la tabla D.1.5 (Anexo D).

$$\text{Humedad} = -1,191 + 0,0216*A + 2,779*B + 0,148917*C - 0,0528*A*B - 0,00255*A*C - 0,422*B*C + 0,00833333*A*B*C \quad \text{Ecuación 4.1}$$

En donde los factores A (temperatura °C), B (tipo de corte cm) y C (velocidad del aire m/s) están especificados en sus unidades originales.

4.3.1.3 Optimización de respuesta del diseño factorial de las muestras del hongo comestible con pretratamiento

En la etapa de secado de las muestras del hongo comestible a nivel experimental se elaboraron ocho muestras con pretratamiento, donde las variables tomadas en cuenta se describen en la tabla 4.10.

Tabla 4.10

Muestras del hongo comestible con pretratamiento

Muestra	Temperatura (°C)	Tipo de corte (cm)	Velocidad del aire (m/s)
L01	45	0,5	3
L02	55	0,5	3
L03	45	1,0	3
L04	55	1,0	3
L05	45	0,5	6
L06	55	0,5	6
L07	45	1,0	6
L08	55	1,0	6

Fuente: Elaboración propia

La optimización de la variable respuesta se realizó de acuerdo al contenido de humedad en base seca de las ocho muestras del hongo comestible con pretratamiento donde los datos fueron introducidos en el software “Statgraphics Centurión XVI” con la finalidad de la optimizar las variables de la etapa de secado.

En la tabla 4.11, se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras del hongo comestible; datos extraídos de la tabla D.1.8 (Anexo D).

Tabla 4.11

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (A)	45,0	55	55
Tipo de corte (B)	0,5	1	1
Velocidad del aire (C)	3,0	6	3

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.11 se observa que los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en las muestras de los hongos comestibles son: temperatura del aire (55 °C), tipo de corte (1,0 cm) y la velocidad del aire (3,0 m/s), donde el valor óptimo del contenido de humedad en base seca es de 0,007 (g de agua/g sólido seco). Por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra LO4 con la finalidad de minimizar el contenido de humedad en base seca.

En la tabla 4.12, se observa los valores óptimos para maximizar el contenido de humedad en base seca de las muestras del hongo comestible; datos extraídos de la tabla D.1.9 (Anexo D).

Tabla 4.12

Valores óptimos para maximizar el contenido de humedad

Factores		Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	(A)	45,0	55	45
Tipo de corte	(B)	0,5	1	1
Velocidad del aire	(C)	3,0	6	3

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.12 se observa que los valores óptimos de los factores para maximizar el contenido de humedad en las muestras de los hongos comestibles son: temperatura del aire (45 °C), tipo de corte (1,0 cm) y la velocidad del aire (3,0 m/s), donde el valor óptimo del contenido de humedad en base seca es de 0,1415 (g de agua/g sólido seco). Por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra LO3 con la finalidad de maximizar el contenido de humedad base seca.

En conclusión, para elegir la muestra final en la obtención de hongo comestible seco en polvo se optó por elegir la muestra L04 debido a que la finalidad del proceso de secado es minimizar el contenido de humedad en base seca; por lo tanto, se considera como una muestra ganadora, la misma que fue elaborada con una temperatura (55°C) tipo de corte (1 cm), la velocidad del aire (3 m/s) y un contenido de humedad en la variable respuesta de 0,0275 (g de agua/g sólido seco).

4.3.2 Diseño factorial 2³ para muestras del hongo comestible sin pretratamiento

En la tabla 4.13, se observan las variables controladas durante la etapa de secado de las muestras del hongo comestible y donde los resultados de la variable respuesta se muestran en contenido de humedad en base seca en función del tiempo.

Tabla 4.13

Contenido de humedad en base seca del proceso de secado del hongo comestible sin pretratamiento

Combinación tratamientos	Variables			Réplica I	Réplica II	Total (Yi)
	Temperatura	Tipo de corte	Velocidad del aire			
	A	B	C			
(1)	45	0,5	3	0,263	0,003	0,266
a	55	0,5	3	0,030	0,376	0,406
b	45	1,0	3	0,134	0,002	0,136
ab	55	1,0	3	0,004	0,164	0,168
c	45	0,5	6	0,088	0,179	0,267
ac	55	0,5	6	0,136	0,124	0,260
bc	45	1,0	6	0,027	0,209	0,236
abc	55	1,0	6	0,002	0,053	0,055

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.1 Análisis de varianza del diseño experimental del proceso de secado del hongo comestible sin tratamiento

En la tabla 4.14 se muestran los resultados del análisis de varianza del diseño dos al cubo para el proceso de secado de las muestras del hongo comestible sin pretratamiento, donde la variable respuesta es contenido de humedad en base seca, datos extraídos de la tabla D.2.4 (Anexo D).

Tabla 4.14

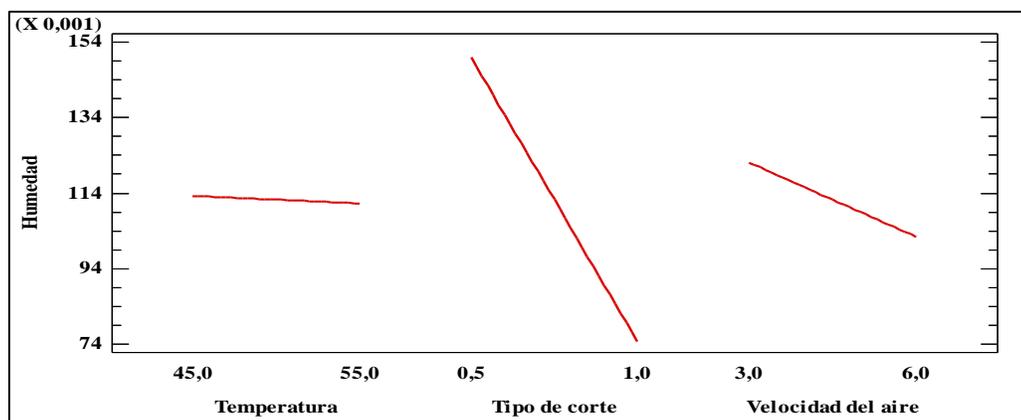
Análisis de varianza en la etapa de secado de las muestras del hongo comestible

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			

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14 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 $F_{cal} < F_{tab}$ para un límite de probabilidad del 95%.

En la figura 4.9 se puede observar los efectos principales de los siguientes factores: temperatura (A), tipo de corte (B), velocidad del aire (C) con relación al contenido de humedad en base seca de las muestras del hongo comestible sin tratamiento.

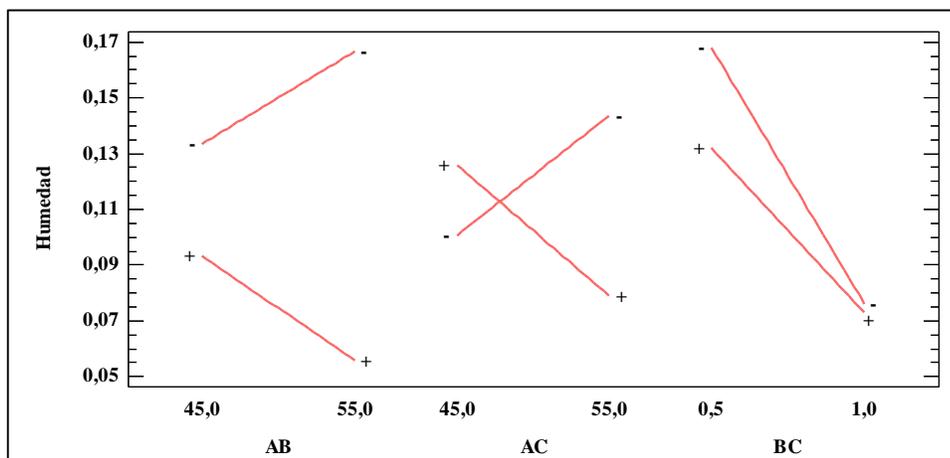


Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10 Efectos principales de los factores con relación al contenido de humedad

En la figura 4.10, se observa que los factores: tipo de corte (0,5 a 1,0) cm incide significativamente en el contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en su nivel alto y bajo, en cuanto a la temperatura (45 a 55) °C y la velocidad del flujo de aire (3 a 6) no incide significativamente el contenido de humedad en base seca cuando se encuentran en su niveles alto y bajo.

En la figura 4.11, se muestra las interacciones de los factores temperatura-tipo de corte (AB), temperatura-velocidad de aire (AC), tipo de corte-velocidad del aire (BC) para el contenido de humedad en base seca.



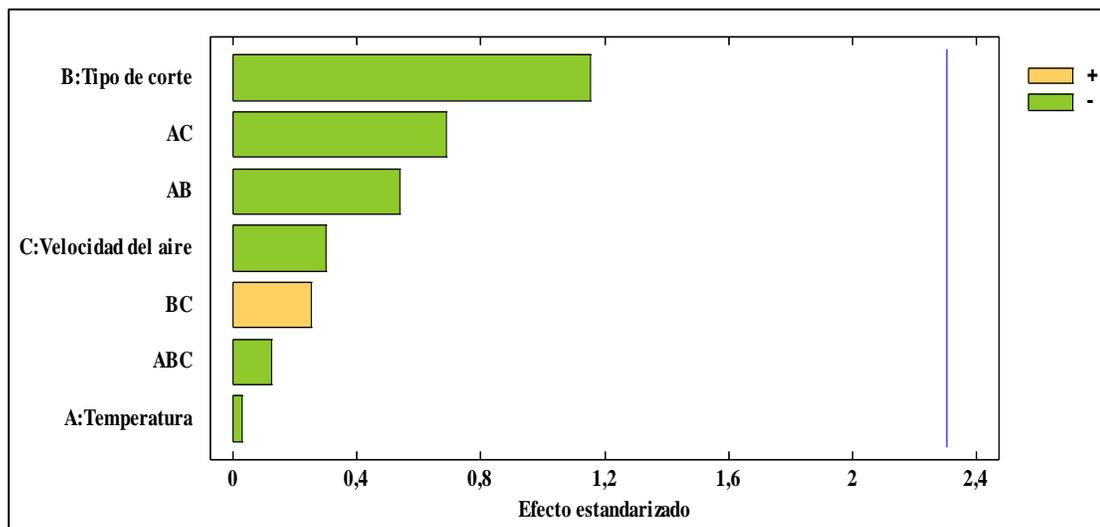
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11 Interacciones de los factores con relación al contenido de humedad

En la figura 4.11, se puede observar que la interacción AC es significativa debido a que los factores de las variables interaccionan entre sí, para una temperatura de 45°C la velocidad del aire (C) no afecta significativamente debido a que el cambio de contenido de humedad es mínimo; pero sin embargo, cuando la temperatura se incrementa a 55°C el contenido de humedad se ve afectado significativamente cuando la velocidad del aire se encuentra en su nivel alto (6) m/s y bajo (3)m/s. Así mismo en la interacción AB se observa que a una temperatura de 45°C el contenido de humedad se ve afectado cuando el tipo de corte se encuentra en su nivel alto (1,0) cm y bajo (0,5) cm; pero sin embargo a una temperatura 55°C se observa un cambio de contenido de humedad cuando tipo de corte se encuentra en su nivel alto y bajo. Por otro lado en la interacción BC se

observa que el tipo de corte (1,0) cm el contenido de humedad no se ve afectado, pero cuando el tipo de corte se realiza de 0,5 cm se observa cambio mínimo el contenido de humedad cuando la velocidad del aire se encuentra en su nivel alto y bajo.

En la figura 4.12, 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, datos extraídos de la tabla D.2.4 (Anexo D); en consecuencia, la significancia estadística lo determina la línea vertical referencia con un valor de 2,306 y por lo tanto las barras que sobrepasan la línea corresponden a los efectos que son estadísticamente significativos a un nivel de confianza del 95%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12 Diagrama de Pareto estandarizado

En la figura 4.12, 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 sobrepasa la línea vertical de referencia para un nivel de significancia $\alpha=0,05$.

4.3.2.2 Coeficientes de regresión para el contenido de humedad de las muestras del hongo comestible con pretratamiento

Según la ecuación 3.2 del modelo de regresión para un diseño 2^K , en la ecuación 4.1 se observa el modelo de regresión que se ha ajustado a los datos experimentales para el contenido de humedad en base seca de muestras de hongo comestible con pretratamiento, de datos extraídos de la tabla D.1.5 (Anexo D).

$$\text{Humedad} = -0,49325 + 0,01645*A - 0,04*B + 0,0444167*C - 0,0042*A*B - 0,00135*A*C + 0,132*B*C - 0,0022*A*B*C \quad \text{Ecuación 4.2}$$

En donde los factores: A (temperatura °C), B (tipo de corte cm) y C (velocidad del aire m/s) están especificados en sus unidades originales.

4.3.2.3 Optimización de respuesta para el proceso de secado de las muestras del hongo comestible sin tratamiento

En la etapa de secado de las muestras del hongo comestible a nivel experimental se elaboraron ocho muestras sin tratamiento, donde las variables tomadas en cuenta se describen en la tabla 4.15.

Tabla 4.15

Muestras del hongo comestible sin pretratamiento

Muestra	Temperatura (°C)	Tipo de corte (cm)	Velocidad del aire (m/s)
S01	45	0,5	3
S02	55	0,5	3
S03	45	1,0	3
S04	55	1,0	3
S05	45	0,5	6
S06	55	0,5	6
S07	45	1,0	6
S08	55	1,0	6

Fuente: Elaboración propia

La optimización de la variable respuesta se realizó de acuerdo al contenido de humedad en base seca de las ocho muestras del hongo comestible sin tratamiento, donde los datos

fueron introducidos en el software “Statgraphics Centurión XVI” con la finalidad de la optimizar las variables de la etapa de secado.

