

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO EN
LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE JENGIBRE
(*Zingiber officinale*) VARIEDAD AMARILLO JAMAQUINO
ECOTIPO DE JUNÍN

TESIS

Presentada por:

Bach. EMILIANA LIMACHE CALISAYA

Para optar el título de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Tacna – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

Influencia de la temperatura y tiempo de secado en la extracción del aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*) variedad amarillo jamaiquino ecotipo de junín

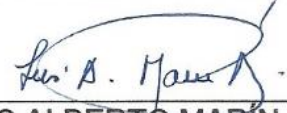
SUSTENTADA Y APROBADA EL MARTES 08 DE AGOSTO DEL 2017
SIENDO EL JURADO CALIFICADOR

Jurados:

Presidente : 
Dra. LILIANA DEL CARMEN LANCHIPA BERGAMINI

Secretario : 
MSc. MARCIAL ALFREDO CASTILLO COHAÍLA

Vocal : 
Ing. AMELIA ELENA CASTRO GAMERO

Asesor : 
MSc. LUIS ALBERTO MARÍN ALIAGA

DEDICATORIA

*A Dios, a mi madre Sra Marta
Calisaya Vda de Limache y amigos que
siempre me demostraron su amor y
apoyo incondicional.*

AGRADECIMIENTO

A todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron en el ámbito profesional y personal; con sus conocimientos, consejos y experiencias para seguir adelante.

En especial a aquellos docentes de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias que supieron brindar sus enseñanzas y contribuir positivamente con mi persona.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación y sistematización del problema	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Delimitación de la investigación.....	5
1.4 Justificación	5
1.5 Limitaciones.....	7
1.6 Objetivos.....	7
1.6.1 Objetivo general.....	7
1.6.2 Objetivos específicos	7
CAPÍTULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	8
2.1 Hipótesis general y específicas	8
2.1.1 Hipótesis general.....	8
2.1.2 Hipótesis específicas.....	8
2.2 Diagrama de variables	8
2.3 Indicadores de las variables	9

2.4	Operacionalización de variables	10
CAPÍTULO III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA		11
3.1	Conceptos generales y definiciones	11
3.1.1	Aceite esencial	11
3.1.2	Tipos de destilación.....	12
3.1.3	Principios activos.....	13
3.1.4	Rizomas	14
3.2	Enfoques teórico- técnicos.....	15
3.2.1	El jengibre	15
3.2.2	El jengibre en el Perú	16
3.2.3	El proceso de secado.....	17
3.2.4	Factores que intervienen en el proceso de secado.....	18
3.2.5	Secadores por convección	19
3.2.6	Parámetros y medidas en el análisis sensorial	21
3.2.7	Índice de refracción.....	23
3.3	Marco referencial	25
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		30
4.1	Tipo de investigación	30
4.2	Población y muestra	30
4.3	Materiales y métodos.....	31
4.3.1	Método experimental.....	31

4.3.2	Materiales y equipos	36
4.3.3	Métodos de análisis.....	38
4.3.4	Análisis de datos	41
CAPÍTULO V. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS.....		43
5.1	Resultados.....	43
5.1.1	Composición proximal	43
5.1.2	Rendimiento	45
5.1.3	Índice de refracción.....	48
5.1.4	Aceptabilidad del olor	52
5.1.5	Aceptabilidad del sabor	55
5.1.6	Determinación del tratamiento óptimo (optimización).....	59
5.1.7	Flujo definitivo	63
5.2	Discusiones de resultados	64
CONCLUSIONES		69
RECOMENDACIONES.....		70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		71
ANEXOS.....		76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de causa y efecto para las variables en estudio.....	9
Figura 2. Planta y rizomas de jengibre (<i>Zingiber officinale</i>)	15
Figura 3. Secador de bandeja.....	20
Figura 4. Diseño experimental para el estudio de la extracción del aceite esencial de jengibre.....	32
Figura 5. Jengibre	33
Figura 6. Jengibre cortado en láminas.....	34
Figura 7. Equipo secador adaptado con línea de recirculación de aire caliente.....	35
Figura 8. Pesado de jengibre seco, cortado y molido	35
Figura 9. Extracción del aceite esencial del jengibre	36
Figura 10. Muestras de aceite esencial extraído, codificadas según condiciones de secado del rizoma de jengibre	40
Figura 11. Análisis sensorial de las muestras de aceite esencial través de una salsa chimichurri.....	41
Figura 12. Comparación de los lípidos y los demás componentes nutricionales del rizoma de jengibre.....	44
Figura 13. Gráfico de Pareto sobre el rendimiento	46

Figura 14. Superficie de respuesta para el rendimiento en la extracción de aceite esencial de jengibre	48
Figura 15. Gráfico de Pareto sobre el índice de refracción.....	50
Figura 16. Superficie de respuesta para el índice de refracción del aceite esencial de jengibre	51
Figura 17. Gráfico de Pareto sobre la aceptabilidad del olor	53
Figura 18. Superficie de respuesta para la aceptabilidad sensorial del olor aceite esencial de jengibre	55
Figura 19. Gráfico de Pareto sobre la aceptabilidad del sabor	57
Figura 20. Superficie de respuesta para la aceptabilidad sensorial del sabor aceite esencial de jengibre	59
Figura 21. Curvas de nivel para la solución 1 de optimización del secado del jengibre	62
Figura 22. Curvas de nivel para la solución 2 en la optimización del secado del jengibre	63
Figura 23. Flujo definitivo en operación de secado de las rodajas de rizomas	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables del estudio de tipo experimental.....	10
Tabla 2. Niveles de las variables independientes	30
Tabla 3. Tratamientos para el proceso de secado del jengibre según diseño centrado en las caras en niveles codificados y reales.....	31
Tabla 4. Resultados del análisis proximal de la materia prima (rizoma de jengibre fresco)	43
Tabla 5. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para el rendimiento del aceite esencial de jengibre	45
Tabla 6. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para la variable índice de refracción IR del aceite esencial de jengibre	49
Tabla 7. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para la variable aceptabilidad del olor del aceite esencial de jengibre.....	52

Tabla 8. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para la variable aceptabilidad del sabor del aceite esencial de jengibre.....	56
Tabla 9. Solución numérica para la optimización del proceso de secado de los rizomas de jengibre.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha de cata hedónica estructurada	76
Anexo 2. Análisis del rendimiento	77
Anexo 3. Análisis del índice de refracción	78
Anexo 4. Análisis del olor.....	79
Anexo 5. Análisis del sabor.....	80
Anexo 6. Especificaciones técnicas del deshidratador	81

RESUMEN

El presente trabajo evaluó la influencia de la temperatura y tiempo de secado en la extracción del aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*) variedad amarillo jamaicano ecotipo de Junín. Se utilizó el diseño central compuesto centrado en las caras con 11 tratamientos. Los rizomas de jengibre se cortaron en rodajas, secaron, molieron y finalmente en destilación por arrastre de vapor se obtuvieron los aceites. Aplicando la metodología de superficie de respuesta, se determinó que el modelo que explica la influencia de la temperatura y tiempo de secado sobre el rendimiento del aceite esencial fue significativa (p valor $\leq 0,05$), con una región de mayor rendimiento de 10 horas y a temperaturas de secado menores a 65 °C. La influencia sobre el índice de refracción no fue significativa (p valor $> 0,05$) y se concluye que es un aceite puro en un rango de 1,479 a 1,485. La influencia sobre el olor fue significativa (p-valor $< 0,05$), sin embargo, no fue significativa sobre el sabor (p-valor $> 0,05$). La optimización múltiple determinó que el proceso óptimo de secado de jengibre fue de 64,72 °C de temperatura y 10 horas, con un rendimiento 0,00977 ml/g b.s, aceptabilidad del sabor 6,566 y del olor 6,529 con índice de refracción 1,48346; con un valor de deseabilidad de 0,751.

Palabras claves: rizomas, aceite esencial, optimización múltiple.

ABSTRACT

The present work evaluated the influence of temperature and drying time on the extraction of the essential oil of ginger (*Zingiber officinale*), a yellow Jamaican variety from Junín. The central composite centered design was used with 11 treatments. The ginger rhizomes were cut into slices, dried, ground and finally in steam distillation the oils were obtained. Applying the response surface methodology, it was determined that the model explaining the influence of temperature and drying time on the yield of essential oil was significant (p value <0,05), with a region of higher yield of 10 hours and at drying temperatures below 65 ° C. The influence on the refractive index was not significant (p value >0,05) and it is concluded that it is a pure oil in a range of 1,479 to 1,485. The influence on odor was significant (p-value <0.05), however, it was not significant on taste (p-value >0,05). Multiple optimization determined that the optimal ginger drying process was 64.72 ° C temperature and 10 hours, yielding 0.00977 ml / g bs, flavor acceptability 6.566 and odor 6.529 with refractive index 1,48346; with a desirability value of 0,751.

Key words: rhizomes, essential oil, multiple optimization.

INTRODUCCIÓN

El jengibre, es originario de las zonas tropicales del sureste asiático, exactamente del área Indomalaya al sur de Asia. Naturalizada en Jamaica, África, en las Indias occidentales, México y en la Florida. No se conoce al estado silvestre y su cultivo es muy antiguo, especialmente en China, en Europa fue conocido desde la antigüedad por griegos y romanos. Requiere de un clima tropical húmedo, con precipitaciones superiores a los 2000 l/m² anuales, distribuidas regularmente a lo largo del período vegetativo, con una temperatura superior a los 30° C durante dos tercios del año, humedad de 80% a 95%, y una altitud de 0 a 1500 m.s.n.m. La provisión de sombra favorece su producción, no es muy exigente en cuanto a suelo, aunque produce mejor en un terreno de fácil drenaje, pero rico en materia orgánica, con un pH de 5,5 - 7,0. Así pues, el Perú con su gran riqueza natural cuenta con una serie de microclimas, una de ellas con características similares aptas para el desarrollo de esta especie, la cual se produce ampliamente en el Departamento de Junín (Flores, 2008).

El aceite esencial de jengibre ha logrado una importante presencia en la economía mundial. Chiluiza et al. (2009), afirman que su fraccionamiento permite la generación de una gran variedad de productos como la oleína y

estearina, que son materias primas necesarias para la fabricación de aceite puros y mezclados refinados.

Crece en todas las regiones tropicales del mundo. Las variedades más caras y de mayor calidad generalmente proceden de Australia, India y Jamaica, mientras que las más comercializadas se cultivan en China y Perú.

Ortuño, (2006) afirma que actualmente estamos inmersos en el surgimiento de todo lo relacionado con los productos naturales y los aceites esenciales no son una excepción. Una materia prima como el jengibre que es producido en nuestro país, requiere de un proceso de innovación dándole valor agregado.

En el mercado internacional, el aceite esencial de jengibre es muy cotizado debido a sus múltiples aplicaciones desde producto alimenticio, cosmético y hasta medicinal (Agronegocios Perú, 2014).

CAPÍTULO I.

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El aceite esencial y la oleorresina obtenidas del jengibre son de gran interés para el sector alimenticio y la medicina, debido a diferentes propiedades asociadas a su consumo tales como capacidad antioxidante y anticáncer (Shukla & Singh, 2007) entre otras. Estas características son debidas a algunas sustancias químicas presentes en dicho material vegetal, tales como los gingeroles. Adicionalmente, el aceite esencial de jengibre se compone de otros grupos de sustancias como monoterpenos y sesquiterpenos, responsables de las correspondientes características sensoriales (Gong *et al.*, 2004). El aceite esencial de jengibre es obtenido tradicionalmente por destilación con arrastre de vapor o extracción soxhlet (Vásquez *et al.*, 2001). Estos procesos no son costosos, pero pueden inducir transformaciones de algunos componentes del aceite (degradación térmica y oxidativa); por otra parte, los extractos obtenidos con solventes orgánicos contienen residuos que contaminan los alimentos y las fragancias en los que se empleen.

Sin embargo, de acuerdo a los trabajos realizados por diversos investigadores descritos en los antecedentes se identificó que existe poca información experimental respecto a optimizar el proceso de secado del jengibre, considerando que tanto la temperatura y tiempo de secado puede influir en el rendimiento y calidad del aceite esencial extraído.

1.2 Formulación y sistematización del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo influyen la temperatura y tiempo de secado en la extracción de aceite de esencial de jengibre (*Zingiber officinale*) variedad amarillo jamaiquino ecotipo de Junín?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo es la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el rendimiento del aceite esencial?
- ¿Cómo es la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el índice de refracción del aceite esencial?
- ¿Cómo es la influencia de la temperatura y tiempo de secado en las características sensoriales del aceite esencial?

1.3 Delimitación de la investigación

Considerando que Supo (2012) establece que delimitar el tema de estudio quiere decir construir una valla a la investigación y especificar el alcance de sus conclusiones. Por tanto, en el presente estudio se propone responder al problema planteado con preguntas concretas, la delimitación del estudio está circunscrito a las preguntas específicas planteadas, es decir referidas al proceso de secado y su efecto en el rendimiento, índice de refracción del aceite esencial, así como la aceptabilidad de sus características sensoriales.

1.4 Justificación

Según Hernández et al. (2010), la justificación de la investigación indica el porqué de la investigación exponiendo sus razones.

Vergara, (2009) destaca que el jengibre es uno de los más importantes condimentos o hierbas no solo por su uso gastronómico, sino también por sus propiedades medicinales los cuales se fue descubriendo a través de los años. La industrialización del jengibre, es decir de sus raíces, son varias, desde deshidratación de los rizomas, hasta procesarlo en diferentes formas, algunas como bebidas, jengibre en polvo, confites, galletas, panes y tortas.

La importancia de realizar esta investigación radica en demostrar cómo la temperatura y el tiempo en la etapa de secado del proceso de extracción del aceite esencial de jengibre pueden influir en el rendimiento y características del producto final ya que el sistema de industrialización de cada producto precisa de diferentes combinaciones de temperatura y tiempo, a fin de comparar los resultados obtenidos con el de los antecedentes, finalmente estandarizar el proceso de extracción dando a conocer los parámetros que permitan obtener mejores condiciones del aceite esencial utilizando como materia prima el jengibre procedente únicamente de Junín, comercializado en Tacna y así presentar una alternativa adicional con valor agregado.

Por tanto, se puede decir que una de las razones del presente estudio es porque los parámetros como tiempo, temperatura de secado, etc. deben ser tomados en cuenta con la mayor precisión posible para maximizar el rendimiento, pero sin afectar las características fisicoquímicas y sensoriales propias del aceite esencial. Por ello, el interés de evaluar este proceso de obtención del aceite esencial a través del estudio del secado de los rizomas de jengibre.

1.5 Limitaciones

Las limitaciones encontradas en este proyecto de investigación es que debido a que los laboratorios de la escuela de industrias alimentarias están inhabilitados temporalmente, las extracciones de aceite y análisis fisicoquímicos se realizaron en el laboratorio de química analítica de la FACL y ambiente acondicionado en la ESIA para la prueba sensorial.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en la extracción de aceite de esencial de jengibre (*Zingiber officinale*) variedad amarillo jamaiquino ecotipo de Junín.

1.6.2 Objetivos específicos

- Analizar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el rendimiento del aceite esencial.
- Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el índice de refracción del aceite esencial.
- Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en las características sensoriales del aceite esencial.

CAPÍTULO II.

HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1 Hipótesis general y específicas

2.1.1 Hipótesis general

La temperatura y tiempo de secado influyen significativamente en la extracción de aceite de esencial de jengibre (*Zingiber officinale*) variedad amarillo jamaiquino ecotipo de Junín.

2.1.2 Hipótesis específicas

- La temperatura y tiempo de secado influyen en el rendimiento del aceite esencial.
- La temperatura y tiempo de secado influyen en el índice de refracción del aceite esencial.
- La temperatura y tiempo de secado influyen en las características sensoriales del aceite esencial.

2.2 Diagrama de variables

La Figura 1, muestra el diagrama de las variables para el estudio del proceso de secado para la extracción del aceite esencial de jengibre.

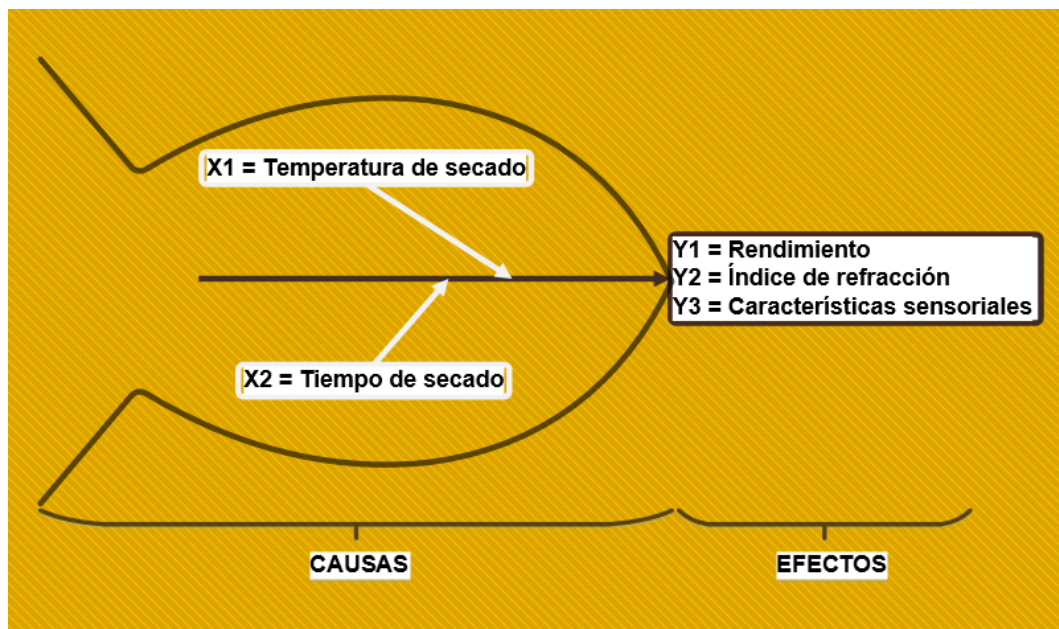


Figura 1. Diagrama de causa y efecto para las variables en estudio
Fuente: elaboración propia (2016)

2.3 Indicadores de las variables

a) Variables independientes

- Temperatura de secado.
- Tiempo de secado.

b) Variables dependientes

- Rendimiento.
- Índice de refracción.
- Características sensoriales (olor y sabor)

2.4 Operacionalización de variables

La tabla 1, muestra las variables y sus unidades y/o valores con los cuales fue posible su medición y operacionalización en las diferentes tomas de datos necesarios en el desarrollo del presente estudio.

Tabla 1. Operacionalización de variables del estudio de tipo experimental

Variables	Indicadores	Valores/ unidades	Instrumento de medición
Independientes:	- Temperatura de secado (°C)	55; 65 y 75 °C	Termómetro y reloj
	- Tiempo de secado (horas)	6, 8 y 10 h	
Dependientes:	- Rendimiento	(ml/g)	Probeta
	Índice de refracción. (adimensional)	--	Refractómetro
	Aceptabilidad de las características sensoriales: olor y sabor.	1 a 9	Escala hedónica

Fuente: elaboración propia (2017)

CAPÍTULO III.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 Conceptos generales y definiciones

3.1.1 Aceite esencial

Los aceites esenciales son compuestos formados por varias sustancias orgánicas volátiles, que pueden ser alcoholes, acetonas, cetonas, éteres, aldehídos, y que se producen y almacenan en los canales secretores de las plantas. Normalmente son líquidos a temperatura ambiente, y por su volatilidad, son extraíbles por destilación en corriente de vapor de agua, aunque existen otros métodos. En general son los responsables del olor de las plantas. Están ampliamente distribuidos en coníferas (pino, abeto), mirtáceas (eucaliptus), rutáceas (*Citrus* spp), compuestas (manzanilla), si bien las plantas con aceites esenciales se ubican principalmente en las familias de las labiadas (menta, lavanda, tomillo, espliego, romero) y las umbelíferas (anís, hinojo). Pueden estar en diferentes órganos: raíz, rizoma (jengibre), leño (alcanfor), hoja (eucaliptus), fruto (anís), sumidades floridas (*F. labiatae*) (Bruneton, 2001).

3.1.2 Tipos de destilación

Los equipos que se destinan para llevar a cabo la destilación son diversos, pero la mayoría de los equipos en la parte superior el vapor se condensa y el producto es llamado destilado. Y los productos residuales son llamados fondos. Existen diferentes arreglos para estos equipos de destilación, entre ellos se encuentran los siguientes:

- Destilación flash: Para el caso de la destilación flash o destilación instantánea el proceso se lleva a cabo en una sola etapa, en la cual la mezcla se evapora parcialmente hasta alcanzar el equilibrio líquido-vapor, después de esto ambas fases se separan. Esta se puede llevar a cabo por lotes o en forma continua (Geankoplis, 1998).
- Destilación diferencial o por lotes: En la destilación diferencial o por lotes, se da de manera discontinua en una sola etapa, en la cual, la concentración del componente más volátil dentro de equipo disminuye y la temperatura aumenta. Se lleva a cabo calentamiento muy lento, sin reflujo, donde el líquido remanente y el vapor se encuentran en el equilibrio, no debe existir enfriamiento o condensación del vapor, antes de llegar al condensador. La descarga del condensado debe retirarse tan pronto este se haya formado (Treybal, 1988).

- Destilación simple con arrastre de vapor: Los líquidos con alto punto de ebullición no se pueden purificar por destilación a presión atmosférica, puesto que los componentes de la mezcla líquida podrían descomponerse a las temperaturas elevadas que se requieren. Con frecuencia, las sustancias de alto punto de ebullición son casi insolubles en agua; entonces, se logra una separación a temperatura más baja por medio de una destilación simple con arrastre de vapor, método que se usa con bastante frecuencia para separar un componente de alto punto de ebullición de cantidades pequeñas de impurezas no volátiles, (Geankoplis, 1998).
- Destilación extractiva: Este tipo de destilación se utiliza cuando las diferencias de volatilidades de las especies a separar son pequeñas requiriendo un número muy elevado de platos de la columna de destilación. También se utiliza reflujo en el plato superior con el fin de minimizar el contenido de agente de separación en el destilado (Henley y Seader, 1990).

3.1.3 Principios activos

Los principios activos son sustancias que se encuentran en las distintas partes u órganos de las plantas y que alteran o modifican el

funcionamiento de órganos y sistemas del cuerpo humano y animal. La investigación científica ha permitido descubrir una variada gama de principios activos, de los cuales los más importantes desde el punto de vista de la salud, son los aceites esenciales, los alcaloides, los glucósidos o heterósidos, los mucílagos y gomas, y los taninos. Existen en las plantas otros principios activos relevantes denominados nutrientes esenciales, como las vitaminas, minerales, aminoácidos, carbohidratos y fibras, azúcares diversos, ácidos orgánicos, lípidos y los antibióticos (Pengelly, 1996).

3.1.4 Rizomas

En Biología, un rizoma es un tallo subterráneo con varias yemas que crecen de forma horizontal emitiendo raíces y brotes herbáceos de sus nudos. Los rizomas crecen indefinidamente. En el curso de los años mueren las partes más viejas pero cada año producen nuevos brotes, pudiendo de ese modo cubrir grandes áreas de terreno. Sus ramas engrosadas suelen presentar entrenudos cortos, tienen catáfilos incoloros y membranáceos, raíces adventicias y yemas (Font, 1982).

3.2 Enfoques teórico- técnicos

3.2.1 El jengibre

Es una planta (Figura 2) originaria de las zonas tropicales del sureste asiático. El nombre original *srīngavera* es un vocablo sánscrito (que significa en forma de cuerno) que pasó al persa como *dzungebir* y a su vez al griego como *dziggibris*, en latín se convirtió en *zingiber* y ya en español como *jengibre*. China y la India son los principales productores seguidos por el norte de Australia, Hawai e Indias Occidentales, aunque el jengibre cultivado en Jamaica se considera el de mejor calidad. Tiene un cálido aroma con una nota fresca a madera y un fondo dulce, con sabor picante y ligeramente amargo (Obando y Quintero, 2009).



Figura 2. Planta y rizomas de jengibre (*Zingiber officinale*)

Fuente: <http://www.elite.cl/como-cultivar-jengibre-en-casa-y-sus-beneficios/>

3.2.2 El jengibre en el Perú

El jengibre o comúnmente llamado en Perú "kión", es una planta de la cual se utiliza el rizoma (tallo subterráneo de la planta), su consumo se realiza en estado fresco cortado en pequeños trozos que es usualmente adicionado en la gastronomía.

En el mercado internacional, el aceite esencial de jengibre es muy cotizado debido a las múltiples aplicaciones que se le puede dar, desde producto alimenticio, cosmético hasta medicinal. El principal demandante de este producto es Estados Unidos con un 74% de la demanda mundial. (Agronegocios Perú, 2014)

Las exportaciones de jengibre (kión) nacional alcanzaron las 832 t durante los ocho primeros meses del 2014 (enero-agosto), según cifras de ADUANAS. En lo referido al periodo, el principal mercado de destino fue Estados Unidos con pedidos por 2,33 millones de dólares; seguido de los Países Bajos con 928,000 dólares. Existen potenciales destinos como Francia, Canadá, España, Colombia y Chile. Como se puede observar existe un incremento de exportaciones de jengibre en Perú, pero hasta la fecha solo se exporta en estado fresco embalado en cajas. No existen registros de exportaciones con valor agregado del jengibre.