En la tabla 4.16 se observa los valores óptimos para minimizar el contenido de humedad en base seca de las muestras del hongo comestible sin tratamiento; datos extraídos de la tabla D (Anexo D).

Tabla 4.16

Valores óptimos para minimizar el contenido de humedad

Factores		Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	(A)	45,0	55	55
Tipo de corte	(B)	0,5	1	1
Velocidad del aire	(C)	3,0	6	6

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.16 se observa que los valores óptimos de los factores para minimizar el contenido de humedad en las muestras de los hongos comestibles son: temperatura del aire (55 °C), tipo de corte (1 cm) y la velocidad del aire (6 m/s), donde el valor optimo del contenido de humedad en base seca es de 0,0275 (g de agua/g solido seco). Por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra S08 con la finalidad de minimizar el contenido de humedad base seca.

En la tabla 4.17, se observa los valores óptimos para maximizar el contenido de humedad en base seca de las muestras del hongo comestible sin tratamiento; datos extraídos de la tabla D (Anexo D).

Tabla 4.17

Valores óptimos para maximizar el contenido de humedad

Factores		Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura	(A)	45,0	55	55,0
Tipo de corte	(B)	0,5	1	0,5
Velocidad del aire	(C)	3,0	6	3,0

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.17 se observa que los valores óptimos de los factores para maximizar el contenido de humedad en las muestras del hongo comestible son: temperatura del

aire (55 °C), tipo de corte (0,5 cm) y la velocidad del aire (3,0 m/s), donde el valor óptimo del contenido de humedad en base seca es de 0,203 (g de agua/g sólido seco). Por lo tanto, se tomó en cuenta la muestra S02 con la finalidad de maximizar el contenido de humedad base seca.

En conclusión, para elegir la muestra final en la obtención de hongo comestible seco en polvo se optó por elegir la muestra S08 debido a que la finalidad del proceso de secado es minimizar el contenido de humedad en base seca y por lo tanto se considera como una muestra ganadora, la misma que fue elaborada con una temperatura (55°C) tipo de corte (1 cm), la velocidad del aire (6 m/s) y un contenido de humedad en la variable respuesta de 0,0275 (g de agua/g sólido seco).

4.4 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) gr del hongo comestible.

En la tabla A.2 (Anexo A), se puede observar el contenido de humedad del hongo comestible (92,17) % que fue considerado para realizar los cálculos de humedad en base seca.

Según (Singh & Heldman, 2009) para el cálculo de la humedad en base seca se puede calcular según la siguiente ecuación 4.3:

$$HBS = \frac{M_i - SS}{SS} = \frac{\text{kg de agua}}{\text{kg sólido seco}} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Y por lo tanto para el cálculo del sólido seco se tomó en cuenta la ecuación 4.4

$$SS = M_i(1 - HBH) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Donde:

SS: Sólido seco

M_i : Masa inicial

HBS: Humedad en base seca

HBH: Humedad en base húmeda

Por lo tanto, se analizó el contenido de humedad en base seca en función a las siguientes variables temperatura (A), tipo de corte (B) y velocidad del aire (C) como se detalla en la tabla 4.18.

Tabla 4.18

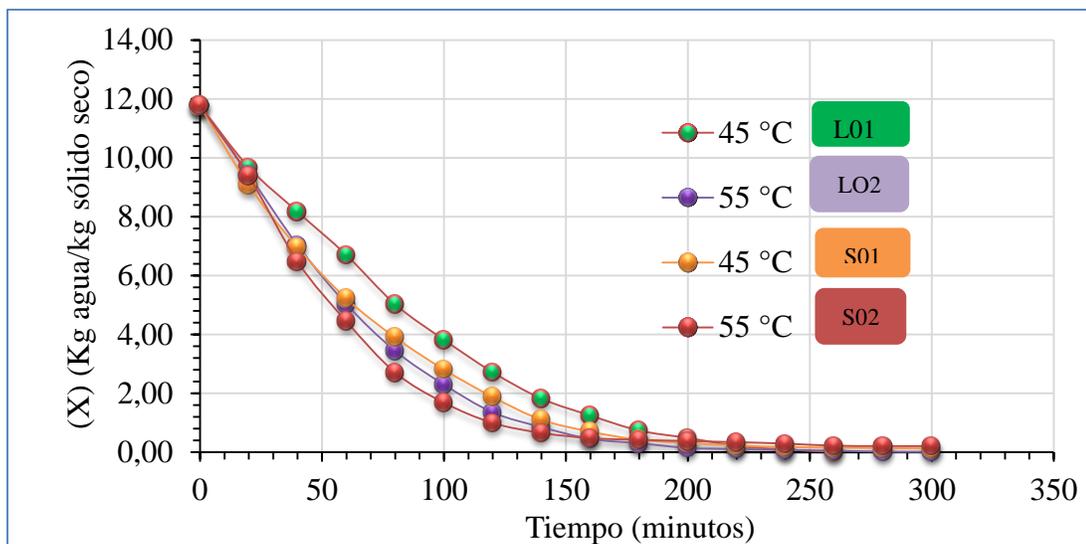
Variables para el análisis del contenido de humedad en base seca

Características	
Temperatura	$A_1 = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$
	$A_2 = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$
Tipo de corte	$B_1 = 0,5 \text{ cm}$
	$B_2 = 1,0 \text{ cm}$
Velocidad del aire	$C_1 = 3,0 \text{ m/s}$
	$C_2 = 6,0 \text{ m/s}$

Fuente: Elaboración propia

4.4.1 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B_1 (0,5 cm) vs C_1 (3 m/s)

En la figura 4.13, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de muestras del hongo comestible con tratamiento (L01, L02) y sin tratamiento (S01, S02); las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la temperatura entre (45-55) °C y manteniendo constante el tipo de corte B_1 (0,5 cm) y la velocidad del aire C_1 (3 m/s), los datos fueron obtenidos de la tabla E.1, tabla E.2, tabla E.9 y tabla E.10 (Anexo E).



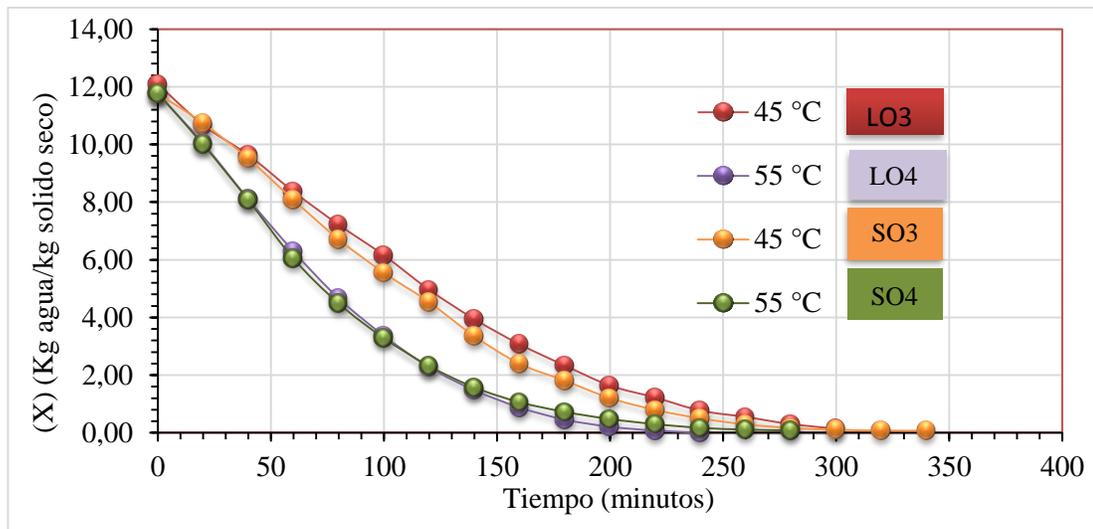
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B_1 (0,5 cm) vs C_1 (3 m/s)

En la figura 4.13, se observa que al incrementar la temperatura de 45°C (T_1) a 55°C (T_2) el proceso de secado se ve favorecido con el cambio de humedad final y el tiempo de secado. Así mismo, las muestras L02 y S02 aplicada en condiciones de temperatura (55°C), tipo de corte (0,5 cm) y velocidad del aire (3 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 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).

4.4.2 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B_2 (1,0 cm) vs C_1 (3 m/s)

En la figura 4.14, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L03, L04) y sin tratamiento (S03, S04), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la temperatura entre (45-55) °C y manteniendo constante el tipo de corte B_2 (1,0 cm) y la velocidad del aire C_1 (3 m/s). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.3, tabla E.4, tabla E.11 y tabla E.12 (Anexo E).



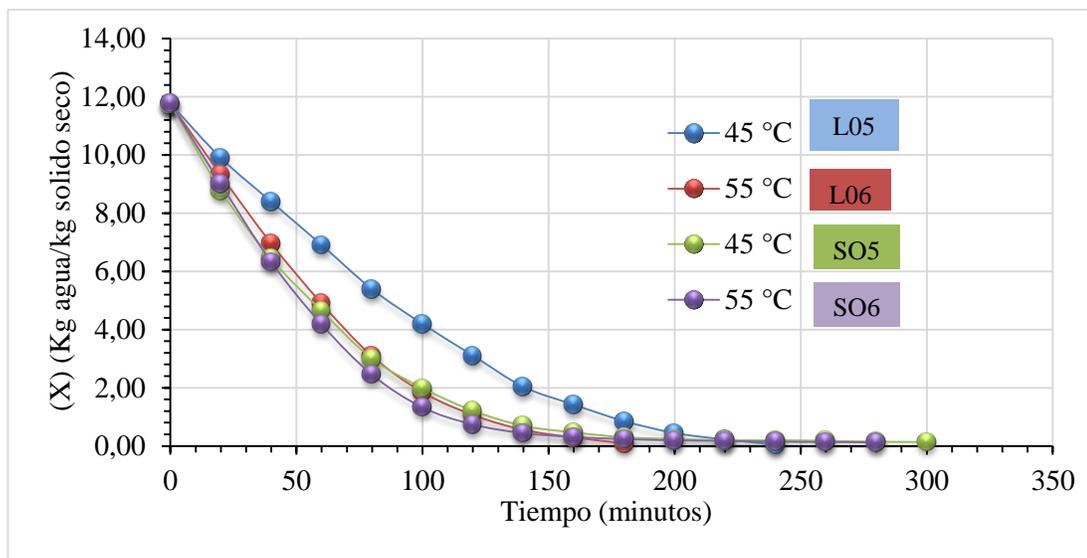
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.14 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B₂ (1,0 cm) vs C₁ (3 m/s)

En la figura 4.14, 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, la muestras L04 y S04 aplicadas en las siguientes condiciones de temperatura (55°C), tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (3 m/s) se observa que para un tiempo de 240 minutos contienen una humedad de 0,007 kg agua/kg sólido seco (L04) y 0,175 kg agua/kg sólido seco (S04); así mismo, la muestras L03 y S03 aplicadas a condiciones de temperatura (45°C), tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (3 m/s) se observa que para un tiempo de 300 minutos contienen una humedad final de 0,146 g agua/g sólido seco (L03) y 0,102 g agua/g sólido seco (S03).

4.4.3 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B₁ (0,5 cm) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.15, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L05, L06), y sin tratamiento (S05, S06), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la temperatura entre (45-55) °C y manteniendo constante el tipo de corte B₁ (0,5 cm) y la velocidad del aire C₂ (6 m/s). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.5, tabla E.6, tabla E.13 y tabla E.14 (Anexo E).



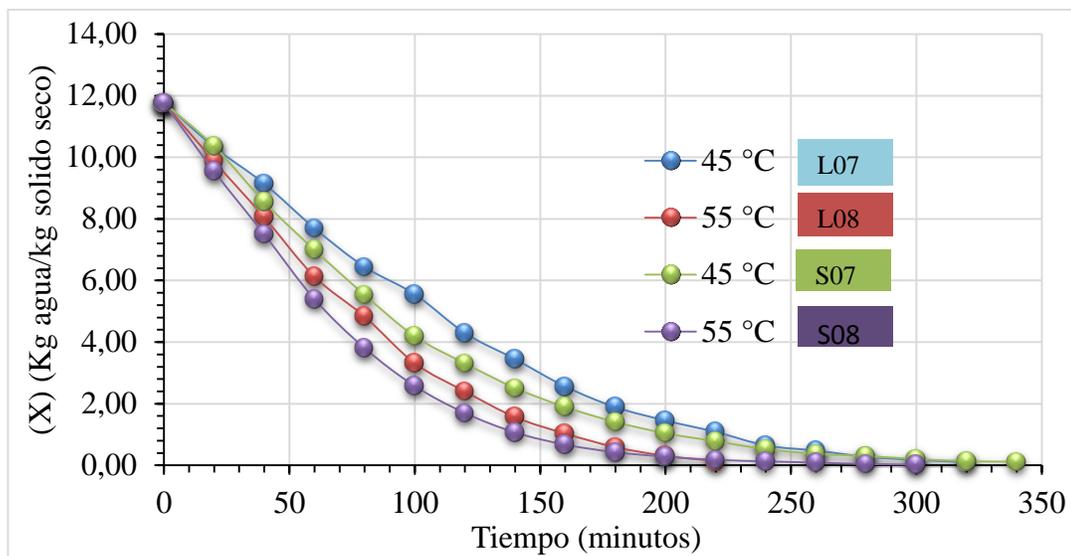
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B₁ (0,5cm) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.15, 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 y el tiempo de secado; por lo tanto, las muestras L06 y S06 aplicada en condiciones de temperatura (55°C), tipo de corte (0,5 cm) y velocidad del aire (6 m/s) se observa que para un tiempo de 180 minutos los contenidos de humedad son 0,096 kg agua/kg sólido seco (L06) y 0,240 kg agua/kg sólido seco (S06). Las muestras L05 y S05 aplicadas a condiciones de temperatura (45°C), tipo de corte (0,5 cm) y velocidad del aire (6 m/s) se observa que para un tiempo de 180 minutos tienen una pérdida de agua de 0,850 kg agua/kg sólido seco (L05) y 0,297 kg agua/kg sólido seco (S05).