3.2.3 El proceso de secado

La gran variedad de alimentos deshidratados que hoy en día están disponibles en el mercado como botanas, fruta deshidratada, sopas, etc., han despertado el interés sobre las especificaciones de calidad y conservación de energía, enfatizando la necesidad del entendimiento de los procesos de secado (Krokida, et al, 2002).

Cuando un sólido húmedo es sometido a un proceso de secado, se presentan dos subprocesos:

- i. Transferencia de energía en forma de calor del ambiente que rodea al sólido para evaporar la humedad de su superficie. Este subproceso depende las condiciones externas de temperatura, humedad y flujo del aire, presión, área de exposición y el tipo de secador empleado (Krokida, et al, 2002).
- ii. Transferencia de la humedad interna del sólido hacia la superficie de éste y su subsecuente evaporación. El movimiento de la humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física del sólido, de su temperatura y su contenido de humedad (Krokida, et al, 2002).

En el proceso de secado, cualquiera de los dos subprocesos descritos puede ser el factor limitante que gobierne la velocidad del secado, a pesar de que ambos subprocesos ocurren simultáneamente durante el ciclo de secado. El comportamiento de los sólidos en el secado, es medido como la pérdida de humedad como una función del tiempo (Krokida, et al, 2002).

3.2.4 Factores que intervienen en el proceso de secado

La velocidad y uniformidad del secado son dos factores importantes que afectan la calidad del proceso, evitan las pérdidas físicas, estructurales, químicas y nutricionales del alimento (Mujumdar, 2000).

Un proceso de secado es adecuado cuando el tiempo en el que se lleva a cabo es el mínimo, utilizando un mínimo de energía, lo cual está estrechamente relacionado con la eficiencia energética del secador empleado. Con respecto a las frutas y vegetales, el secado puede lograr una reducción en volumen de entre 75% a 85%, dependiendo de la porosidad del alimento (Crapiste, 1991).

Por esta razón, la importancia del secado en alimentos representa una disminución en costos a la hora de transportarlos, además de que su manejo es más fácil ya que no es necesario invertir en procesos de

refrigeración o añadir conservadores para mantenerlos, estos alimentos se encuentran en buen estado antes de consumirlos, ya que su vida útil es de al menos de 1 año (Ortiz, 2003).

3.2.5 Secadores por convección

Los secadores cuya transferencia de calor es por convección son utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del sólido. El aire, los gases inertes, el vapor sobrecalentado, o gases de combustión directa pueden ser utilizados en sistemas de secado convectivos (Mujumdar, 2000).

Algunos ejemplos de secadores convectivos o directos son: (Geankoplis, 1998).

- a. Secadores en bandejas o charolas (Figura 3): funciona mediante un ventilador que recircula aire calentado con vapor paralelamente sobre la superficie de las charolas, también puede usar calor eléctrico.
- b. Secadores de túnel: suelen ser compartimientos de bandejas que operan en serie, en donde las bandejas se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. Un ventilador extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera.

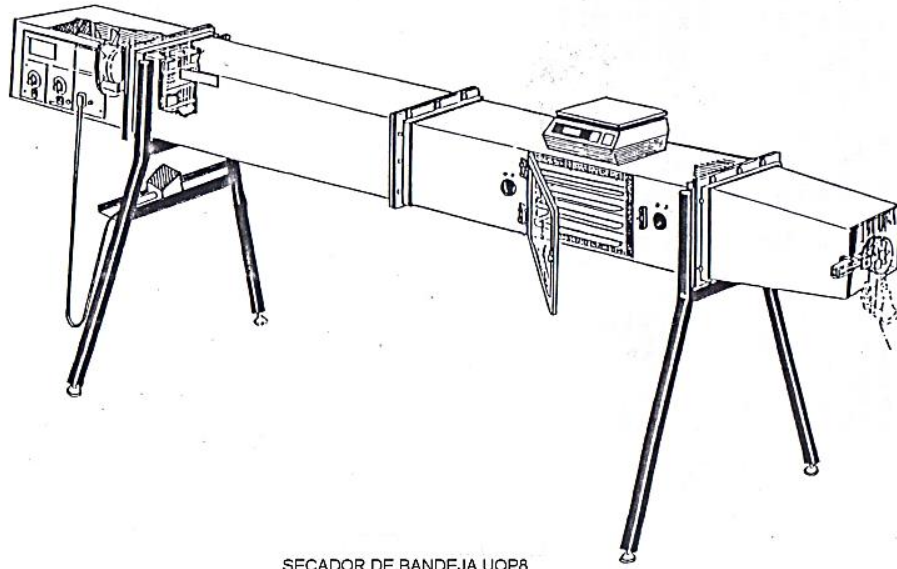


Figura 3. Secador de bandeja

Fuente: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABQ4oAL/manual-secador-bandejas>

- c. Secadores rotatorios: consta de un pequeño cilindro que gira sobre su eje con una ligera inclinación. El calentamiento se lleva por contacto directo de gases caliente mediante un flujo a contracorriente, también puede ser a través de la pared calentada del cilindro.

- d. Secadores por aspersión: un líquido se atomiza o rocía en una corriente de gas caliente para obtener una lluvia de gotas finas. El agua se evapora de dichas gotas con rapidez, y se obtienen partículas secas de sólido que se separan de la corriente de gas. Las partículas obtenidas son porosas y ligeras.

3.2.6 Parámetros y medidas en el análisis sensorial

Etimológicamente, analizar es descomponer y determinar un todo en sus elementos constituyentes, mientras que «evaluar» significa, literalmente, estimar el valor de esos elementos. Mediante una propiedad física característica del elemento, que presenta diferentes estados con distintos tamaños, se cuantifica su valor. A dicha propiedad física, susceptible de ser evaluada, se le denomina magnitud. La evaluación de una magnitud es crítica para cuantificar las respuestas a los estímulos sensoriales con el fin de poder utilizar la estadística descriptiva e inferencial. En el análisis sensorial ha de entenderse que se trata de describir y medir unas características de los alimentos, así como los efectos que dichas características producen en el individuo consumidor. Debe servir para obtener una lista de caracteres del alimento llamados características organolépticas, es decir, propiedades percibidas por los sentidos. También ha de ser útil para cuantificar esas propiedades organolépticas. Habitualmente, las propiedades organolépticas (olor, color, etc.) se estudian junto con las propiedades físicas (textura, aspecto, color, etc.) y químicas (materia grasa, azúcares, compuestos volátiles, etc.) del alimento en cuestión (Ibáñez y Barcina, 2001).

Las propiedades organolépticas son, pues, independientes del observador y deben ser reconocidas idénticamente, con independencia del observador, pues son propias del objeto y no del sujeto. Aunque el efecto de las propiedades organolépticas sobre el consumidor pertenece al campo de las reacciones personales, puede ser interesante analizar y evaluar sus reacciones ante determinado tipo de productos. Es necesario insistir en la necesidad de reflexionar sobre las preguntas que se han de plantear en una prueba sensorial, así como del vocabulario que se debe emplear: los individuos que intervienen en los pertinentes ensayos sensoriales han de distinguir entre «gusto de» y «gusto por». Un sujeto puede percibir el gusto del azúcar (sensación) y, sin embargo, no tener gusto por un producto azucarado (percepción) (Ibáñez y Barcina, 2001).

3.2.6.1 Escala de intervalo

En la escala de intervalo, a diferencia de la escala ordinal, los valores que se asignan deben respetar las diferencias de intensidad. La escala de temperaturas (Celsius o Fahrenheit) es posiblemente el ejemplo más característico de este tipo de magnitud, donde el valor 0 es arbitrario. Este tipo de escala es utilizada en las pruebas hedónicas, especialmente para la medida de la preferencia o la aceptación de un producto bajo la forma de escala de 9 puntos con los extremos en 1 (extremadamente desagradable)

y en 9 (altamente agradable) y el punto neutro en 5 (ni agradable ni desagradable). La escala hedónica es simple de describir e, igualmente, fácil de usar. Esta última característica es la principal razón por la que se usa en la evaluación de la aceptación o rechazo de todo tipo de alimentos y, en general, de cualquier producto de consumo. Para el tratamiento matemático de los datos, las respuestas pueden transformarse en valores numéricos: entre 1, para «altamente desagradable», y 9, para «altamente agradable». Las escalas de intervalos son consideradas como las verdaderas escalas cuantitativas, pudiéndose calcular la mayor parte de los parámetros descriptivos (medias, desviación estándar, etc.) y aplicar los tratamientos estadísticos paramétricos: prueba f, análisis factorial de la varianza, comparaciones múltiples, análisis de regresión, correlación momento-producto, análisis multivariante, etc (Ibáñez y Barcina, 2001).

3.2.7 Índice de refracción

Según Herrera y Andres (2008) se define como el cociente entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción de la luz monocromática al pasar del aire a un medio ópticamente más denso. El índice de refracción depende de la composición de la muestra, la temperatura y la longitud de onda de la radiación utilizada. Generalmente se mide a 20, 25 o 40 °C, tomando como referencia la línea D del sodio

(589 nm), y se realizan como mínimo dos mediciones de donde se toma la media, por lo general con cuatro cifras decimales en un refractómetro de Abbe. Su utilidad radica en casos como la identificación y caracterización de líquidos puros, grasas y aceites, comprobación de la pureza de diversos alimentos.

Asimismo, Gutiérrez (2003), indica que el Índice de refracción de un aceite se define como la razón de la velocidad de la luz en el vacío con respecto a la velocidad de la luz en el aceite evaluado. Normalmente los instrumentos comparan con la velocidad de la luz en el aire en lugar del vacío. El índice de refracción es característico dentro de ciertos límites para cada aceite por lo que es un indicador de pureza del aceite. Este valor está relacionado con el grado de saturación, con la razón cis/trans de los dobles enlaces y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación.

3.3 Marco referencial

En este punto se dan a conocer las investigaciones que han utilizado el jengibre como materia prima para el desarrollo de sus investigaciones y que son referencia para el capítulo de discusión de resultados del presente trabajo.

- Aprovechamiento de las propiedades funcionales del jengibre (*Zingiber officinale*) Acuña y Torres (2010). El jengibre es un rizoma que presenta componentes químicos que aportan beneficios a la salud de quien lo ingiere, estos se conocen como principios aromáticos (α -zingiberene, $\alpha\rho$ -curcumene, (3-bisabotene) presentes en el aceite esencial y los principios pungentes ([6]-gingerol y el [6]-shogaol) presentes en la resina. La unión del aceite esencial y la resina constituyen la oleorresina que se encuentra en un 4-7,5 % en el rizoma. Cuando los rizomas son deshidratados, la disponibilidad de estos principios aumenta, aunque es importante seleccionar las condiciones adecuadas de secado porque estos principios son volátiles a altas temperaturas. Con la finalidad de conocer las características del proceso de secado en el rizoma, se construyeron las curvas de secado a diferentes temperaturas (55°C, 65°C, y 75°C), utilizando una estufa de aire caliente, y se realizó la extracción de la oleorresina del material deshidratado para verificar que

temperatura conservó en mayor grado los principios aromáticos y pungentes del jengibre. En los resultados del porcentaje de extracción, se observó mayor conservación de los principios activos en el secado a 75°C y es interesante destacar que durante los primeros 90 min, se generó mayor pérdida de humedad en contraste con las temperaturas de 65°C y 55°C, siendo estas de 88 %, 83 %, y 78 %, respectivamente. Desde el punto de vista tecnológico y nutricional, los procesos térmicos que están diseñados con altas temperaturas a cortos tiempos, son importantes para evitar pérdidas nutricionales y funcionales por el excesivo calentamiento durante el secado, por esta razón, el proceso de secado se inició a 75°C durante los primeros 90 min, y terminó a 55°C.

- Obtención de extractos de jengibre (*Zingiber officinale*) empleando CO₂ supercrítico. Reyes et al. (2011), el estudio registró los siguientes resultados: Los extractos de jengibre obtenidos por Soxhlet mostraron rendimientos de 1,58 y 2,79% (empleando n-hexano y éter etílico, respectivamente); de acuerdo al análisis por CG-EM de dichos extractos, éstos presentaron residuos de los solventes empleados, lo cual les confirió a cada uno el aroma del solvente respectivo. La mayoría de compuestos identificados en dichos extractos fueron terpenos, lo

cual coincide con los reportes encontrados en literatura. En el extracto Soxhlet se detectó un total de 37 compuestos, de los que se identificaron 22 (52%, porcentaje relativo por normalización de áreas), siendo los mayoritarios decanal, (3-burboneno y linoleato de etilo; por otra parte, se logró detectar 41 constituyentes en el extracto Soxhlet, de los que se identificaron 25 (78%), determinando como mayoritarios al α -zingibereno, β -sesquifelandreno, citral y α -farneseno. De las técnicas evaluadas en la obtención de aceite esencial a partir de rizoma de jengibre (*Z. officinale*), se evidenció que la EFS-1, empleando como solvente (CO₂ SC), presentó los mejores resultados respecto a cantidad y composición de los extractos obtenidos; adicionalmente ésta es una metodología selectiva y amigable con el ambiente que permitió la obtención de extractos libres de solventes. De los parámetros evaluados en las EFS las condiciones experimentales asociadas al mayor rendimiento fueron 40 °C y 17,9 MPa (EFS₂), con un 1,51% en extracto. Sin embargo, los extractos EFS-5 y EFS-6 resultaron muy interesantes por contener cantidades importantes de compuestos con actividad antioxidante y sabor pungente (característico del jengibre), tales como la zingerona y el gingerol.

- En el estudio “Rendimiento y composición química del aceite esencial de *Zingiber officinale* en función del diámetro de partícula” desarrollado por Leyva *et al.* (2007), las conclusiones obtenidas en la investigación son las siguientes: El mayor contenido de aceite de los rizomas de jengibre (0,22%), fue obtenido usando las partículas retenidas en la malla N° 16 ($i = 1$), que representa un diámetro de partícula de 1,67 mm. El rendimiento fue relativamente bajo (0,17 %), cuando se usaron las partículas con diámetro promedio de 3,99 mm. En el presente trabajo se determinó la relación entre el tamaño de partícula de los rizomas del jengibre y el rendimiento de la esencia en la extracción del aceite esencial; a menor tamaño de partícula se puede obtener un mayor rendimiento del aceite. El aceite esencial de los rizomas de *Zingiber officinale* (Zingiberaceae) fue obtenido empleando la hidrodestilación asistida por la radiación de microondas (MWHD) y analizado por GC-MS. El rendimiento y la composición química del aceite fueron determinados usando rizoma con diferentes tamaños de partícula. El aceite se caracterizó por la presencia de neral y geranial (9,7-10,4 % y 11,6-14,0 %, respectivamente), zingibereno (7,7-8,4 %), canfeno (5,4-6,4 %), arcurcumeno (2,8-3,3 %), α -farneseno (3,2-3,6 %), 1,8-cineol geraniol y citronelol. El mayor rendimiento de la esencia se obtuvo usando el menor diámetro de partícula ($D_p = 1,67$ mm).

- Extracción y caracterización de aceite esencial de jengibre (*Zingiber officinale*) Vásquez et al. (2001). La investigación llegó a las siguientes conclusiones: El aceite esencial del jengibre se presenta en forma de líquido bastante móvil, de color verdoso o amarillo, que tiene el olor característico del jengibre, pero no tiene sabor ardiente, por lo que el sabor ardiente de la especia se debería a una serie de sustancias no volátiles presentes en la oleorresina más no en el aceite esencial. Esta oleorresina se acostumbra extraerla mediante solventes orgánicos como la acetona, alcohol o éter, posee color amarillo y sabor muy ardiente. El rendimiento de aceite esencial de jengibre fue de 0,8% en masa, usando la técnica de extracción por arrastre de vapor, y su composición está basada principalmente en sesquiterpenos y monoterpenos. El secado de la materia prima debe realizarse bajo cobertizo y a temperaturas que no pasen de 40 °C, para evitar la pérdida de componentes volátiles. Es necesario realizar una molienda previa de la materia prima para facilitar el proceso de extracción. Para la separación del agua es necesario hacer una decantación y luego congelar el agua remanente. El aceite esencial de jengibre, puede ejercer una acción antimicrobiana sobre algunos microorganismos como el *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus faecalis* (enterococos).

CAPÍTULO IV.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo de investigación

Según Hernández et al (2010) el enfoque es del tipo de investigación cuantitativo pues hace un análisis de causa y efecto. Por tanto, el tipo de diseño aplicado es el experimental verdadero.

4.2 Población y muestra

La investigación al ser de tipo experimental, su población es infinita, y su muestra en estudio son las condiciones experimentales sometidas en el secado del rizoma, que es resultado del planeamiento del diseño estadístico (tratamientos), en la Tabla 2 se muestran sus niveles de investigación de las variables independientes y para establecer el diseño experimental.

Tabla 2. Niveles de las variables independientes

Factores	Unidad	Nivel	Nivel	Nivel
		Inferior (-1)	central 0	Superior (+1)
X1: Temperatura	°C	55	65	75
X2: Tiempo	horas	6	8	10

Fuente: Elaboración propia (2016)

En la Tabla 3 se muestra la distribución de los tratamientos en función a los niveles establecidos y según el diseño central compuesto centrado en las caras que se utilizó para investigar el efecto de las variables de proceso.

Tabla 3. Tratamientos para el proceso de secado del jengibre según diseño centrado en las caras

Tratamiento	X1: Temperatura (°C)	X2: Tiempo (horas)
1	55	6
2	75	6
3	55	10
4	75	10
5	55	8
6	75	8
7	65	6
8	65	10
9	65	8
10	65	8
11	65	8

Fuente: elaboración propia (2016)

4.3 Materiales y métodos

4.3.1 Método experimental

La descripción de las etapas de la extracción de aceite esencial a base de jengibre se muestra en la Figura 4 y se describen las siguientes operaciones y procesos ejecutados:

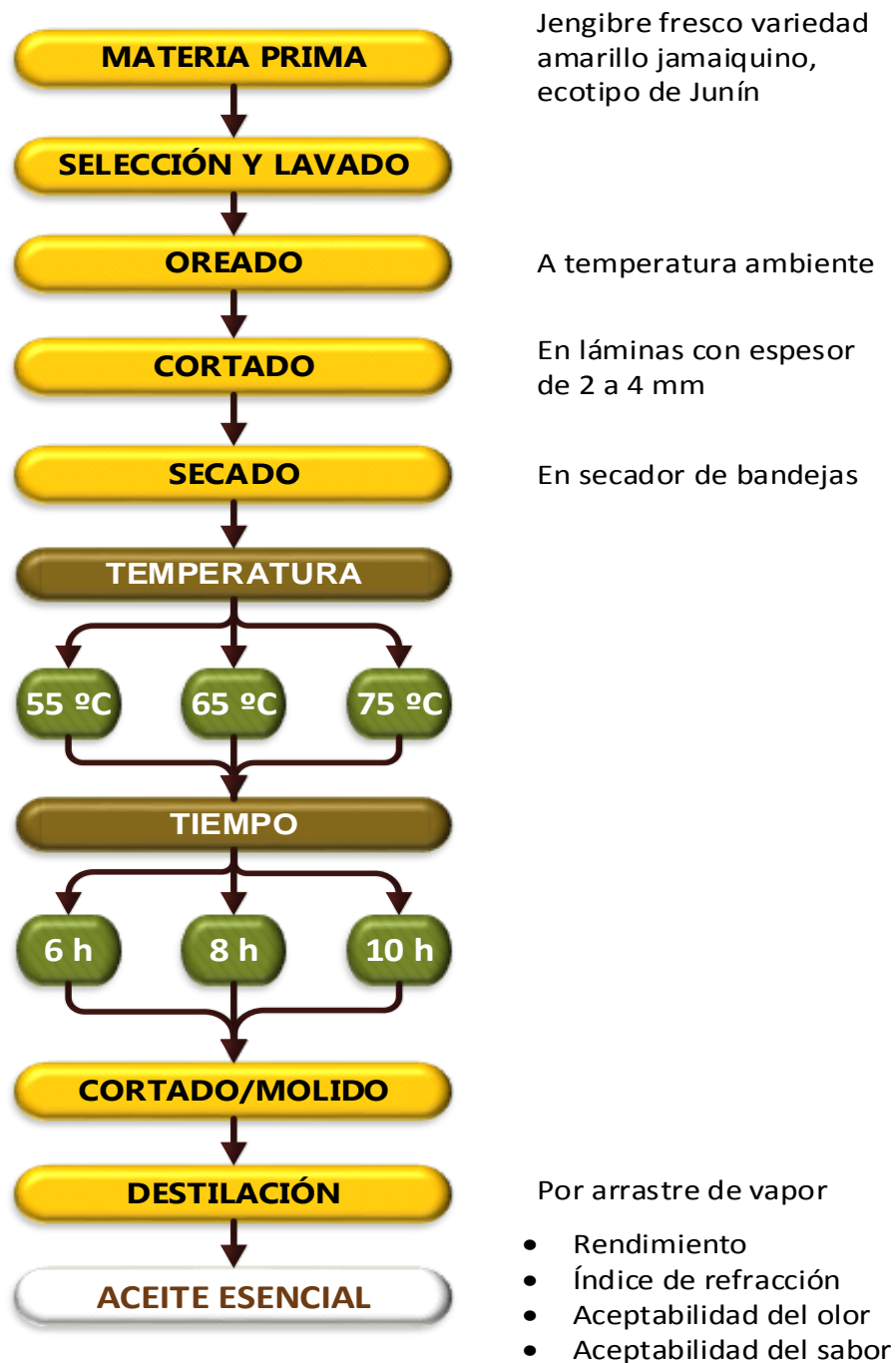


Figura 4. Diseño experimental para el estudio de la extracción del aceite esencial de jengibre
Fuente: Elaboración propia (2014)

- a) Materia prima: se procedió a adquirir jengibre variedad amarillo jamaquino (Figura 5) procedente de Junín, que es la única variedad que se vende en los mercados y centros de abastos de la ciudad de Tacna. Se tomó en cuenta que estén en buen estado y frescos. Se tomó una muestra para realizar la caracterización fisicoquímica que consistió en análisis de: humedad, grasa, fibra, cenizas y proteínas.



Figura 5. Jengibre
Fuente: elaboración propia (2016)

- b) Selección y lavado: se procedió a separar los que hayan sufrido algún daño durante el transporte o almacenamiento antes de su procesamiento, se retiró cualquier tipo de impurezas como raíces o

cuerpos extraños luego se lavaron con agua corriente para retirar cualquier tipo de tierra o polvo.

- c) Oreado: se expuso a temperatura ambiente (22-30°C) por 15 minutos para eliminar el exceso de agua superficial.
- d) Cortado en láminas: Después de la etapa del oreado la materia prima se cortó en láminas con un espesor de 2- 4 mm (Figura 6).



Figura 6. Jengibre cortado en láminas
Fuente: elaboración propia (2016)

- e) Secado: se realizó con el equipo secador de bandejas (Figura 7) aplicando condiciones de tiempo y temperatura establecidas por el diseño experimental a velocidad constante 1,5 m/s.



Figura 7. Equipo secador adaptado con línea de recirculación de aire caliente

Fuente: elaboración propia (2016)

- f) Cortado y/o molido: cada una de las muestras obtenidas después de la etapa del secado se cortaron y molieron para facilitar la extracción.



Figura 8. Pesado de jengibre seco, cortado y molido

Fuente: elaboración propia (2016)

g) Destilación de aceite esencial: cada muestra obtenida de la etapa anterior se sometió a la técnica de arrastre de vapor (Figura 9) para extraer el aceite esencial, este procedimiento se realizó por un tiempo constante de 90 minutos por cada extracción.



Figura 9. Extracción del aceite esencial del jengibre
Fuente: elaboración propia (2016)

4.3.2 Materiales y equipos

- Agua.
- Agua destilada.
- Balanza de pie
- Balanza analítica Metler AJ 150 \pm 0,1 mg de sensibilidad

- Bureta de 50 cm³ graduada de 0,1 cm³.
- Cuchillo.
- Embudo de vidrio.
- Equipo de arrastre de vapor de agua.
- Equipo deshidratador IC106D - Tray Drier - Code 993500.
- Hidróxido de sodio al 0,01 N.
- Manta cielo para filtrar.
- Matraces de Erlenmeyern de 150 ml.
- Matraz de Erlenmeyer de 150 y 250 ml con tapón Pyrex ®.
- Papel filtro.
- Pera de decantación.
- Pipetas volumétricas.
- Pizeta.
- Placas petri.
- Solución buffer de fosfatos (pH).
- Soporte universal.
- Vasos de precipitados de 250 ml Pyrex ®.