4.4.4 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B₂ (1,0 cm) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.16, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L05, L06), y sin tratamiento (S05, S06), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la temperatura entre (45-55) °C y manteniendo constante el tipo de corte B₁ (1,0 cm) y la velocidad del aire C₂ (6 m/s). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.7, tabla E.8, tabla E.15 y tabla E.16 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

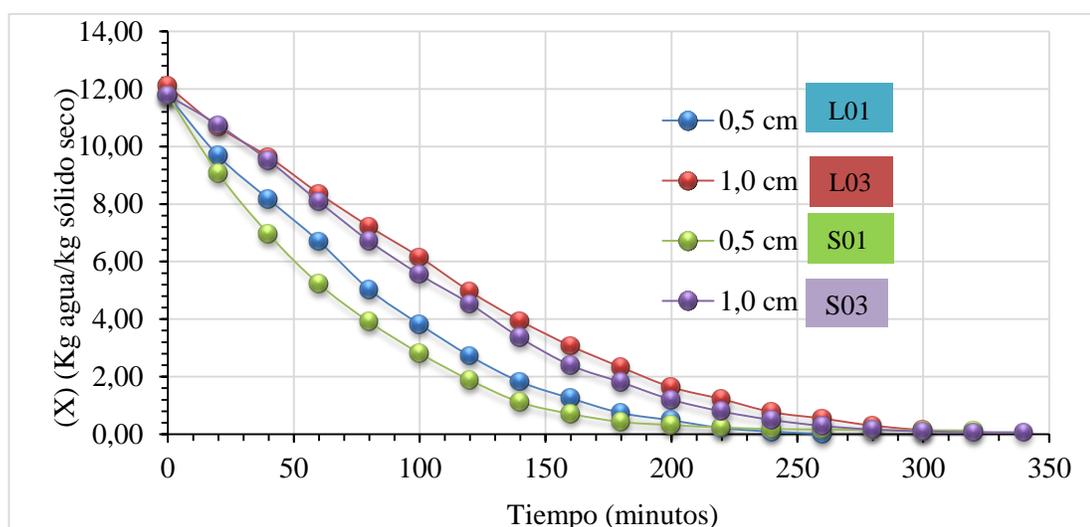
Figura 4.16 Variación del contenido de humedad con la temperatura, a B₂ (1,0 cm) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.16, 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 y el tiempo de secado; por lo tanto, las muestras L08 y S08 aplicada en condiciones de temperatura (55°C), tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (6 m/s), se observa que para un tiempo de 220 minutos los contenidos de humedad son 0,142 kg agua/kg solido seco (L08) y 0,182 kg agua/kg solido seco (S08). Las muestras L07 y S07 aplicadas a condiciones de temperatura (45°C), tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (6 m/s) se observa que para un tiempo de 320 minutos tienen una pérdida de agua de 0,174 kg agua/kg solido seco (L07) y 0,205 kg agua/kg solido seco (S07).

En conclusión, se observa que cuando se incrementa la temperatura (45°C a 55°C); las muestras tratadas con solución de pretratamiento se ven favorecidas en la disminución de tiempo de secado y contenido de humedad final, Así mismo las muestras que no se les realizó ningún tipo de pretratamiento se ven favorecidas con un menor tiempo de secado.

4.4.5 Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte, A_1 (45 °C) vs C_1 (3 m/s)

En la figura 4.17, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L01, L03), y sin tratamiento (S01, S03), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando el tipo de corte entre (0,5-1,0) cm y manteniendo constante la temperatura A_1 (45°C) y la velocidad del aire C_1 (3 m/s). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.1, tabla E.3, tabla E.9 y tabla E.11 (Anexo E).



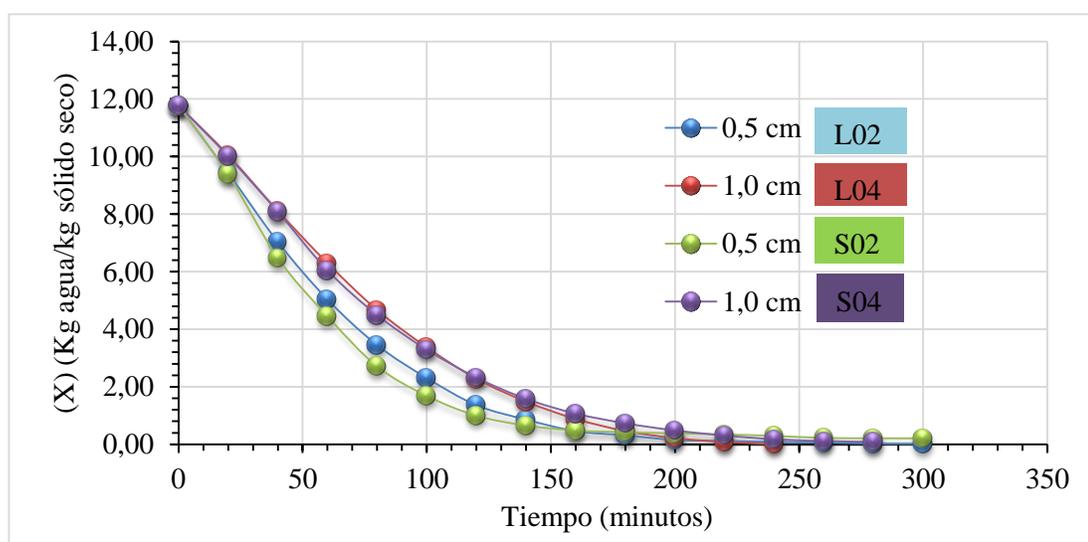
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17 Variación del contenido de humedad con el tipo de corte, a A_1 (45 °C) vs C_1 (3 m/s)

En la figura 4.17, se observa que al variar el tipo de corte de 0,5 cm (B_1) a 1,0 cm (B_2), 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 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).

4.4.6 Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte A₂ (55 °C) vs C₁ (3 m/s)

En la figura 4.18, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L02, L04), y sin tratamiento (S02, S05), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando el tipo de corte entre (0,5-1,0) cm y manteniendo constante la temperatura A₂ (55°C) y la velocidad del aire C₁ (3 m/s). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.2, tabla E.4, tabla E.10 y tabla E.12 (Anexo E).



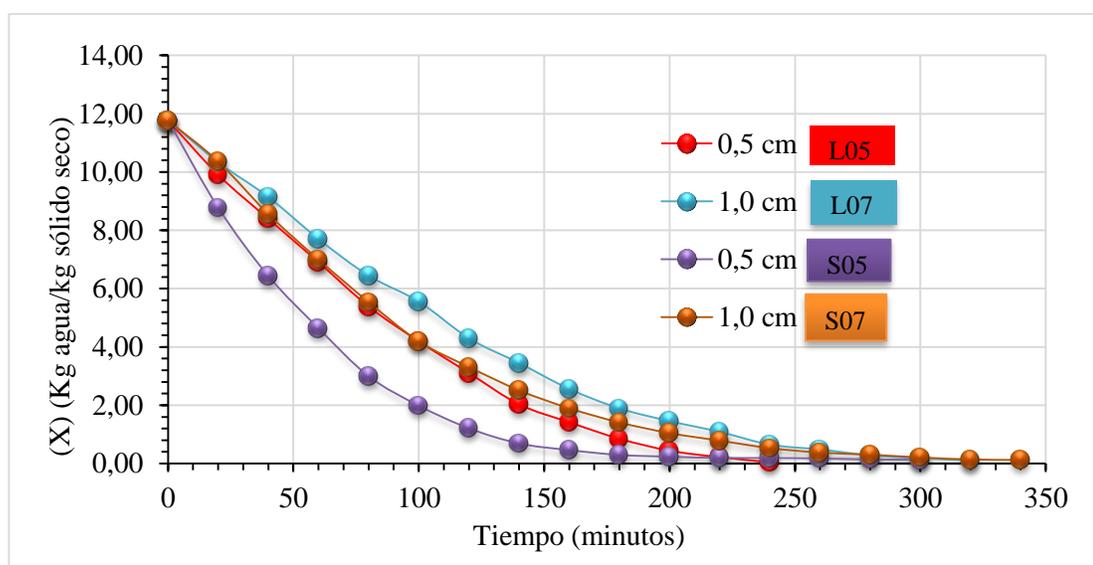
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18 Variación del contenido de humedad con el tipo de corte, a A₂ (55 °C) vs C₁ (3 m/s)

En la figura 4.18 se observa que al variar el tipo de corte de 0,5 cm (B₁) a 1,0 cm (B₂) existe diferencia significativa en el tiempo de secado de las muestras; por tanto, las muestras L04 y S04 en condiciones de temperatura (55 °C) tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (3 m/s), para un tiempo de 240 minutos, los contenidos de pérdida de agua son 0,007 kg agua/ kg sólido seco (L04) y 0,175 kg agua/kg de sólido seco (S04). Así mismo las muestras L02 y S02 en condiciones de temperatura (55 °C), tipo de corte (0,5) y velocidad de aire (3 m/s), en un tiempo de 300 minutos tiene un contenido de humedad final de 0,014 kg de agua/kg de aire seco (L02) y 0,203 kg agua/ kg de sólido seco (S04).

4.4.7 Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte A₁ (45 °C) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.19, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L05, L07), y sin tratamiento (S05, S07), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando el tipo de corte entre (0,5-1,0) cm y manteniendo constante la temperatura A₁ (45°C) y la velocidad del aire C₂ (6 m/s). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.5, tabla E.7, tabla E.13 y tabla E.15 (Anexo E).



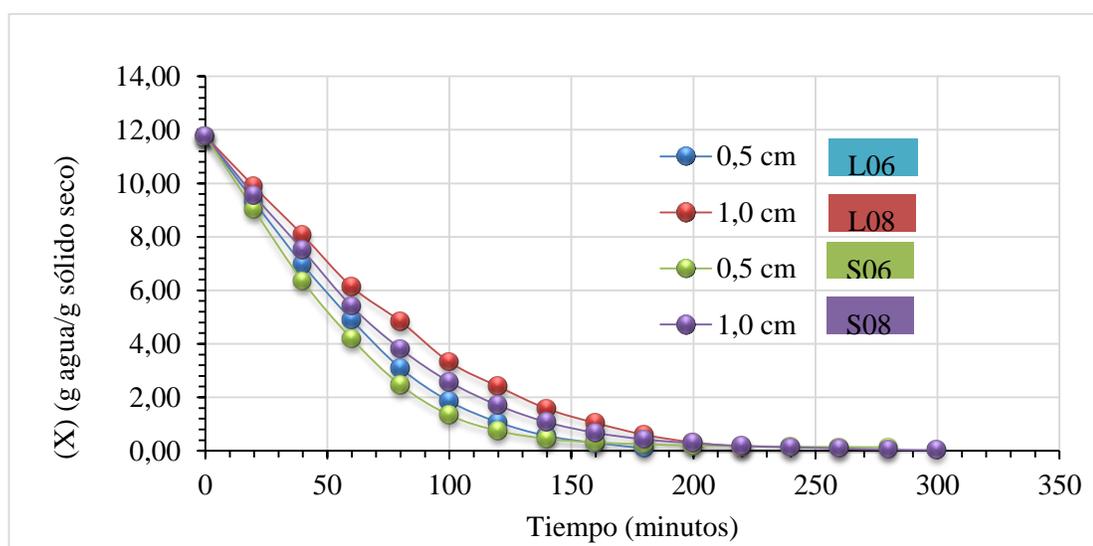
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19 Variación del contenido de humedad con el tipo de corte, a A₁ (45 °C) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.19 se observa que al variar el tipo de corte de 0,5 cm (B₁) a 1,0 cm (B₂), existe diferencia significativa en el tiempo de secado de las muestras; por tanto, las muestras L07 y S07 en condiciones de temperatura (45 °C) tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (6 m/s), para un tiempo de 320 minutos, tienen una pérdida de agua de 0,107 kg agua/ kg sólido seco (L07) y 0,136 kg agua/kg de sólido seco (S07). Las muestras L05 y S05 en condiciones de temperatura (45 °C), tipo de corte (0,5) y velocidad de aire (3 m/s), en un tiempo de 240 minutos tienen un contenido de humedad final de 0,047 kg de agua/kg de sólido seco (L05) y una pérdida de agua de 0,192 kg agua/ kg de sólido seco (S05).