4.3.3 Métodos de análisis

- Análisis de la materia prima

Fue realizado con la finalidad de conocer la composición proximal de los rizomas utilizados en la deshidratación:

- a) **Humedad:** Se determinó la pérdida de peso en la muestra al someterse a calentamiento en estufa a 105° C hasta peso constante (Método pérdida de peso A.O.A.C. 1996).
- b) **Lípidos:** El contenido en grasa bruta de un producto se define convencionalmente como la parte del mismo extraíble por éter de petróleo en condiciones determinadas (Método soxhlet, A.O.A.C 1996).
- c) **Proteínas:** El contenido en proteína bruta de un producto es el resultado de multiplicar el contenido de nitrógeno, determinado por el procedimiento Kjeldahl, por un factor de transformación del nitrógeno en proteína (Metodo Kjeldahl, A.O.A.C.1996).
- d) **Fibra cruda:** Tratar la muestra, sin grasa si es necesario, con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido potásico de concentraciones conocidas. Separar el residuo por filtración, lavar, desecar y pesar el residuo insoluble (Método tratamiento ácido-alcalino, A.O.A.C.1996).

- e) **Cenizas:** Residuo obtenido por incineración a una temperatura de $550 \pm 10^{\circ}\text{C}$ hasta combustión completa de la materia orgánica y obtención de un peso constante (Método por calcinación, A.O.A.C. 1996).
- f) **Carbohidratos totales:** La composición proximal de un alimento está compuesto por: humedad, lípidos, proteínas, fibra cruda, cenizas, y carbohidratos totales, por ende, conociendo los 5 componentes anteriores, podemos calcular los carbohidratos por diferencia porcentual.

- **Análisis de los tratamientos**

- a) **Rendimiento:** en extracción de aceite esencial: relación v/p. La cantidad de aceite obtenido de cada muestra fue contabilizado en volumen (Figura 10), y se realizaron los cálculos respectivos para determinar el rendimiento. Los datos obtenidos permitieron realizar los cálculos estadísticos para determinar la influencia en el rendimiento final del aceite.
- b) **Índice de refracción:** se realizó la determinación del índice de refracción mediante el Refractómetro Abbe.



Figura 10. Muestras de aceite esencial extraído, codificadas según condiciones de secado del rizoma de jengibre
Fuente: elaboración propia (2016).

c) Aceptabilidad de las características sensoriales: Preparación de las muestras: Sancho et al (1999), recomiendan que, si los alimentos a ensayar precisan una preparación culinaria, antes del ensayo deben realizarse pruebas preliminares que permitan sistematizar todo el proceso de preparación al objeto de evitar que al realizar la cata haya condiciones dispares. Es decir, deben quedar establecidas las condiciones usuales para su consumo. Por ello el análisis sensorial del aceite esencial de jengibre se realizó a través de un medio, que en este caso fue la salsa chimichurri (Figura 11). Prueba de aceptación

sensorial: olor y sabor con la prueba hedónica según escala estructurada (ver ficha Anexo 1).



Figura 11. Análisis sensorial de las muestras de aceite esencial a través de una salsa chimichurri
Fuente: elaboración propia (2016)

4.3.4 Análisis de datos

El procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera:

- Con los datos correspondientes a los tratamientos ejecutados, se desarrollaron los modelos cuadráticos que relacione las variables en estudio y el grado de significación de dichos modelos ajustados fueron evaluados al 5 % o 0,05 de nivel de significancia (Montgomery, 2004).

- El modelo cuadrático, para ser considerado predictivo y describir determinadas características en la superficie obtenida, debe presentar regresión significativa al nivel de 95 % de confianza, falta de ajuste no significativo en el mismo nivel de confianza y alto valor de R^2 (más próximo a 1 o 100 %) (Larrea, *et al.* 2003).
- Para la optimización se utilizó la función de deseabilidad. Según Sankalia, *et al.* (2004) la aplicación de la función de deseabilidad conjuga todas las respuestas en una medición y ofrece la posibilidad de predecir los niveles óptimos de las variables independientes. Se aplicó el criterio del valor de función deseada (fd) que está en el rango de 0 a 1, y que considera a la combinación más cercana a 1 como el mejor tratamiento. Los autores Granato y Ares (2014) recomiendan considerar como óptima a aquella combinación con valor de deseabilidad mayor a 0,7. Para los cálculos de optimización múltiple se seguirá lo recomendado por Gutiérrez y De la Vara (2008) aplicando el programa estadístico Desig Expert.

CAPÍTULO V. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

5.1 Resultados

5.1.1 Composición proximal

En el análisis proximal del jengibre fresco (Tabla 4), que se muestra a continuación, los resultados obtenidos se contrastan con lo reportado en la literatura (Vázquez, 2001 y Acuña y Torres, 2010), y las diferencias observadas se explican probablemente a consecuencia de la calidad de los suelos o a la diferencia en los métodos de análisis utilizados.

Tabla 4. Resultados del análisis proximal de la materia prima (rizoma de jengibre fresco)

Componente	Estudio	Vázquez (2001)	Acuña y Torres (2010)
Humedad	85,58	85,35	86,5
Proteína	0,806	2,12	1,82
Lípidos	3,40	4,50	2,2
Cenizas	0,772	1,25	1,18
Fibra	0,90	0,74	0,80
Carbohidratos	8,54	6,04	8,30

Fuente: elaboración propia (2016)

Con respecto a la materia prima utilizada, y como se ve en la Figura 12, es evidente que los lípidos no son precisamente el componente mayoritario pues apenas llega al 3,4 % en peso del total del rizoma fresco de jengibre. Además, será el referente al momento de determinar el rendimiento con relación a la cantidad de aceite esencial extraído por el método de arrastre de vapor.

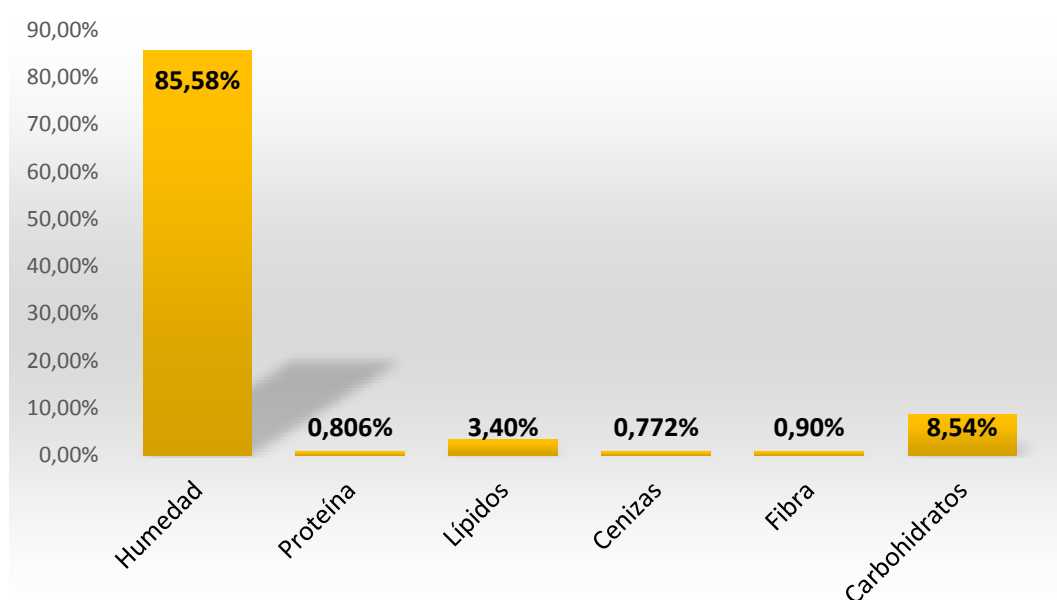


Figura 12. Comparación de los lípidos y los demás componentes nutricionales del rizoma de jengibre
Fuente: elaboración propia (2016)

Considerando los altos porcentajes de humedad del rizoma, es que en el Perú generalmente a nivel industrial se extrae el aceite esencial de jengibre con aplicación previa del proceso de secado, para luego aplicar el proceso de extracción por arrastre de vapor.

5.1.2 Rendimiento

El proceso de extracción consideró como base a los rizomas de jengibre, sometida a secado y extracción por arrastre de vapor. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5 en ml/g de jengibre seco.

Tabla 5. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para el rendimiento del aceite esencial de jengibre

Tratamiento	X1:	X2:	Rendimiento (ml/g)
	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	
1	55	6	0,006029
2	75	6	0,006444
3	55	10	0,010043
4	75	10	0,007595
5	55	8	0,009198
6	75	8	0,006222
7	65	6	0,008333
8	65	10	0,009174
9	65	8	0,008989
10	65	8	0,008791
11	65	8	0,008793

Fuente: Elaboración propia (2016)

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 13) puede observarse que el rendimiento presenta una relación lineal, directa y significativa con respecto al tiempo de secado, sin embargo, también presenta una relación lineal pero inversa con la temperatura de secado, así como también manifiesta un efecto significativo cuadrático inverso de la temperatura sobre el rendimiento.

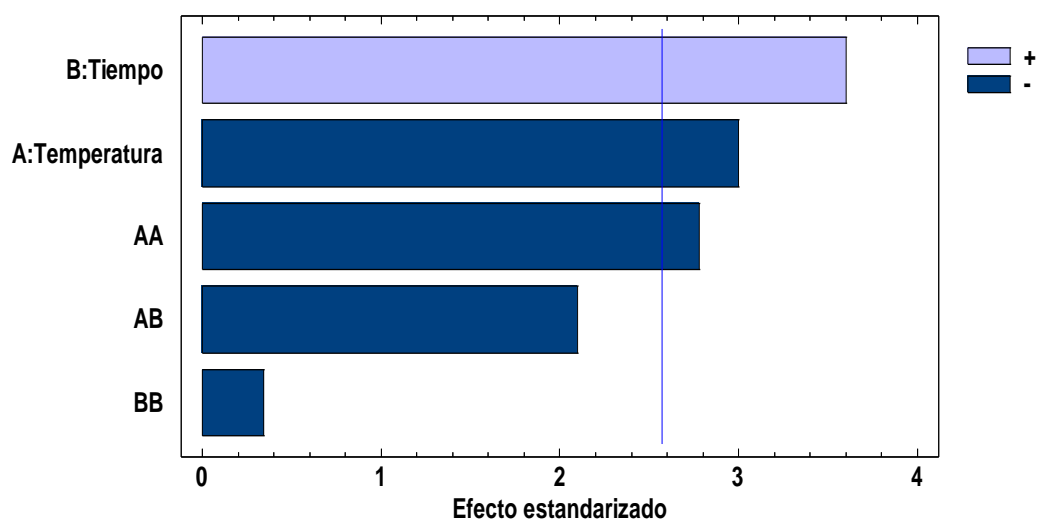


Figura 13. Gráfico de Pareto sobre el rendimiento
Fuente: elaboración propia (2016)

La ecuación de predicción del rendimiento en extracción es:

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & -0,0609 + 0,001748 \text{ Temperatura} + 0,00341 \\ & \text{Tiempo} - 0,000012 \text{ Temperatura*Temperatura} - \\ & 0,000036 \text{ Tiempo*Tiempo} - 0,000036 \\ & \text{Temperatura*Tiempo} \end{aligned}$$

El análisis del modelo aplicado a la variabilidad del rendimiento en la extracción de aceite esencial de jengibre (anexo 2) según el test de significación global (p valor = 0,026) resultó significativa y el grado de falta de ajuste alcanzado por el modelo (p valor = 0,017) también resultó significativo. Asimismo, los coeficientes del modelo de regresión resultaron significativos (p valor < 0,05) para el efecto lineal del tiempo y temperatura y el efecto cuadrático de la temperatura. Además, se obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 0,8761 (87,61 %) valor cercano a 1; estos resultados obtenidos permiten afirmar que el modelo obtenido es estadísticamente significativo, y sí es posible explicar el comportamiento de la variación del rendimiento, a escala de laboratorio por efecto de las variables de proceso de secado (tiempo y temperatura).

En la Figura 14 de superficie de respuesta del modelo completo; muestra que la región de mayor rendimiento se encuentra cuando el tiempo de secado es el máximo aplicado (10 horas) y a temperaturas de secado menores a 65 °C. Mientras que la tendencia de menores rendimientos en extracción se obtiene cuando opera en el menor tiempo de secado o cuando la temperatura de secado es la mayor (75 °C).