4.4.8 Variación del contenido de humedad en función al tipo de corte A₂ (55 °C) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.20, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L06, L08), y sin tratamiento (S06, S08), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando el tipo de corte entre (0,5-1,0) cm y manteniendo constante la temperatura A₂ (55°C) y la velocidad del aire C₂ (6 m/s). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.6, tabla E.8, tabla E.14 y tabla E.16 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

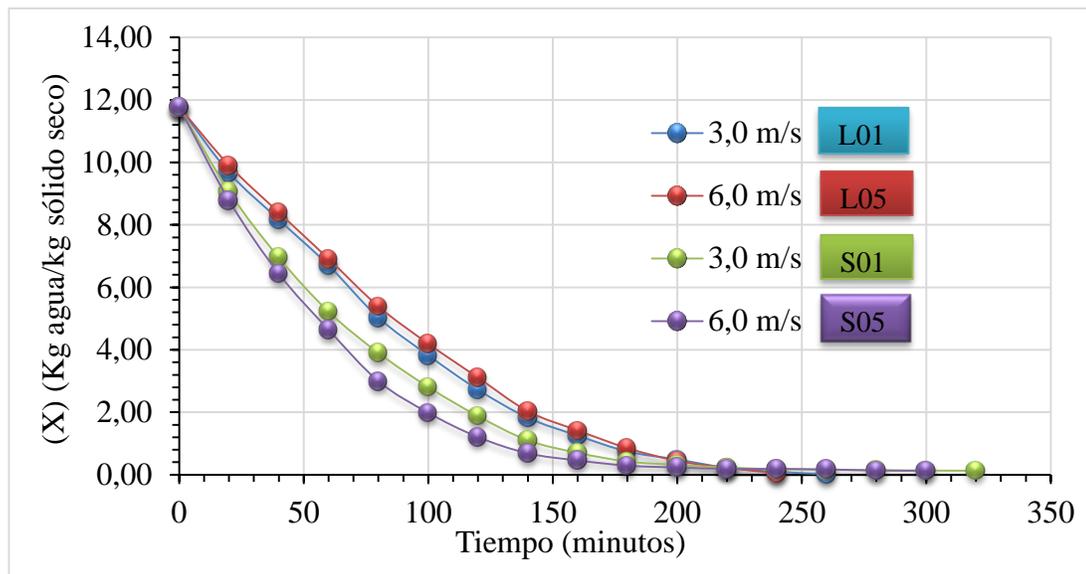
Figura 4.20 Variación del contenido de humedad con el tipo de corte, a A₂ (55 °C) vs C₂ (6 m/s)

En la figura 4.20, 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 L08 y S08 en condiciones de temperatura (55°C), tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (6 m/s), se observa que para un tiempo de 220 minutos los contenidos de humedad son: 0,142 kg agua/kg aire seco (L08) y 0,182 kg agua/kg de aire seco (S08). Así mismo, para las muestras L06 y S06 en condiciones de temperatura (55 °C), tipo de corte (0,5 cm) y velocidad de aire (6,0 m/s), se observa que en un tiempo de 180 minutos, tienen un contenido de humedad de 0,096 kg agua/kg aire seco (L06) y 0,240 kg agua/ kg aire seco (S08).

En conclusión, se pudo evidenciar que las muestras del hongo comestible con pretratamiento tienen un tiempo de secado mayor con relación a las muestras que no se le realizaron ningún tipo de pretratamiento. Así mismo cuando se aumenta el tipo de corte de 0,5 a 1,0 cm el tiempo de secado y se observa un cambio mínimo de variación en el contenido de humedad final.

4.4.9 Variación del contenido de humedad en función de la velocidad del aire, A₁ (45 °C) vs B₁ (0,5 cm)

En la figura 4.21, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L01, L05), y sin tratamiento (S01, S05), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la velocidad del aire entre (3,0-6,0) m/s y manteniendo constante la temperatura A₁ (45°C) y el tipo de corte B₁ (0,5 cm). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.1, tabla E.5, tabla E.9 y tabla E.13 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

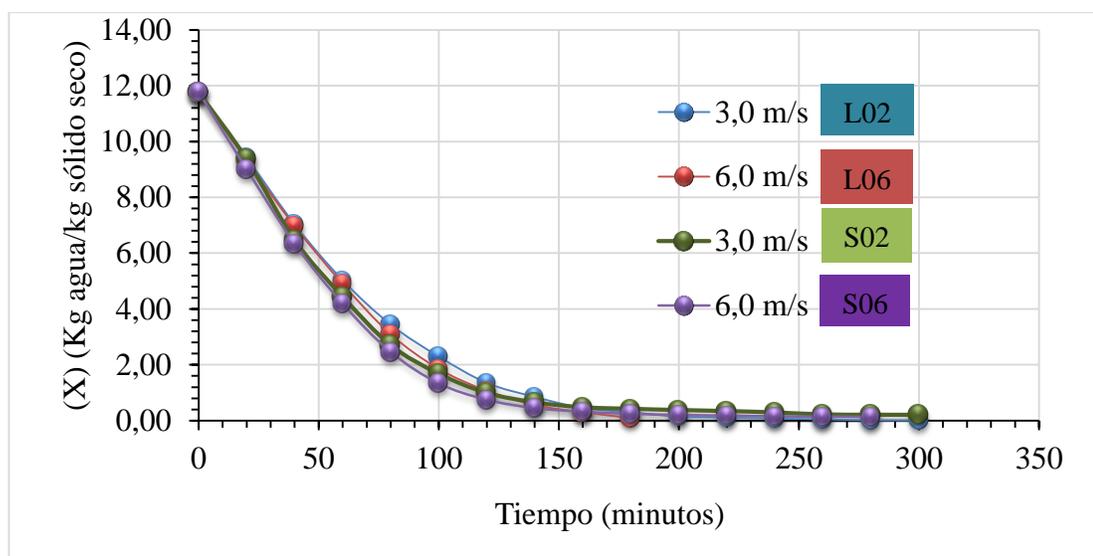
Figura 4.21 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, a A₁ (45 °C) vs B₁ (0,5 cm)

En la figura 4.21 se observa que al incrementar la velocidad de 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 L05 y S05 en un tiempo

de 240 minutos y en condiciones de temperatura 45 °C, tipo de corte 0,5 cm y una velocidad de 6,0 m/s tienen un contenido de humedad final de 0,047 kg agua/kg aire seco (L05) y una pérdida de agua de 0,192 kg de agua/ kg de aire seco (S05). Así mismo las muestras L01 y S01, en un tiempo de 260 y en condiciones de temperatura 45°C, tipo de corte 0,5 cm y velocidad del aire de 3,0 m/s los contenidos de humedad son: 0,014 kg agua/kg de aire seco (L01) y 0,164 kg de agua/kg de solido seco (S01).

4.4.10 Variación del contenido de humedad en función de la velocidad del aire, A₂ (55 °C) vs B₁ (0,5 cm)

En la figura 4.22, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L02, L06), y sin tratamiento (S02, S06), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la velocidad del aire entre (3,0-6,0) m/s y manteniendo constante la temperatura A₂ (55°C) y el tipo de corte B₁ (0,5 cm). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.2, tabla E.6, tabla E.10 y tabla E.14 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

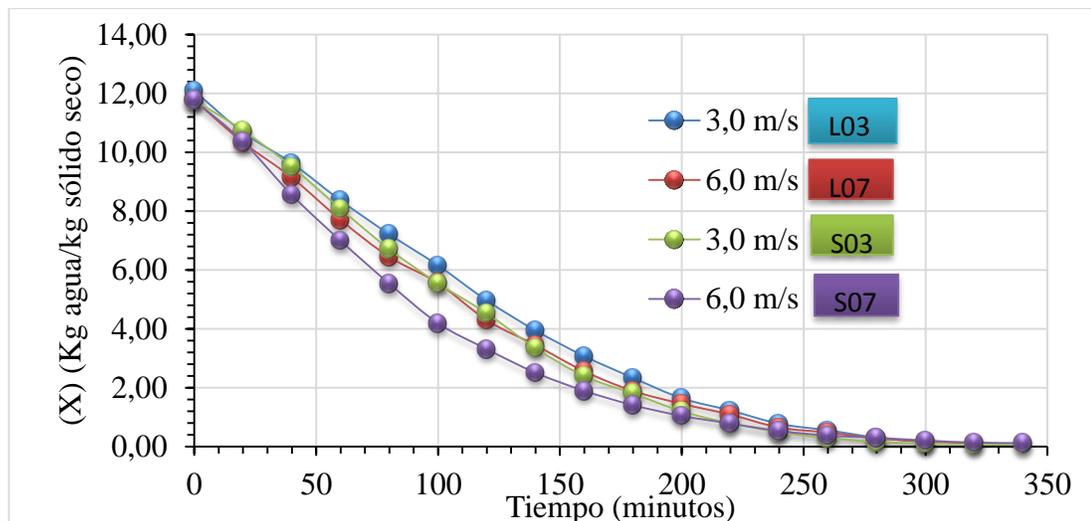
Figura 4.22 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, a A₂ (55 °C) vs B₁ (0,5 cm)

En la figura 4.22 se observa que al incrementar la velocidad de 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, en un tiempo de 180 minutos, las

muestras L06 y S06 en condiciones de temperatura 55 °C, tipo de corte 0,5 cm y una velocidad de 6,0 m/s, tienen un contenido de humedad final de 0,096 kg agua/kg aire seco (L06) y una pérdida de agua de 0,240 kg de agua/ kg de aire seco (S06). Así mismo las muestras L02 y S02, en un tiempo de 300 y en condiciones de temperatura 55°C, tipo de corte 0,5 cm y velocidad del aire de 3,0 m/s los contenidos de humedad son: 0,014 kg agua/kg de aire seco (L02) y 0,203 kg de agua/kg de solido seco (S02).

4.4.11 Variación del contenido de humedad en función de la velocidad del aire, A₁ (45 °C) vs B₂ (1,0 cm)

En la figura 4.23, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L03, L07), y sin tratamiento (S03, S07), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la velocidad del aire entre (3,0-6,0) m/s y manteniendo constante la temperatura A₁ (45°C) y el tipo de corte B₂ (1,0 cm). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.3, tabla E.7, tabla E.11 y tabla E.15 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

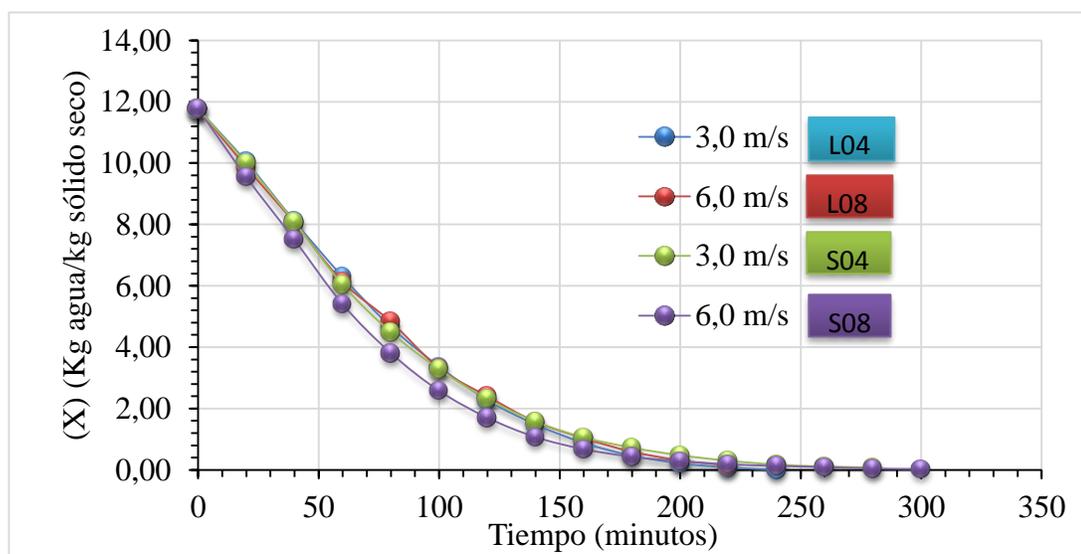
Figura 4.23 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, a A₁ (45 °C) vs B₂ (1,0 cm)

En la figura 4.23 se observa que al incrementar la velocidad de 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 L07 y S07 en un tiempo

de 320 minutos y en condiciones de temperatura 45 °C, tipo de corte 1,0 cm y una velocidad de 6,0 m/s, tienen un contenido de humedad final de 0,107 kg agua/kg aire seco (L07) y una pérdida de agua de 0,136 kg de agua/ kg de aire seco (S07). Así mismo las muestras L03 y S03, en un tiempo de 300 y en condiciones de temperatura 45°C, tipo de corte 1,0 cm y velocidad del aire de 3,0 m/s los contenidos de humedad son: 0,146 kg agua/kg de aire seco (L03) y 0,102 kg de agua/kg de solido seco (S03).

4.4.12 Variación del contenido de humedad en función de la velocidad del aire, A₂ (55 °C) vs B₂ (1,0 cm)

En la figura 4.24, se observa la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras del hongo comestible con tratamiento (L04, L08), y sin tratamiento (S04, S08), las cuales están determinadas en un tiempo de 20 minutos, variando la velocidad del aire entre (3,0-6,0) m/s y manteniendo constante la temperatura A₂ (55°C) y el tipo de corte B₂ (1,0 cm). Los datos fueron obtenidos de la tabla E.4, tabla E.8, tabla E.12 y tabla E.16 (Anexo E).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.24 Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire, a A₂ (55 °C) vs B₂ (1,0 cm)

En la figura 4.24 se observa que al incrementar la velocidad de 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 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).

En conclusión, cuando se incrementa la velocidad del aire de 3,0 m/s a 6,0 m/s, se pudo evidenciar que las muestras con pretratamiento tienen un tiempo de secado mayor con relación a las que no se las realizó ningún tipo de pretratamiento; Así mismo cuando se incrementa velocidad de aire de entrada, las muestras tienden a perder mayor contenido de agua, pero esta diferencia es mínima.

Analizando las variables controladas temperatura, tipo de corte y velocidad de aire se concluye que la variación del contenido de humedad de las muestras del hongo comestible es mínima, por lo tanto, estadísticamente se concluye que no existe diferencia significativa en las muestras tratadas con y sin pretratamiento en las distintas condiciones de temperatura, tipo de corte y velocidad del aire.