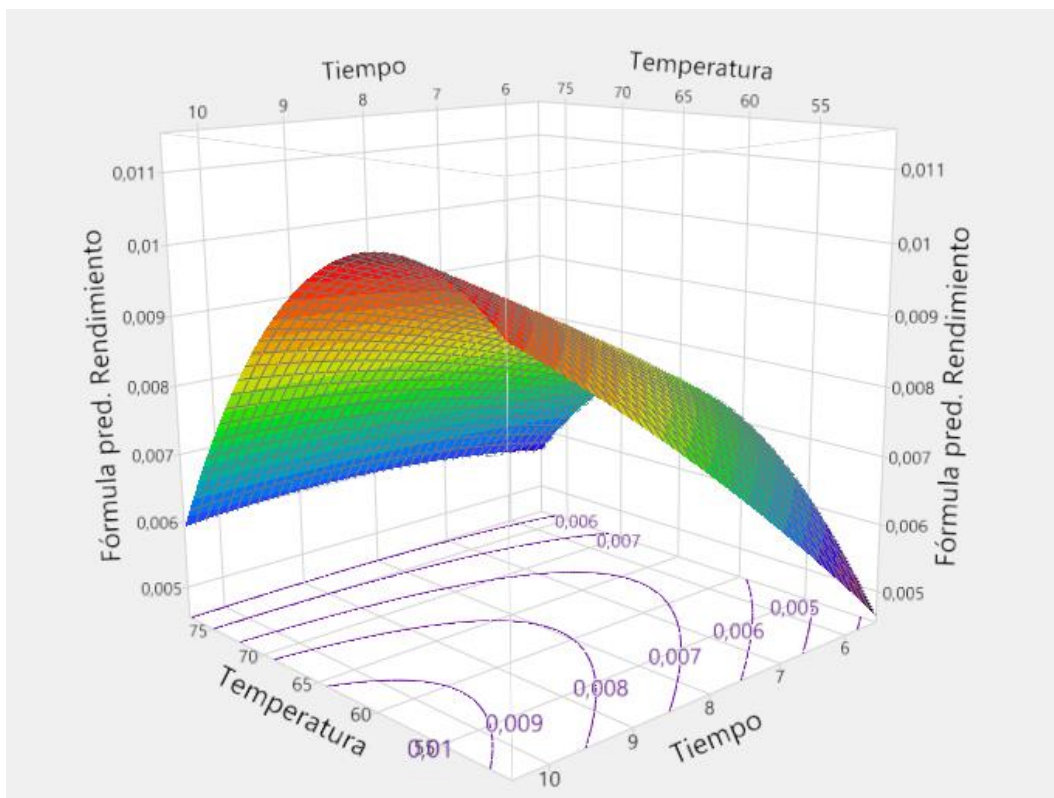


Figura 14. Superficie de respuesta para el rendimiento en la extracción de aceite esencial de jengibre

Fuente: elaboración propia (2016)

5.1.3 Índice de refracción

El índice de refracción mide el cambio de dirección que se produce cuando un rayo de luz pasa a través de la sustancia problema. En la Tabla 6 se muestran los resultados de las mediciones del índice de refracción para cada una de las fracciones obtenidas en las extracciones. Se reportan los 11 datos realizados según las condiciones de secado sometidos previamente.

Tabla 6. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para la variable índice de refracción IR del aceite esencial de jengibre

Tratamiento	X1:	X2:	IR
	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	
1	55	6	1,4850
2	75	6	1,4840
3	55	10	1,4852
4	75	10	1,4839
5	55	8	1,4793
6	75	8	1,4830
7	65	6	1,4810
8	65	10	1,4830
9	65	8	1,4815
10	65	8	1,4820
11	65	8	1,4830

Fuente: elaboración propia (2016)

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 15) puede observarse que en general ningún coeficiente del modelo ajustado para el índice de refracción presentó efecto significativo. Los coeficientes del modelo de regresión resultaron no significativos (p valor $\geq 0,05$) para todos los efectos.

Aunque se puede destacar que el efecto más importante es el cuadrático del tiempo de secado.

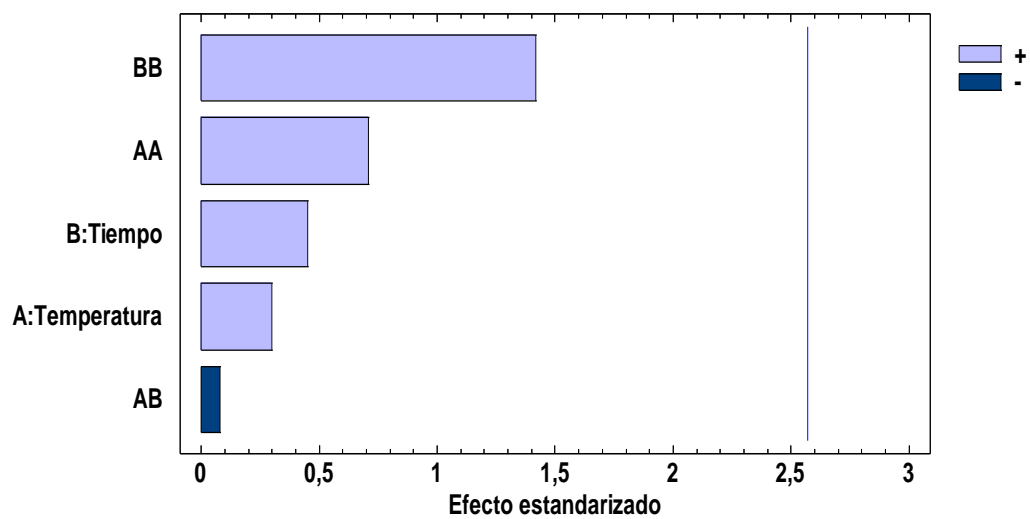


Figura 15. Gráfico de Pareto sobre el índice de refracción
Fuente: elaboración propia (2016)

La ecuación de predicción del índice de refracción es:

$$\begin{aligned}
 \text{IR} = & 1,5395 - 0,00105 \text{ Temperatura} - 0,00637 \text{ Tiempo} + \\
 & 0,000008 \text{ Temperatura*Temperatura} + 0,000424 \\
 & \text{Tiempo*Tiempo} - 0,000004 \text{ Temperatura*Tiempo}
 \end{aligned}$$

El análisis del modelo, aplicado a la variabilidad del índice de refracción (anexo 3) según el test de significación global (p valor = 0,64) no resultó significativo y el grado de falta de ajuste alcanzado por el modelo (p valor = 0,095) también resultó no significativo.

Además, se obtuvo un valor de coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 0,4166 (un 41,66 %) valor muy alejado de 1; estos resultados obtenidos permiten afirmar que el modelo no es estadísticamente significativo, es decir que las variables de proceso (tiempo y temperatura) no explican necesariamente todo el comportamiento de la variación del índice de refracción, a escala de laboratorio. En la Figura 16, se muestra el diagrama de superficie de respuesta del modelo completo; muestra la variación del índice de refracción del aceite de jengibre en función de las variables independientes temperatura y tiempo de secado.

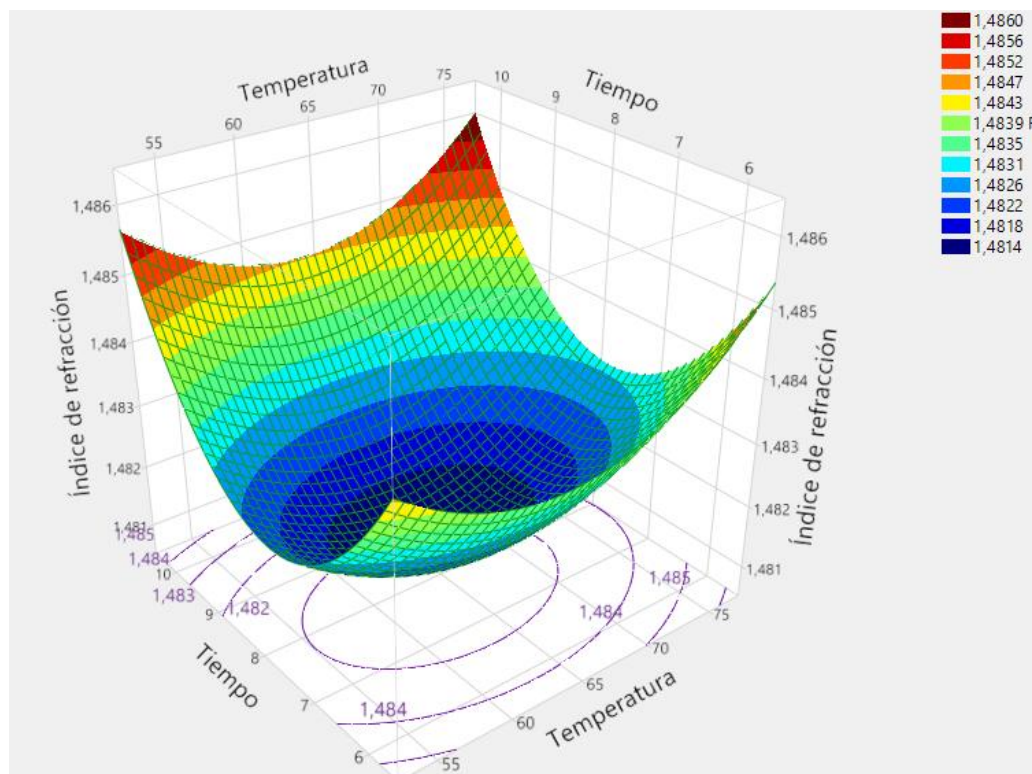


Figura 16. Superficie de respuesta para el índice de refracción del aceite esencial de jengibre
Fuente: Elaboración propia (2016)

Asimismo, se observa que se tiene una región de máxima respuesta mayor de 1,4860 en regiones extremas máximas y mínimas de ambos factores, resultando además el menor índice de refracción menor a 1,4814 en regiones cercanas al nivel central.

5.1.4 Aceptabilidad del olor

La Tabla 7 muestra los resultados del análisis llevado a cabo con la finalidad de evaluar la variación del olor bajo los efectos de las condiciones de secado de los rizomas y así conocer la influencia en su aceptabilidad sensorial.

Tabla 7. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para la variable aceptabilidad del olor del aceite esencial de jengibre

Tratamiento	X1: Temperatura (°C)	X2: Tiempo (horas)	Aceptabilidad del olor
1	55	6	6,88
2	75	6	6,06
3	55	10	6,06
4	75	10	6,40
5	55	8	6,07
6	75	8	6,00
7	65	6	6,56
8	65	10	6,69
9	65	8	6,31
10	65	8	6,31
11	65	8	6,00

Fuente: elaboración propia (2016)

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 17) puede evidenciarse que la variabilidad de la aceptabilidad del olor del aceite esencial se ve influenciada de manera significativa (p valor $< 0,05$) por los efectos de interacción temperatura-tiempo y el efecto cuadrático del tiempo de secado.

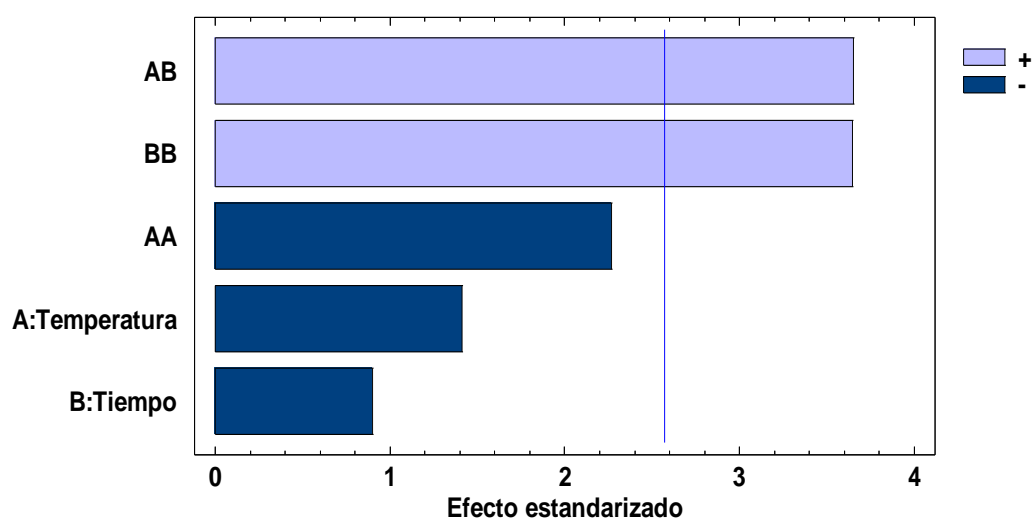


Figura 17. Gráfico de Pareto sobre la aceptabilidad del olor
Fuente: elaboración propia (2016)

La ecuación de predicción de la aceptabilidad del olor es:

$$\begin{aligned} \text{Olor} = & 10,73 + 0,172 \text{ Temperatura} - 2,419 \text{ Tiempo} - \\ & 0,002276 \text{ Temperatura*Temperatura} + \\ & 0,0910 \text{ Tiempo*Tiempo} + 0,01437 \\ & \text{Temperatura*Tiempo} \end{aligned}$$

El análisis al modelo aplicado a la aceptabilidad del olor (anexo 4) según el test de significación global (p valor = 0,033) resultó significativa y el grado de falta de ajuste alcanzado por el modelo (p valor = 0,669) no resultó significativo.

Además, se obtuvo un valor del coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 0,8622 (un 86,22 %) valor cercano a 1; estos resultados obtenidos permiten afirmar que el modelo es estadísticamente significativo para efectos de predicción y explicación de la variabilidad del olor por efecto de la temperatura y tiempo de secado a escala de laboratorio.

La Figura 18, muestra el efecto combinado de las variables del proceso de secado (temperatura y tiempo) en la variabilidad del olor, donde se presentan una figura tipo silla de montar con regiones de aceptabilidad mayor a 6,93 en los niveles mínimo y máximo de tiempo de secado. Sin embargo, es en la región de temperaturas en un rango de 55 a 57 °C aproximadamente, donde se pueden obtener, aceite esencial con una aceptabilidad máxima de 7,02 en base a 9 según la escala hedónica. Asimismo, también se muestra regiones en donde la aceptabilidad se hace mínima (menos de 5,7), y que corresponden a regiones de proceso ya sea a menor o mayor temperatura de secado, siendo la región de menor

aceptabilidad del olor para los aceites esenciales obtenidos entre 6 a 8 horas, pero a 75°C de temperatura de secado.

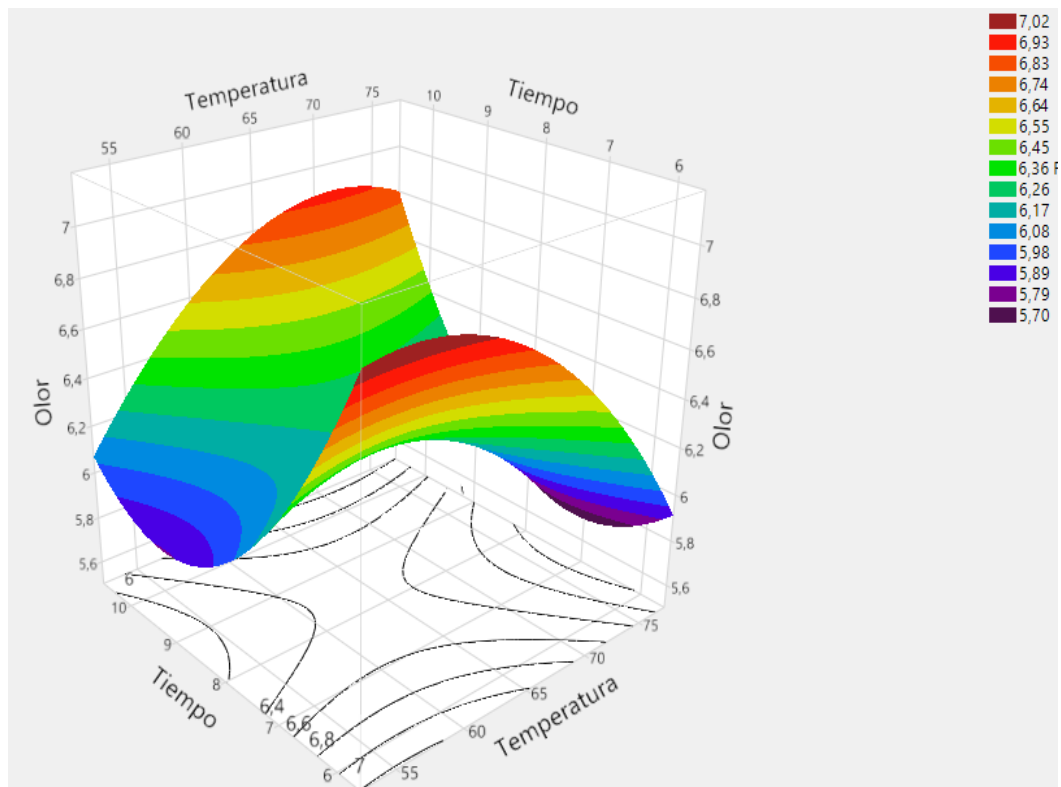


Figura 18. Superficie de respuesta para la aceptabilidad sensorial del olor aceite esencial de jengibre

Fuente: elaboración propia (2016)

5.1.5 Aceptabilidad del sabor

En la Tabla 8 se muestra los resultados del análisis llevado a cabo con la finalidad de evaluar el cambio del sabor del aceite de jengibre por efecto de los factores tiempo y temperatura de secado e identificar las posibles influencias.

Tabla 8. Resultados experimentales según diseño centrado en las caras para la variable aceptabilidad del sabor del aceite esencial de jengibre

Tratamientos	X1: Temperatura (°C)	X2: Tiempo (horas)	Aceptabilidad del Sabor
1	55	6	6,50
2	75	6	5,88
3	55	10	6,50
4	75	10	6,44
5	55	8	6,50
6	75	8	6,88
7	65	6	6,63
8	65	10	6,50
9	65	8	6,54
10	65	8	6,78
11	65	8	6,81

Fuente: elaboración propia (2016)

De acuerdo con la gráfica de Pareto (Figura 19) se observa que los coeficientes del modelo de regresión no resultaron significativos (p valor $> 0,05$), siendo el efecto más importante el cuadrático del tiempo.

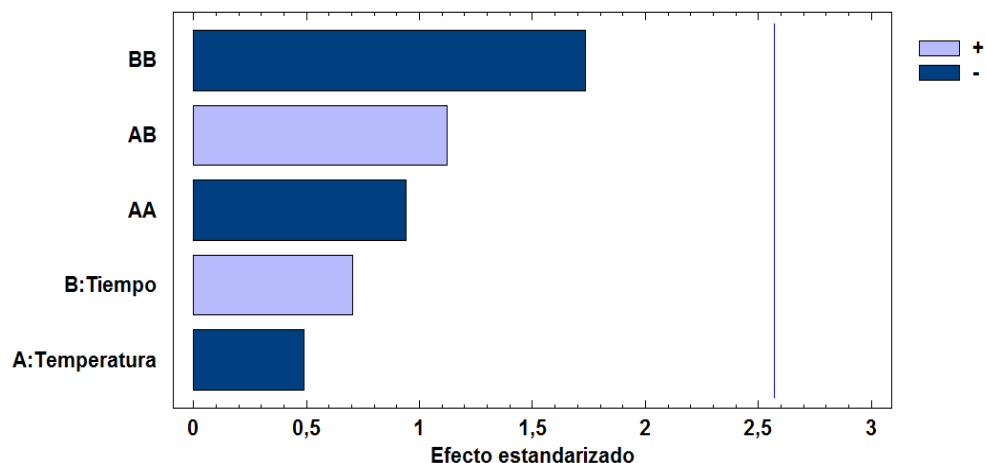


Figura 19. Gráfico de Pareto sobre la aceptabilidad del sabor
Fuente: elaboración propia (2016)

La ecuación de predicción de la aceptabilidad del sabor es:

$$\begin{aligned}
 \text{Sabor} = & 0,68 + 0,112 \text{ Temperatura} + 0,613 \text{ Tiempo} \\
 & - 0,00133 \text{ Temperatura*Temperatura} \\
 & - 0,0645 \text{ Tiempo*Tiempo} \\
 & + 0,00700 \text{ Temperatura*Tiempo}
 \end{aligned}$$

El análisis del modelo aplicado a la aceptabilidad del sabor (anexo 5) según el test de significación global (p valor = 0,378) y el grado de falta de ajuste alcanzado por el modelo (p valor = 0,21) no resultaron significativas. Y su valor del coeficiente de determinación múltiple (R^2) de 0,5726 (57,26 %) está alejado de 1; estos resultados obtenidos permiten afirmar que el

modelo no explica en su totalidad la variabilidad del sabor por efecto de la temperatura y tiempo de secado a escala de laboratorio.

La Figura 20, muestra el efecto combinado de las variables de proceso de secado (temperatura y tiempo) en la variabilidad del sabor, donde se observa que la mayor calificación estimada es de 6,62 que sucede cuando el secado se desarrolla a la menor temperatura (55°C). Sin embargo, dado que el modelo de predicción es no significativo, es probable que la variabilidad del sabor sea por efecto de otros factores como son los componentes del aceite y que de alguna manera pueden verse influenciado en su composición del producto final y esto afectar la percepción de los catadores. Se debe de considerar que tanto la aceptabilidad del sabor y del olor del aceite esencial de jengibre se realizó mediante la adición de 1 gota de dicho aceite en una muestra de 250 g de salsa chimichurri.

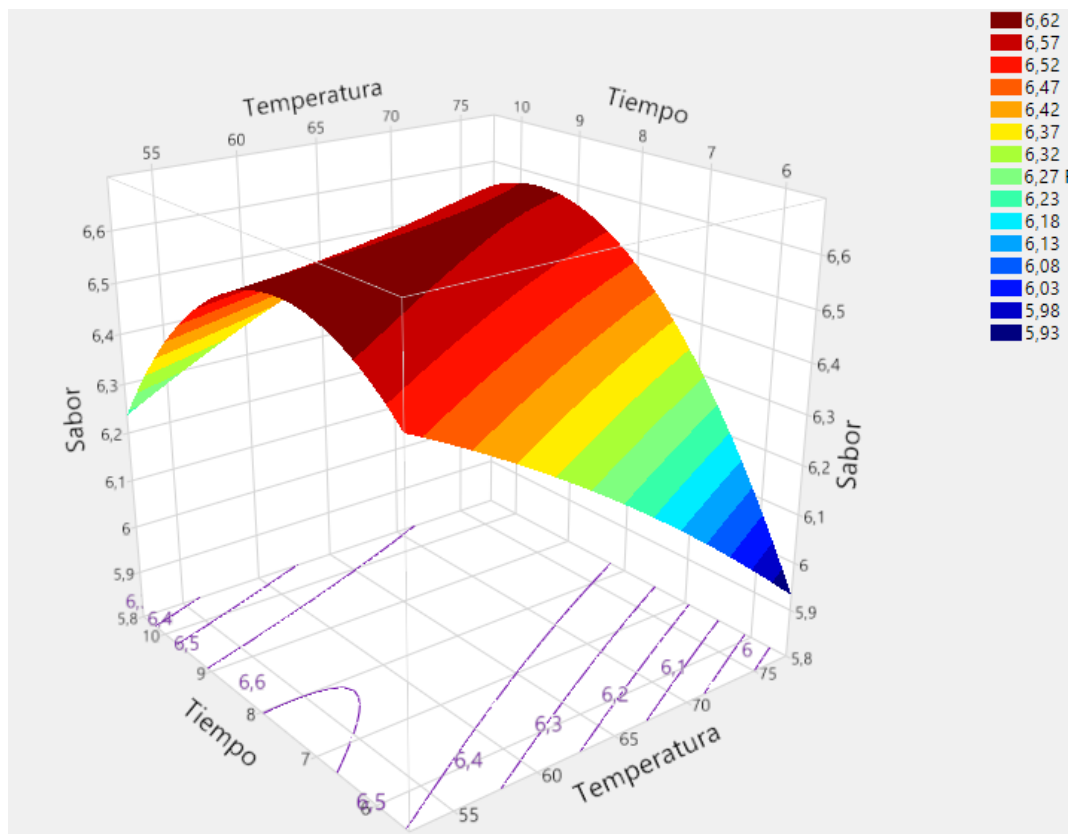


Figura 20. Superficie de respuesta para la aceptabilidad sensorial del sabor aceite esencial de jengibre
 Fuente: elaboración propia (2016)

5.1.6 Determinación del tratamiento óptimo (optimización)

Una vez, finalizado el análisis individual de la influencia de la temperatura y tiempo de secado sobre el rendimiento, índice de refracción y las características sensoriales del aceite esencial, se determinó los parámetros de las variables independientes según la aceptabilidad sensorial y cuyo resultado será considerado óptimo para el proceso final.

Según lo recomendado por Gutiérrez y De la Vara (2008) indican que para que el alimento sea bien aceptado por los consumidores el optimizar sólo una de las características del producto hace que las otras propiedades se vean afectadas y el resultado es un producto con peor calidad global que antes. De aquí la importancia de localizar el punto de operación del proceso o tratamiento en el que todas las variables tienen "el mejor desempeño posible".

Por tanto, para la optimización multivariable se realizó las siguientes condiciones:

- Variables independientes: mantener en rango de estudio a las variables temperatura y tiempo de secado.
- Variables dependientes: maximizar el rendimiento y la aceptabilidad de los atributos sensoriales (olor y sabor).