4.5 Cinéticas de secado en la obtención de hongo comestible seco en polvo

En la tabla 4.19 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 humedad: 92,17 %

Contenido de materia seca: 2,637 g

Tiempo de secado: 5 horas

Tabla 4.19

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

Tiempo (minutos)	Peso (g)	X (kg/kg)	X media (kg/kg)	$\Delta\theta$ (h)	ΔX (kg/kg)	$\Delta X / \Delta\theta$ (kg/kg/h)	N (kg/m ² h)
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	0,573	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	0,177	0,167	0,027	0,1589	0,021

Fuente: Elaboración propia

Donde:

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

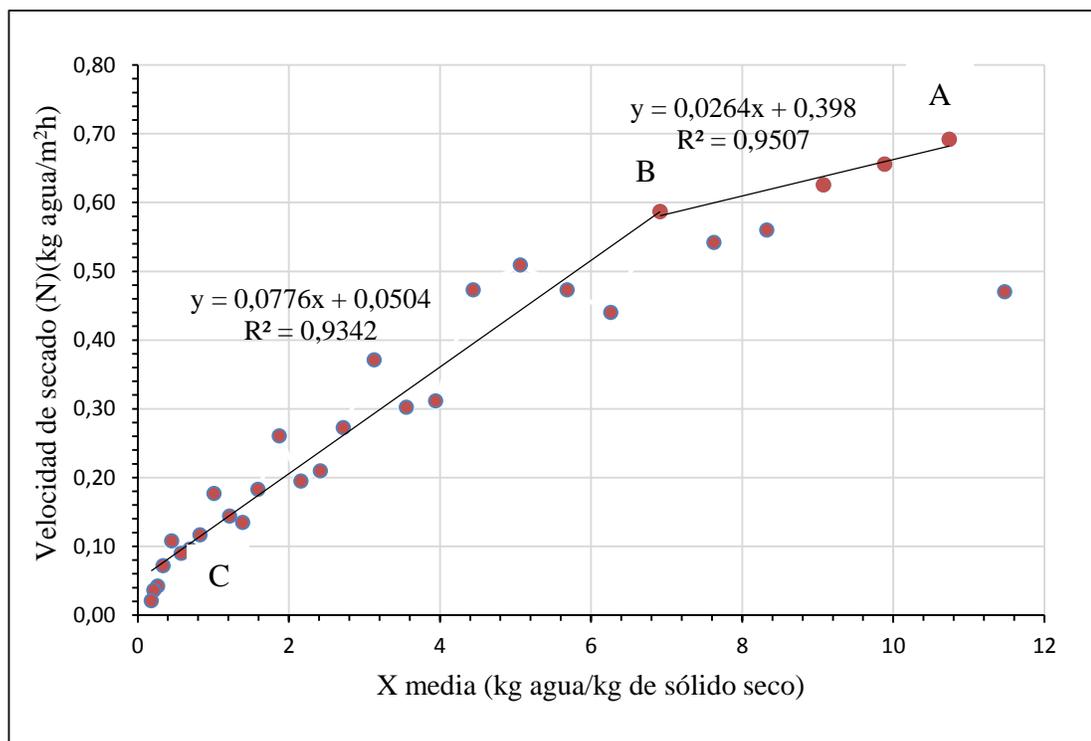
ΔX = Gradiente de humedad en base seca

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

X media = Humedad media

N = Velocidad de secado

En la figura 4.25 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 4.19.



Fuente: Elaboración propia

figura 4.25 Cinética en el proceso de secado con pretratamiento para obtener hongo comestible seco en polvo

En la figura 4.25 se observa el comportamiento de humedad media en relación con la velocidad de secado donde se puede concluir que existen dos tramos distintos:

El periodo ante crítico tramo (A-B) cuya velocidad de secado es relativamente constante hasta que el contenido de humedad del producto alcanza el valor crítico, por lo tanto, la ecuación matemática ajustada con un coeficiente de determinación de regresión R^2 (0,9507) se describe en la ecuación 4.5

$$y = 0,0264x + 0,398 \quad \text{Ecuación 4.5}$$

El tramo (B-C), representa el periodo post crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad del hongo comestible alcanza de equilibrio cuya expresión matemática ajustada con un coeficiente de regresión R^2 (0,9342) se describe en la ecuación 4.6.

$$y = 0,0776x + 0,0504 \quad \text{Ecuación 4.6}$$

En la tabla 4.20 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: $0,020 \text{ m}^2$

Cantidad de materia: 34,19

Contenido de humedad: 92,17 %

Contenido de materia seca: 2,677 g

Tiempo de secado: 5 horas

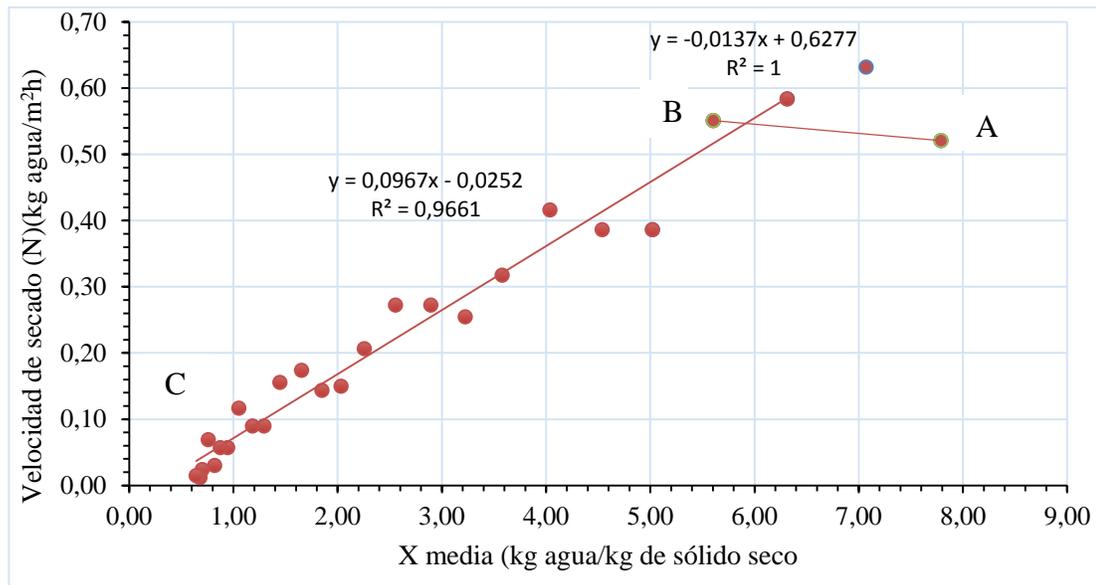
Tabla 4.20

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

Tiempo (minutos)	peso (g)	X (kg/kg)	X media (kg/kg)	$\Delta\theta$ (h)	ΔX (kg/kg)	$\Delta X / \Delta\theta$ (kg/kg/h)	N (kg/m ² h)
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

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.26 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 4.20.



Fuente: Elaboración propia

figura 4.26 Cinética en el proceso de secado sin pretratamiento para obtener hongo comestible seco en polvo

En la figura 4.26 se observa el comportamiento de humedad media con relación con la velocidad de secado, donde se puede concluir que existen dos tramos distintos que se describen a continuación:

El periodo ante crítico tramo (A-B) cuya velocidad de secado es relativamente constante hasta que el contenido de humedad del producto alcanza el valor crítico, por lo tanto, la ecuación matemática ajustada con un coeficiente de regresión R^2 (1) se describe en la ecuación 4.7.

$$y = -0,0137x + 0,6277 \quad \text{Ecuación 4.7}$$

El tramo (B-C), representa el periodo post crítico donde la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad del hongo comestible alcanza de equilibrio cuya

expresión matemática ajustada con un coeficiente de determinación de regresión R^2 (0,9661) se describe en la ecuación 4.8.

$$y = 0,0967x - 0,0252 \quad \text{Ecuación 4.8}$$

4.6 Rehidratación de hongo comestible seco

En la tabla 4.21, se muestran los resultados de la ganancia de peso en función del tiempo de la muestra rehidratada. En tal sentido se seleccionó la muestra L04 con un peso inicial entre 4,66-4,68 gramos la cual fue introducida en agua a diferentes temperaturas.

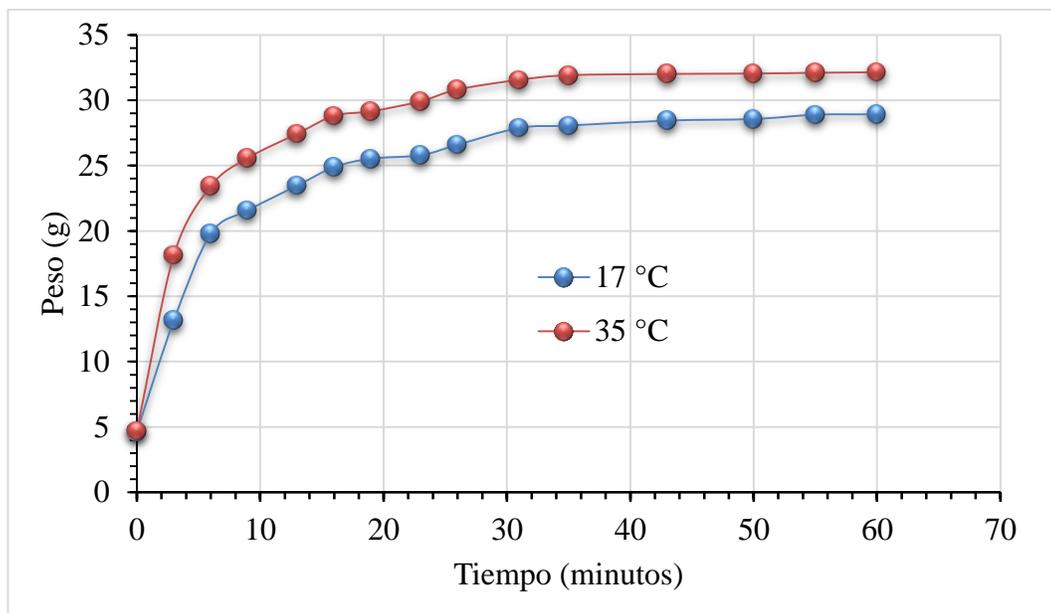
Tabla 4.21

Ganancia de peso de muestra del hongo comestible seco

Tiempo (minutos)	Peso (g)	
	Temperatura 17°C	Temperatura 35 °C
0	4,66	4,68
3	13,15	18,15
6	19,79	23,43
9	21,57	25,58
13	23,47	27,44
16	24,88	28,81
19	25,53	29,15
23	25,79	29,92
26	26,59	30,82
31	27,88	31,56
35	28,06	31,91
43	28,44	32,01
50	28,56	32,04
55	28,89	32,10
60	28,92	32,14

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.27, se muestra la variación de ganancia de peso función del tiempo de muestra del hongo comestible (L04) en el proceso de rehidratación; se realizó en función a la tabla 4.21.



Fuente: elaboración propia

figura 4.27 Variación de ganancia de peso función del tiempo de muestra (L04)

En la figura 4.27 se puede observar que al incrementar la temperatura del agua de 17°C a 35°C el tiempo de rehidratación se reduce, pero sin embargo se ve favorecida en la ganancia de peso, es decir a una mayor temperatura la rehidratación de la muestra del hongo comestible es mejor debido a la capacidad de retención agua.

4.7 Caracterización del hongo comestible seco en polvo

Para caracterizar el producto final (hongo comestible seco en polvo) se tomó en cuenta las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas.

4.7.1 Caracterización fisicoquímica del hongo comestible seco en polvo

Para la caracterización de las propiedades fisicoquímicas del hongo comestible seco en polvo se tomaron en cuenta parámetros realizados en el Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID) (Anexo A); los resultados de se detallan en la tabla 4.22.

Tabla 4.22***Análisis fisicoquímico del hongo comestible seco en polvo***

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/100 g	360,58

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.22 se observan los resultados de los parámetros fisicoquímicos del hongo comestible seco en polvo, donde el contenido de 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.

En conclusión, comparando datos del hongo comestible fresco (tabla 4.2) y el hongo comestible seco en polvo (tabla 4.20), se observa que existe diferencias en la composición fisicoquímica, esto se debe a que hongo comestible al ser sometido a una etapa de secado se ve favorecido con la concentración de sus propiedades como ser proteína e hidratos de carbono.

4.7.2 Caracterización microbiológica del hongo comestible seco en polvo

En la tabla 4.23 se muestran los resultados del análisis microbiológico del producto terminado extraídos del (Anexo A) los cuales fueron realizados en el Centro de Análisis y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.23***Análisis microbiológico del hongo comestible seco en polvo***

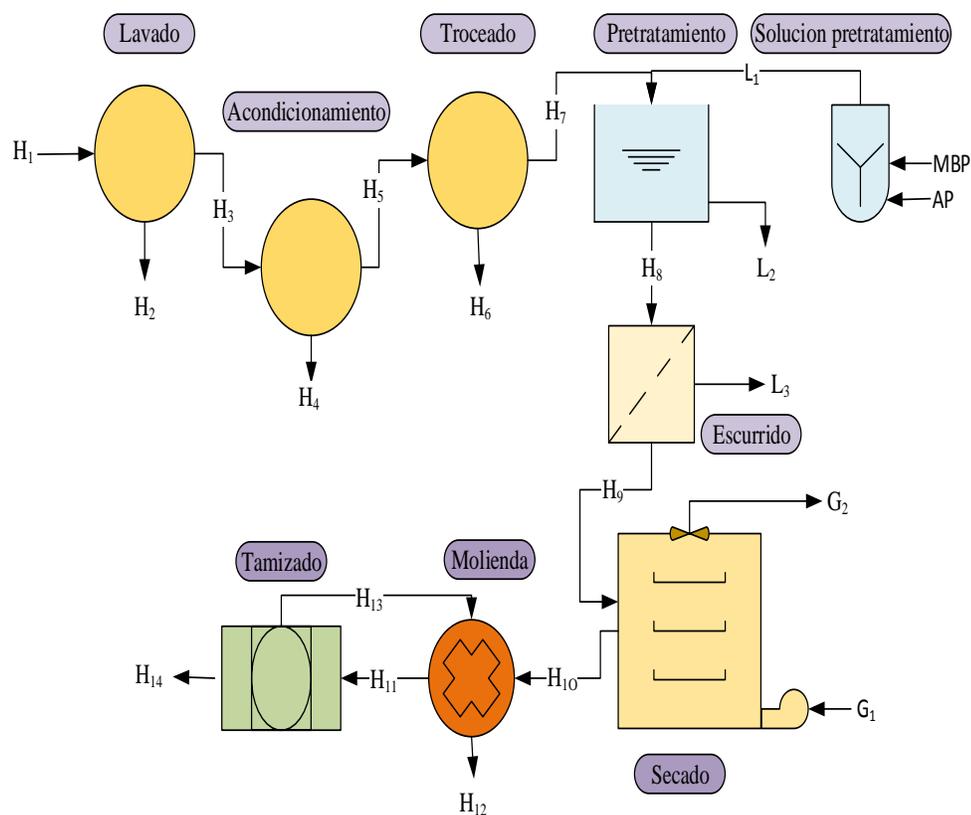
Microorganismos	Unidad	Resultado
Coliformes totales	UFC/g	$6,8 \times 10^4$
Escherichia coli	UFC/g	$1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$1,9 \times 10^4$

Fuente: CEANID, 2021

En la tabla 4.23 se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del hongo comestible seco en polvo los cuales presentan los siguientes resultados: Coliformes totales $6,8 \times 10^4$ UFC/g; Escherichia coli $1,0 \times 10^1$ UFC/g; mohos y levaduras $1,9 \times 10^4$ UFC/g.

4.8 Balance de materia en el proceso de obtención de hongo comestible seco en polvo

El balance de materia del proceso de obtención de hongo comestible seco en polvo, se realizó para una base de cálculo de 1000 g de hongo comestible fresco y para su resolución se realizó de acuerdo al diagrama de flujo de la (figura 4.28).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28 Diagrama de flujo del balance de materia en el proceso de obtención de hongo comestible seco en polvo.

Donde:

H_1 = Hongo comestible (g)

H_2 = Agua residual (g)

H_3 = Cantidad de hongo comestibles lavado (g)

H_4 = Perdidas del hongo comestible (g)

H_5 = Cantidad de hongo comestible acondicionado (g)

H_6 = Cantidad de pérdidas en el corte (g)

H_7 = Cantidad de hongo comestible troceado (g)

H_8 = Cantidad de hongo comestible pre tratado (g)

H_9 = Cantidad de hongo comestible escurrido (g)

H_{10} = Cantidad de hongo comestible seco (g)

H_{11} = Cantidad de hongo comestible seco molido (g)

H_{12} = Cantidad de perdida en la molienda (g)

H_{13} = Cantidad de hongo comestible que vuelve al proceso de molienda (g)

H_{14} = Cantidad de hongo comestible seco en polvo tamizado (g)

MBP = Metabisulfito de potasio (g)

AP = Agua potable (g)

L_1 = Solución de pretratamiento (g)

L_2 = Solución de pretratamiento residual (g)

L_3 = Solución de pretratamiento escurrida (g)

G_1 = Cantidad de aire de entrada

G_2 = Cantidad de aire en la salida

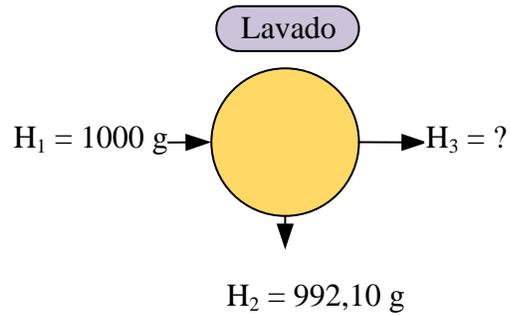
X = Concentración fase sólida

Y = Concentración fase gaseosa

W = Concentración fase líquida

4.8.1 Balance de materia en la etapa de lavado

En la figura 4.29, se muestra la etapa de lavado del hongo comestible y donde se realizó una cantidad de 1000 g para realizar el balance de materia.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.29 Etapa de lavado

- *Balance general de materia en la etapa de lavado*

$$H_1 = H_2 + H_3 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

- Despejando H_3 de la ecuación 4.9:

$$H_3 = H_1 - H_2$$

$$H_3 = 1000 \text{ g} - 992,10 \text{ g}$$

$$H_3 = 7,90 \text{ g de pérdida en la etapa de lavado}$$

- Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de lavado

$$H_3 = \frac{H_1 X_3}{100}$$

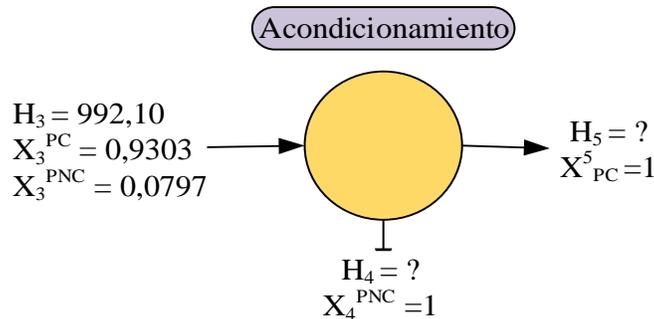
$$X_3 = \frac{H_3 * 100}{H_1}$$

$$X_3 = \frac{7,90 * 100}{1000}$$

$$X_3 = 0,79 \% \text{ de pérdida en la etapa de lavado}$$

4.8.2 Balance de materia en la etapa de acondicionamiento

En la figura 4.30, se muestra la etapa de acondicionamiento y para cual se realizó con 992,10 g de hongo comestible fresco; Por lo tanto, se tomó en cuenta datos de la tabla 4.1 donde: porción comestible de 93,03% y una porción no comestible de 7,97%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30 Etapa de acondicionamiento

- Balance general de materia en la etapa de acondicionamiento

$$H_3 = H_4 + H_5 \quad \text{Ecuación 4.10}$$

- Balance de materia parcial para la porción comestible en el acondicionamiento

$$H_3 X_3^{PC} = H_4 X_4^{PC} + H_5 X_5^{PC} \quad \text{Ecuación 4.11}$$

- Despejando H_5 de la ecuación 4.11:

$$H_5 = \frac{H_3 X_3^{PC}}{X_5^{PC}}$$

$$H_5 = \frac{992,10 \text{ g} * 0,9303}{1,00}$$

$$H_5 = 922,95 \text{ g de hongo comestible acondicionado}$$

- Balance de materia parcial para la porción no comestible en el acondicionamiento

$$H_3 X_3^{PNC} = H_4 X_4^{PNC} + H_5 X_5^{PNC} \quad \text{Ecuación 4.12}$$

- Despejando H_4 de la ecuación 4.12:

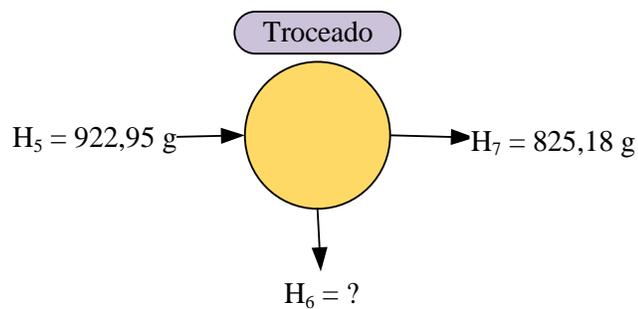
$$H_4 = \frac{H_3 X_3^{\text{PNC}}}{X_4^{\text{PNC}}}$$

$$H_4 = \frac{992,10 \text{ g} * 0,0797}{1,00}$$

$H_4 = 79,07$ g de pérdidas del hongo comestible en acondicionamiento

4.8.3 Balance de materia durante la etapa de troceado

En la figura 4.31, se muestra la etapa de troceado en la cual se realizó con 992,10 g de hongo comestible acondicionado.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.31 Etapa de troceado

- Balance general de materia en la etapa de troceado

$$H_5 = H_6 + H_7 \quad \text{Ecuación 4.13}$$

- Despejando H_6 de la ecuación 4.13:

$$H_6 = H_5 - H_7$$

$$H_6 = 922,95 \text{ g} - 825,18 \text{ g}$$

$$H_6 = 97,77 \text{ g de pérdidas en el corte}$$

- Cantidad de porcentaje de pérdida en la etapa de troceado

$$H_6 = \frac{H_5 X_6}{100}$$

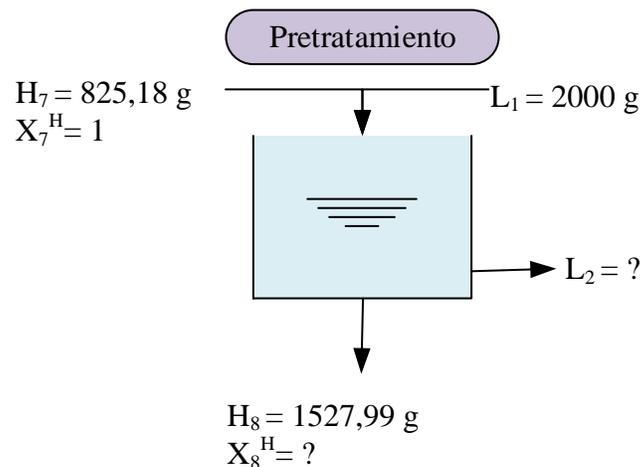
$$X_6 = \frac{H_6 * 100}{H_5}$$

$$X_6 = \frac{97,77 \text{ g} * 100}{922,95 \text{ g}}$$

$X_6 = 10,59\%$ de pérdida en la etapa de troceado

4.8.4 Balance de materia durante la etapa de pretratamiento

En la figura 4.33, se observa la etapa de pretratamiento se realizó con 2000 g de solución de pretratamiento y 825,18 g de hongo troceado; Cuando termino el proceso se obtuvo un peso de 1527,99 g del hongo comestible pre tratado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33 Etapa de pretratamiento

- Balance general de materia en la etapa de pretratamiento

$$H_7 + L_1 = H_8 + L_2 \quad \text{Ecuación 4.17}$$

- Despejando L_2 de la ecuación 4.17 se obtiene:

$$L_2 = L_1 + H_7 - H_8$$

$$L_2 = 2000 \text{ g} + 825,18 \text{ g} - 1527,99 \text{ g}$$

$L_2 = 1297,19 \text{ g}$ de solución de pretratamiento residual

- Balance parcial para el hongo en la solución de pretratamiento

$$H_7 X_7^H + L_1 W_1^H = H_8 X_8^H + L_2 W_2^H \quad \text{Ecuación 4.18}$$

- Despejando X_8^H de la ecuación 4.18:

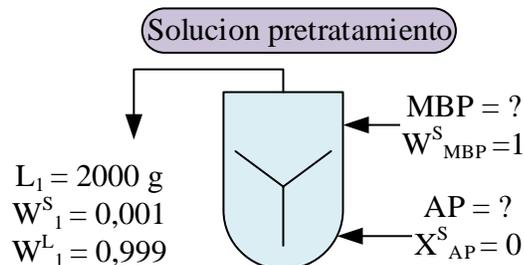
$$X_8^H = \frac{H_7 X_7^H}{H_8}$$

$$X_8^H = \frac{825,18 * 1,00}{1527,99}$$

$$X_8^H = 0,5401 \text{ fracción de hongos pretratados}$$

4.8.5 Balance de materia en la solución de pretratamiento

En la figura 4.32 se muestra la etapa de preparación de solución de pretratamiento en la cual se preparó 2000 g de solución donde se tomaron en cuenta la cantidad de metabisulfito de potasio (MBP) y agua potable (AP).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32 Preparación de la solución

- Balance general de materia en la etapa de preparación de solución de pretratamiento

$$MBP + AP = L_1 \quad \text{Ecuación 4.14}$$

- Balance de materia por componentes para sólidos durante la preparación de solución

$$AP W_{AP}^S + MBP W_{MBP}^S = L_1 W_1^S \quad \text{Ecuación 4.15}$$

$$\text{MBPW}_{\text{MBP}}^{\text{S}} = L_1 W_1^{\text{S}} \quad \text{Ecuación 4.16}$$

- Despejando MBP de la ecuación 4.16

$$\text{MBP} = \frac{L_1 W_1^{\text{S}}}{W_{\text{MBP}}^{\text{S}}}$$

$$\text{MBP} = \frac{2000 \text{ g} * 0,001}{1,00}$$

MBP = 2 g de metabisulfito de potasio

- Despejando AP de la ecuación 4.14 se obtiene:

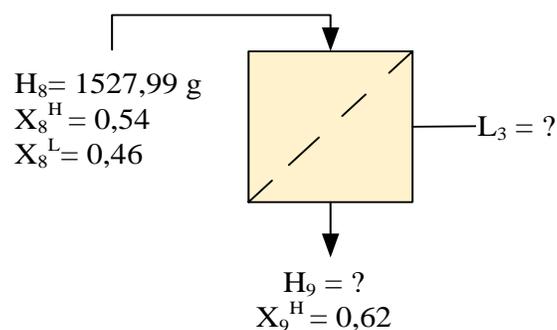
$$\text{AP} = L_1 - \text{MBP}$$

$$\text{AP} = 2000 \text{ g} - 2 \text{ g}$$

AP = 1998 g de agua potable

4.8.6 Balance de materia en la etapa de escurrido

En la figura 4.34, se muestra el balance materia en el proceso de escurrido el cual se realizó con 1527,99 g de hongo comestible con pretratamiento; Por lo tanto, después del escurrido se obtuvo un 62% en peso del hongo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34 Etapa de pretratamiento

- Balance de materia general en la etapa de escurrido:

$$H_8 = H_9 + L_3$$

Ecuación 4.19

- Balance parcial para el hongo comestible en el escurrido

$$H_8 X_8^H = H_9 X_9^H + L_3 X_3^H \quad \text{Ecuación 4.20}$$

- Despejando H_9 de la ecuación 4.20 se obtiene:

$$H_9 = \frac{H_8 X_8^H}{X_9^H}$$

$$H_9 = \frac{1527,99 \text{ g} * 0,54}{0,62}$$

$$H_9 = 1330,833 \text{ g de hongo comestible escurrido}$$

- Por lo tanto, despejando L_3 a partir de la ecuación 4.19 se obtiene:

$$L_3 = H_8 - H_9$$

$$L_3 = 1527,99 - 1330,83 \text{ g}$$

$$L_3 = 197,161 \text{ g de solución de pretratamiento escurrida}$$

- Porcentaje de pérdida en la etapa de escurrido

$$L_3 = \frac{H_8 W_3^L}{100}$$

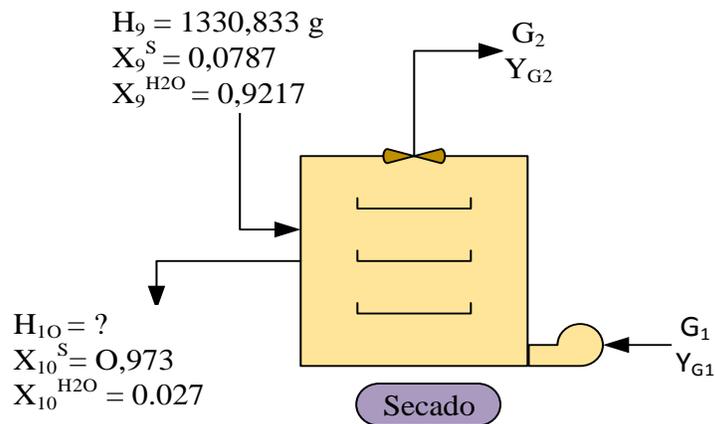
$$W_3^L = \frac{L_3 * 100}{H_8}$$

$$W_3^L = \frac{197,161 \text{ g} * 100}{1527,99 \text{ g}}$$

$$W_3^L = 12,90\% \text{ de pérdida en la etapa de escurrido}$$

4.8.7 Balance de materia en la etapa de secado

En la figura 4.35, se muestra la etapa de secado, para lo cual se tomó en cuenta la cantidad de hongo escurrido 1330,833 g con contenido de humedad inicial en base húmeda 92,17% y al final de proceso el contenido de humedad final del hongo es 2,70%; las determinaciones del contenido de humedad fueron realizadas en el laboratorio CEANID (Anexo A).



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.35 Etapa de secado

- Balance de materia global en la etapa de secado, se tomó en cuenta la ecuación 4.21 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$H_9 + G_1 = H_{10} + G_2 \quad \text{Ecuación 4.21}$$

- Balance de materia por componente sólido en la etapa de secado

$$H_9 X_9^S = H_{10} X_{10}^S \quad \text{Ecuación 4.22}$$

- Despejando H_{10} de la ecuación 4.22 se obtiene:

$$H_{10} = \frac{H_9 X_9^S}{X_{10}^S}$$

$$H_{10} = \frac{1330,833 * 0,0783}{0,973}$$

$$H_{10} = 107,095 \text{ g de hongo comestible seco.}$$

- Balance parcial de materia en base seca en la etapa de secado; por tanto se tomó en cuenta la ecuación 4.23 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$H_9 X_9 + G_1 Y_{G1} = H_{10} X_{10} + G_2 Y_{G2} \quad \text{Ecuación 4.23}$$

- Donde las variables:

$G_1 = G_2 = G =$ Caudal másico del aire (kg aire seco/h)

$H_9 = H_{10} = H =$ Caudal másico de producto (kg sólido seco/h)

$X =$ Humedad del producto (kg agua/kg sólido seco)

$Y =$ Humedad del aire (kg agua/ kg aire seco)

- Reemplazando variable en la ecuación 4.23 se obtiene:

$$HX_9 + GY_{G1} = HX_{10} + GY_{G2} \quad \text{Ecuación 4.24}$$

- Dividiendo a la ecuación 4.24 entre H se obtiene:

$$X_9 + GY_{G1}/H = X_{10} + GY_{G2}/H \quad \text{Ecuación 4.25}$$

- Ordenando la ecuación 4.24 se obtiene:

$$GY_{G2}/H - GY_{G1}/H = X_9 - X_{10} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

- factorizando G/H de la ecuación 4.26 se obtiene:

$$G = \frac{(X_9 - X_{10}) * H}{Y_{G2} - Y_{G1}} \quad \text{Ecuación 4.27}$$

- El contenido de humedad en base seca del hongo escurrido en la etapa de secado, se determinó según la ecuación 4.28 (Singh & Heldman, 2009).

$$HBS = \frac{X_{\text{agua}}}{X_{\text{sólido seco}}} \quad \text{Ecuación 4.28}$$

- A partir de la ecuación 4.28 se calcula la humedad inicial en base seca en la etapa de secado.

$$X_9 = \frac{0,9217}{0,0787}$$

$$X_9 = 11,716 \text{ g agua/g sólido seco}$$

- Para calcular el contenido de humedad en base seca al final del proceso de secado se tomó en cuenta la ecuación 4.28.

$$X_{10} = \frac{0,0270}{0,973}$$

$$X_{10} = 0,02774 \text{ kg agua/kg sólido seco}$$

Según (Mazzinghi, 2012) la altura de la ciudad de Tarija es de 1866 msnm; por tanto, los datos fueron introducidos en el software Psicrom 1.0 de psicrometría y los

resultados se muestran en la tabla 4.24 en base a temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del secador de bandejas.

Tabla 4.24

Propiedades psicométricas del aire

Propiedades	Aire frío	Aire saturado
TBS (°C)	17,83	39,62
TBH (°C)	13,23	25,87
HR (%)	62,50	36,46
Y (g agua/kg aire seco)	10,04	21,00
PVP (kpa)	1,28	2,63

Fuente: Elaboración propia

Donde:

PVP = Presión parcial de vapor de agua

Y = Humedad absoluta (g de agua/kg aire seco)

TBS= Temperatura de bulbo seco (°C)

- Para una cantidad de hongo comestible escurrido de 1330,883 g la relación de cantidad de materia seca (H) del hongo troceado es 104.208 g.
- Por lo tanto, para calcular la cantidad de masa de aire seco se utilizó la ecuación 4.27.

$$G = \frac{(11,716 - 0,0277) \text{ g agua /g sólido seco} * 104,208 \text{ g sólido seco}}{(21,00 - 10,04) \text{ g agua/kg aire seco}}$$

$$G = 111,13 \text{ kg de aire seco}$$

- Para calcular la masa de agua evaporada, se tomó en cuenta la ecuación 4.29 citada por (Valiente, 1994).

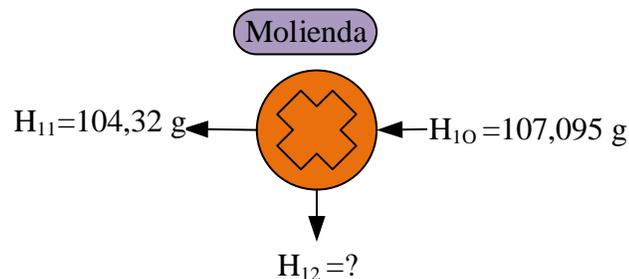
$$AE = (X_9 - X_{10}) * H \quad \text{Ecuación 4.29}$$

$$AE = (11,716 - 0,0277) \text{ g agua /g sólido seco} * 104,208 \text{ sólido seco}$$

$$AE = 1218,014 \text{ g agua evaporada}$$

4.8.8 Balance de materia para la etapa de molienda

En la figura 4.36, se muestra el balance de materia en el proceso de molienda para la cual se realizó con 105,095 g de hongo comestible seco; Por tanto, una vez terminado el proceso se obtuvo un producto de 104,32 g.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.36 Etapa de molienda

- Balance general de materia en la etapa de molienda

$$H_{10} = H_{11} + H_{12} \quad \text{Ecuación 4.30}$$

- Despejando H_{11} de la ecuación 4.30 se obtiene:

$$H_{12} = H_{10} - H_{11}$$

$$H_{12} = 107,095 \text{ g} - 104,32 \text{ g}$$

$$H_{12} = 2,778 \text{ g de pérdida en la etapa de molienda}$$

- Porcentaje de pérdida en la etapa de molienda:

$$H_{12} = \frac{H_{10} * X_{12}}{100}$$

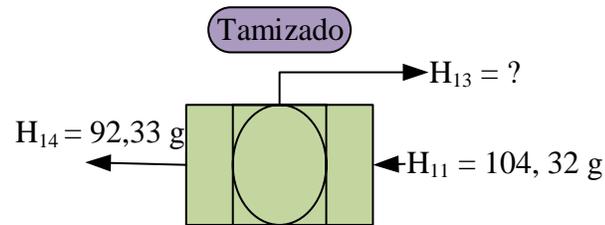
$$X_{12} = \frac{H_{12} * 100}{H_{10}}$$

$$X_{12} = \frac{2,778 \text{ g} * 100}{107,095 \text{ g}}$$

$$X_{12} = 2,59 \% \text{ de pérdida en la etapa de molienda}$$

4.8.9 Balance de materia en la etapa de tamizado

En la figura 4.37 se muestra el balance de materia en la etapa de tamizado, para tal efecto se realizó con 104,32 g de hongo seco que paso por el proceso de molienda y al final de la etapa de tamizado se obtuvo 92,33 g de hongo comestible seco en polvo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.37 Etapa de tamizado

- Balance general de materia en la etapa de tamizado.

$$H_{11} = H_{14} + H_{13} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

- Despejando H_{13} de la ecuación 4.31 se obtiene:

$$H_{13} = H_{11} - H_{14}$$

$$H_{13} = 104,32 \text{ g} - 92,33 \text{ g}$$

$H_{13} = 11,99 \text{ g}$ de hongo comestible seco que vuelve al proceso de molienda

- Porcentaje de hongo comestible seco que vuelve al proceso de molienda.

$$H_{13} = \frac{H_{11} X_{13}}{100}$$

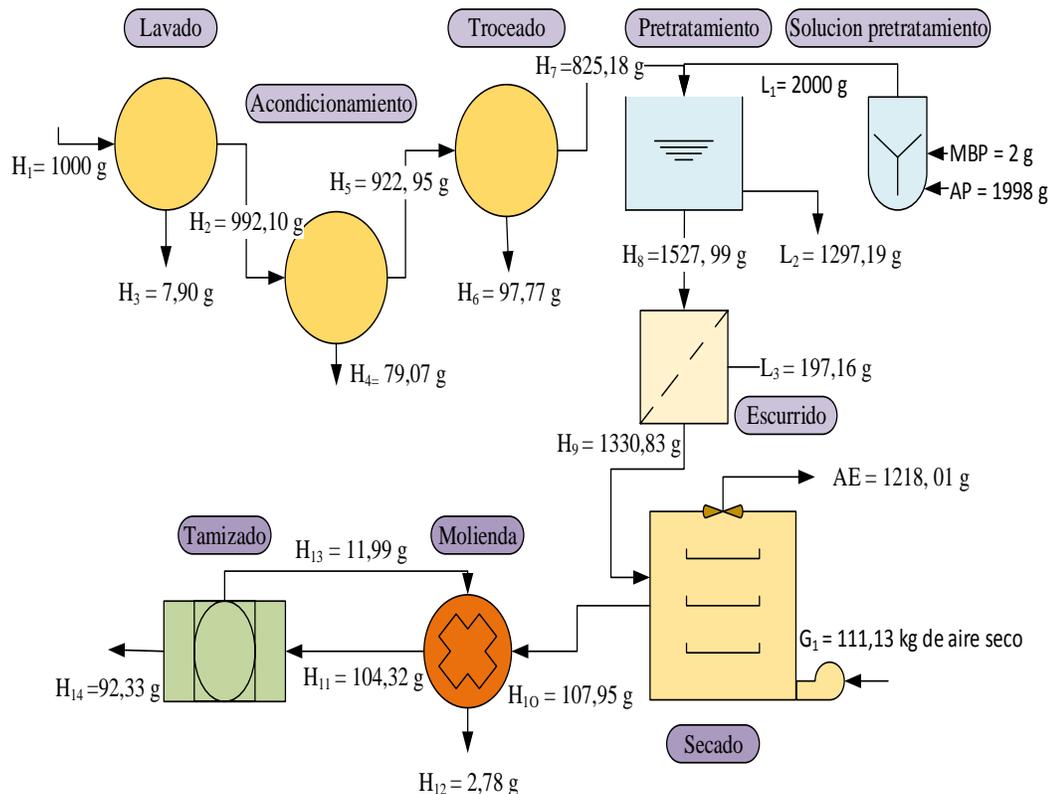
$$X_{13} = \frac{H_{13} * 100}{H_{11}}$$

$$X_{13} = \frac{11,99 \text{ g} * 100}{104,32 \text{ g}}$$

$X_{13} = 11,49\%$ de hongo comestible que vuelve al proceso de molienda

4.9 Resumen general de balance de materia en el proceso de obtención de hongo comestible seco en polvo

En la figura 4.38 se muestra el resumen general del balance de materia para la obtención de hongo comestible seco en polvo.



Fuente: Elaboración propia

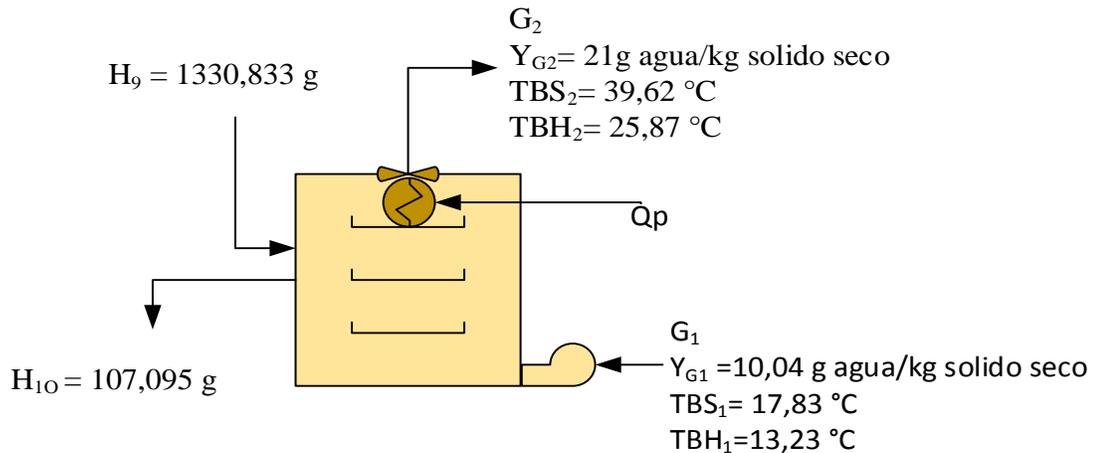
Figura 4.38 Resumen general del balance de materia para la obtención de hongo comestible seco en polvo

4.10 Balance de energía en el proceso de obtención de hongo comestible seco en polvo

El balance de energía se realizó en el proceso de secado de las muestras pre tratadas con la solución de metabisulfito de potasio al 0,1%, tomando en cuenta los factores temperatura (55°C), tipo de corte (1,0 cm) y velocidad del aire (3,0 m/s).

4.10.1 Balance de energía en la etapa de secado

En la figura 4.39, se muestra el balance de energía para muestra troceadas y pre tratadas de hongo comestible.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.39 Balance de energía para muestra troceadas y pre tratadas de hongo comestible

Balance combinado de materia y energía en el proceso de secado, se describe en la ecuación 4.32, según (Singh & Heldman, 2009).

$$H_9 E_9 + G_1 E_{G1} + Q_p = H_{10} E_{10} + G_2 E_{G2} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

Donde las variables:

$G_1 = G_2 = G =$ Caudal másico del aire (kg aire seco/h)

$H_9 = H_{10} = H =$ Caudal másico de producto (kg sólido seco/h)

$E_9 = E_{10} =$ Entalpia del producto (kJ/kg sólido seco)

$E_{G1} = E_{G2} =$ entalpia del aire (kJ/ kg aire seco)

$Q_p =$ Calor aportado al sistema (Kj)

Reemplazando variables en la ecuación 4.32, se obtiene

$$HE_9 + GE_{G1} + Q_p = HE_{10} + GE_{G2} \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Despejando Q_p de la ecuación 4.33 se obtiene:

$$Q_p = HE_{10} + GE_{G2} - HE_9 - GE_{G1} \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Ordenando las variables de la ecuación 4.34 se obtiene:

$$Q_p = G(E_{G2} - E_{G1}) + H(E_{10} - E_9) \quad \text{Ecuación 4.35}$$

Para calcular la entalpia del aire, se tomó en cuenta la ecuación 4.36 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$E_a = C_s (T_a - T_0) + YH_L \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Donde:

C_s = Calor húmedo (kJ/kg de aire seco °C)

T_a = Temperatura del aire (°C)

T_0 = Temperatura de referencia

Y = Humedad absoluta (g agua/ kg de aire seco)

H_L = Calor latente de evaporización del agua (kJ/kg de agua)

Para calcular el calor húmedo del aire, se tomó en cuenta la ecuación 4.37 citada por (Singh & Heldman, 2009), donde: calor específico del aire seco es 1,005 (kJ/kg aire seco °C) y el calor específico para el agua 1,88 (kJ/kg agua °C)

$$C_s = 1,005 + 1,88 Y \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Remplazando la ecuación 4.37 en la 4.36 se obtiene:

$$E_a = (1,005 + 1,88 Y)(T_a - T_0) + YH_L \quad \text{Ecuación 4.38}$$

Ajustando los datos de la ecuación 4.38 a presión de la ciudad Tarija (610 mmHg), se obtiene que calor específico del aire seco es 0,81 (kJ/kg aire seco °C) y el calor específico para el agua 1,51 (kJ/kg agua °C) y por tanto se obtiene la ecuación 4.39.

$$E_a = (0,81 + 1,51 Y)(T_a - T_0) + YH_L \quad \text{Ecuación 4.39}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.39 para determinar la entalpia de aire a la entrada del secador.

Donde:

$H_L = 2460,5$ kJ/kg de agua a $17,83$ °C de la tabla F.1 (Anexo F)

$Y_{G1} = 0,0104$ kg agua/ kg de aire seco

$T = 17,83$ °C

$T_0 = 0$ °C

Ajustando el valor H_L ($2460,5$ kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (610 mmHg) se obtiene que el valor ajustado es $1974,88$ kJ/kg de agua a $17,83$ °C.

$$E_{G1} = (0,81 \text{ kJ/kg} + (1,51 \text{ kJ/kg} * 0,0104 \text{ kg/kg})) (17,83 - 0) + (0,0104 \text{ kg/kg} * 1974,88 \text{ kJ/kg})$$

$$E_{G1} = 35,26 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4.39 para determinar la entalpia de aire a la salida del secador.

Dónde:

$H_L = 2406,0$ kJ/kg de agua a $39,62$ °C de la tabla F.1 (Anexo F)

$Y_{G2} = 0,021$ kg agua/ kg de aire seco

$T_{G2} = 32,69$ °C

$T_0 = 0$ °C

Ajustando el valor H_L ($2406,0$ kJ/kg) a presión atmosférica de la ciudad de Tarija (610 mmHg) se obtiene que el valor ajustado es $1931,13$ kJ/kg de agua a $39,62$ °C

$$E_{G2} = (0,81 \text{ kJ/kg} + (1,51 \text{ kJ/kg} * 0,021 \text{ kg/kg})) (39,62 - 0) + (0,021 \text{ kg/kg} * 1931,13 \text{ kJ/kg})$$

$$E_{G2} = 73,90 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

Para calcular la entalpia del producto, se tiene la ecuación 4.40.

$$E_P = C_P(T_P - T_0) + X_P C_{PX}(T_P - T_0) \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Donde:

C_p = Calor específico del producto (kJ/kg °C)

T_p = Temperatura del producto (°C)

X_p = humedad del producto (kg agua/ kg sólido seco)

C_{px} = Calor específico del agua (kJ/ kg agua °C)

Para calcular el calor específico de cualquier tipo de alimento, se tiene la ecuación 4.41 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_{p_p} = X_c * C_{p_c} + X_p * C_{p_p} + X_f * C_{p_f} + X_a * C_{p_a} + X_w * C_{p_w} \quad \text{Ecuación 4.41}$$

Donde:

$C_{p_c} = 1,424$ (kJ/kg °C) = calor específico de los carbohidratos

$C_{p_p} = 1,549$ (kJ/kg °C) = calor específico de las proteínas

$C_{p_f} = 1,675$ (kJ/kg °C) = calor específico de las grasas

$C_{p_a} = 0,837$ (kJ/kg °C) = calor específico de las cenizas

$C_{p_w} = 4,187$ (kJ/kg °C) = calor específico del agua

X_c = Fracción másica de los carbohidratos

X_p = Fracción másica de la proteína

X_f = Fracción másica de las grasas

X_a = Fracción másica de las cenizas

X_w = Fracción másica del agua

Reemplazando valores en la ecuación 4.41 se obtiene:

$$C_{p_p} = X_c * 1,424 + X_p * 1,549 + X_f * 1,675 + X_a * 0,837 + X_w * 4,187 \quad \text{Ecuación 4.42}$$

Para calcular el calor específico del hongo comestible se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.25 de datos extraídos de la tabla 4.2.

Tabla 4.25**Datos de la composición fisicoquímica del hongo comestible**

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	X _c	0,0804
Proteína	X _p	0,0366
Grasa	X _f	0,0024
Ceniza	X _a	0,0103
Humedad	X _w	0,9217

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, reemplazando datos de la tabla 4.25 en la ecuación 4.42 se obtiene:

$$C_{p_{H9}} = 0,0804 * 1,424 + 0,0366 * 1,549 + 0,0024 * 1,675 + 0,0103 * 0,837 + 0,9217 * 4,18$$

$$C_{p_{H9}} = 4,043 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

A partir de la ecuación 4.40, reemplazando datos se obtiene la entalpia de la muestra del hongo a la entrada del secador:

$$E_{H9} = C_{H9}(T_{H9} - T_0) + X_{H9}C_{PX}(T_{H9} - T_0)$$

$$E_{H9} = 4,043 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(17,83-0)^\circ\text{C} + 11,716 \text{ kg/kg} * 4,187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(17,83-0)^\circ\text{C}$$

$$E_{H9} = 879,498 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Para calcular el calor específico del hongo comestible seco en polvo se tomó en cuenta los datos de la tabla 4.26, de datos extraídos de la tabla 4.22.

Tabla 4.26**Datos de la composición fisicoquímica del hongo comestible seco**

Componentes	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	X _c	0,6258
Proteína	X _p	0,2646
Grasa	X _f	0,0138
Ceniza	X _a	0,0688
Humedad	X _w	0,0270

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, reemplazando datos de la tabla 4.26 en la ecuación 4.42 se obtiene:

$$C_{p_{H10}} = 0,6258 * 1,424 + 0,2646 * 1,549 + 0,0138 * 1,675 + 0,0688 * 0,837 + 0,0270 * 4,187$$

$$C_{p_{H10}} = 1,495 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, a partir de la ecuación 4.40, reemplazando datos se obtiene la entalpia del hongo comestible seco a la salida del secador:

$$E_{H10} = C_{H10}(T_{H10} - T_O) + X_{H10}C_{PX}(T_{H10} - T_O)$$

$$E_{H10}=1,495\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}(39,62-0)^\circ\text{C}+0,02774 \text{ kg/kg}\cdot 4,187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}(39,62-0)^\circ\text{C}$$

$$E_{H10}=88,662 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

Tenemos los siguientes datos:

$$E_{H10}=88,662 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$E_{H9}= 879,498 \text{ kJ/kg sólido seco}$$

$$E_{G2}= 73,90 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$E_{G1}= 35,26 \text{ kJ/kg de aire seco}$$

$$G = 111,13 \text{ kg de aire seco}$$

$$H= 104.208 \text{ g} = 0,1042 \text{ kg sólido seco}$$

Reemplazando datos en la ecuación 4,35 se obtiene:

$$Q_p=111,13 \text{ kg}(73,90 \text{ kJ/kg}-35,26 \text{ kJ/kg})+0,1042\text{kg}(88,662 \text{ kJ/kg} -879,498 \text{ kJ/kg})$$

$$Q_p= 4208,248 \text{ Kj}$$

$$Q_p= 1005,79 \text{ Kcal}$$

El calor necesario para el proceso de secado de las muestras de hongo comestible es de 1005,79 Kcal para una cantidad de 1000 g.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Para el presente trabajo experimental de obtención de hongo comestible seco en polvo y según datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- En base a los resultados de las propiedades físicas determinadas del hongo comestible se tiene que la altura promedio 7,23 cm; diámetro promedio del sombrero 5,09 cm.; diámetro promedio pie 1,01 cm.; peso promedio 115,09 g; porción comestible 92,03% y una porción no comestible 7,97%.
- En base a los resultados fisicoquímicos 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 82,4 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 $1,0 \times 10^1$ UFC/g; Escherichia coli $1,0 \times 10^1$ UFC/g; Mohos y levaduras $1,9 \times 10^5$ 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.
- Aplicado el diseño factorial 2^3 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.
- En base a los resultados de análisis fisicoquímico del producto terminado (hongo comestible seco en polvo) 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.

- Según análisis microbiológicos realizados producto terminado (hongo comestible seco en polvo) se tiene que Coliformes totales $6,8 \times 10^4$ UFC/g; Escherichia coli $1,0 \times 10^1$ UFC/g; Mohos y levaduras $1,9 \times 10^4$ 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.
- En base al balance de materia-energía se determinó que la cantidad de calor necesario para secar muestras del hongo comestible troceados con pretratamiento de 92,17% de humedad inicial hasta 2,70 % de humedad final, es de 1005, 79 Kcal.

5.2 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda la implementación de una planta piloto para la obtención de hongo comestible seco en polvo en la provincia cercado, con la finalidad de contribuir al desarrollo agroindustrial de la ciudad de Tarija.
- ❖ Se recomienda un estudio experimental con otros tipos de hongos comestibles de la región; como ser el champiñón y el hongo sol, los cuales se cultivan en la ciudad de Tarija y contienen propiedades beneficiosas para la salud de las personas.
- ❖ Incentivar su cultivo del hongo comestible a nivel local, debido a que se pueden cultivar en desechos agroindustriales como ser bagazos, cascarillas, pulpas y otros desechos con el fin de reducir la contaminación local; por tanto, mediante un proceso de biotransformación ecológica transformarlos en alimento.