Aplicando la metodología de función deseada mediante el paquete estadístico Desig expert 7, se obtuvo las soluciones que se muestra en la Tabla 9:

Tabla 9. Solución numérica para la optimización del proceso de secado de los rizomas de jengibre

Variables		Solución 1	Solución 2
Independientes (Proceso)	Temperatura (°C)	65,36	64,72
	Tiempo (horas)	10,000	10,00
Dependientes (Respuesta)	Sabor	6,572	6,566 *
	Olor	6,544	6,529
	Rendimiento (ml/g b.s.)	0,009672	0,00977
	Índice de refracción	1,48348 *	1,48346 *
Función deseada (FD)		0,730	0,751

Fuente: elaboración propia (2017) * (valor estimado)

En la Figura 21 se muestra las curvas de nivel del efecto combinado de las variables temperatura y tiempo de secado para la solución 1, donde se ubican las regiones de soluciones para un “modelo de silla” donde se muestra dos regiones óptimas, pero se destaca con mayor valor de “deseabilidad”. El valor de función deseada de 0,73 indica la probabilidad de que al volver a repetir el proceso de secado y extracción del aceite esencial con las condiciones óptimas de la solución 1 es probable que se obtengan los valores de rendimiento, aceptabilidad de olor y sabor óptimos, así como el valor estimado del índice de refracción donde la tendencia es a extraer el aceite con el mayor tiempo de secado, pero a una temperatura media de secado.

Design-Expert® Software

Desirability



X1 = A: Temperatura (°C)

X2 = B: Tiempo (horas)

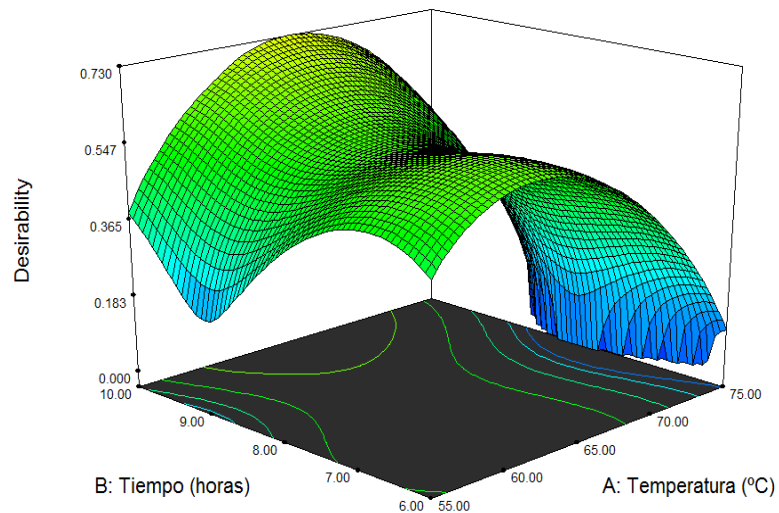


Figura 21. Curvas de nivel para la solución 1 de optimización del secado del jengibre

Fuente: elaboración propia (2017)

En la Figura 22 se muestra las curvas de nivel del efecto combinado de las variables temperatura y tiempo de secado para la solución 2., donde se ubica la región de solución para un “modelo de silla” donde se muestra dos regiones óptimas, pero se destaca la región superior por presentar el mayor valor de “deseabilidad”. El valor de función deseada de 0,751 indica la probabilidad de que al volver a extraer el aceite esencial con las condiciones óptimas de secado de la solución 2 es probable que resulten con los valores de rendimiento y aceptabilidad del olor óptimos, pero con el valor de sabor e índice de refracción estimados, donde la tendencia es a extraer el aceite con el mayor tiempo de secado, pero a una temperatura

media de secado. Y considerando que cuando el valor FD es más cercano a 1 se considera como el el mejor desempeño posible", se escoge a la solución 2 (FD= 0,751 como la solución óptima para el secado del jengibre.

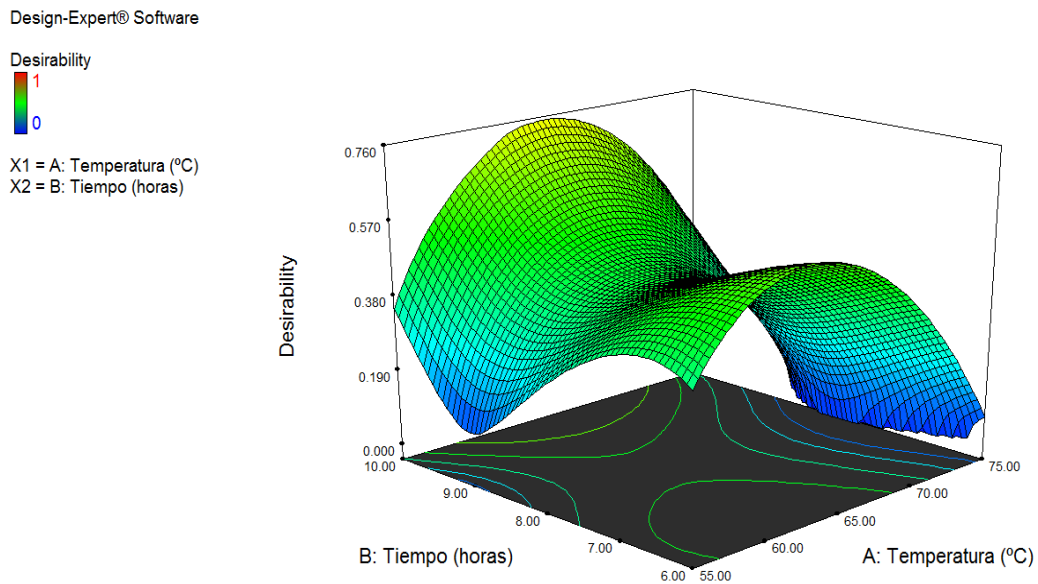


Figura 22. Curvas de nivel para la solución 2 en la optimización del secado del jengibre

Fuente: elaboración propia (2017)

5.1.7 Flujo definitivo

La Figura 22, muestra los parámetros finales obtenidos en la operación de secado de las rodajas de rizomas de jengibre, que dan como resultado un aceite esencial de características propias.

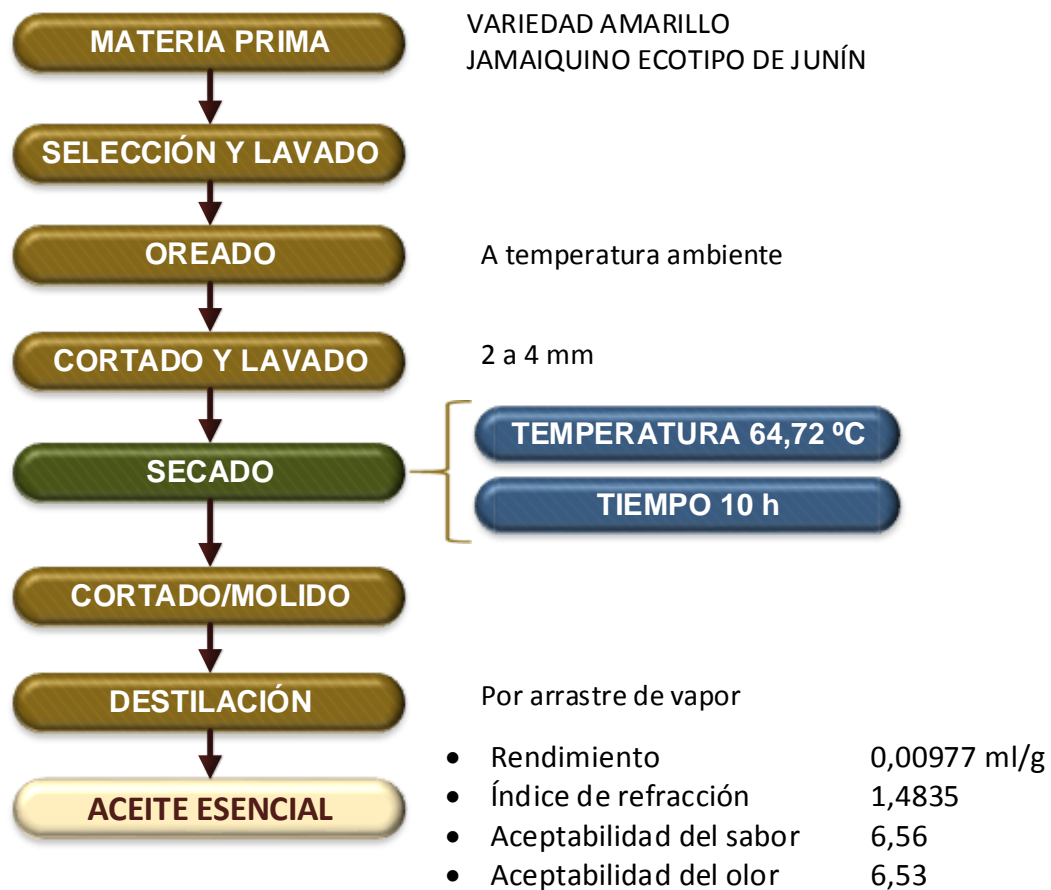


Figura 23. Flujo definitivo en operación de secado de las rodajas de rizomas

Fuente: elaboración propia (2017)

5.2 Discusiones de resultados

Los rendimientos del aceite esencial fueron determinados usando rizomas de jengibre con diferentes tamaños de partícula, tal como se desarrolló en el presente estudio donde con los rizomas secos se procedió a una molienda en licuadora dando como resultado rizomas seco de tamaño irregular, el cual se utilizó para facilitar la extracción del aceite

esencial. Leyva et al. (2007), determinaron que el mayor contenido de aceite de los rizomas de jengibre (0,22%), fue obtenido usando las partículas con un diámetro de 1,67 mm. El rendimiento fue relativamente bajo (0,17%) en partículas con diámetro promedio de 3,99 mm. En los rizomas deshidratados la disponibilidad de los aceites aumenta, y allí radica la importancia del estudio del proceso de optimización del secado al seleccionar las condiciones adecuadas de proceso pues estos principios son volátiles a altas temperaturas.

Vásquez et al. (2001) determinaron que el rendimiento de aceite esencial de jengibre fue de 0,8% en masa, usando la técnica de extracción por arrastre de vapor. Dichos datos de rendimiento son inferiores comparados con los obtenidos en el presente estudio que fue de 0,0096 ml/g o 0,96 % v/p, pero a temperatura de 64,72 °C; aunque hay que considerar que el secado se realizó en túnel de secado con aire caliente forzado. Reyes et al. (2011) aplicando el sistema de extracción por fluidos supercríticos determinó que las condiciones experimentales asociadas al mayor rendimiento fueron 40 °C y 17,9 MPa (Extracción por fluidos supercríticos EFS), con un 1,51% en extracto, es decir, superior al nivel de rendimiento óptimo encontrado.

Acuña y Torres (2010), realizaron el secado de jengibre bajo cobertizo y a temperaturas menores a 40 °C a fin de evitar la pérdida de componentes volátiles y afirman que es necesario realizar una molienda previa del jengibre seco para facilitar la extracción. Indican que la unión del aceite esencial y la resina constituyen la oleorresina que se encuentra en un 4 a 7,5 % en el rizoma. En los resultados del porcentaje de extracción, se observó mayor rendimiento en aquellas muestras cuyos rizomas fueron sometidos a bajas temperaturas (55 °C) pero por largos tiempos de secado.

Con respecto al índice de refracción (IR), Herrera y Andres (2008) indican que esta característica depende de la composición de la muestra, la temperatura y su utilidad radica en la identificación y caracterización de líquidos puros, grasas y aceites, comprobación de la pureza de diversos alimentos, asimismo Gutiérrez (2003) indica que el IR es característico dentro de ciertos límites para cada aceite por lo que es un indicador de pureza del aceite esencial de jengibre extraído, además el autor afirma que el IR está relacionado con el grado de saturación, y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación. Es decir que la variación de los valores experimentales de IR obtenidos fue escasa y por tanto no significativa según el modelo de regresión que ajusta su comportamiento, por tanto, el IR de los aceites obtenidos no se vio afectado

por el proceso de secado y se puede asumir que es puro dentro del rango obtenido para un valor promedio de 1,483.

Según Paucar (2013) es posible determinar la cantidad de soluto disuelto midiendo el índice de refracción de la solución acuosa que se investiga y la misma propiedad se usa para comprobar la calidad de los aceites y las grasas. Si se mezclan dos líquidos mutuamente solubles, el índice de refracción de la disolución resultante es función de la concentración y del índice de refracción de cada uno de los líquidos. Es posible que la escasa variabilidad obtenida de los IR podría atribuirse a la presencia de restos de agua no extraídas durante el proceso de secado de los rizomas.

Con respecto a las características sensoriales del aceite extraído, la tendencia de obtener un aceite con cualidades sensoriales aceptables en el sabor se obtuvo con tiempos medios y a bajas temperaturas, aunque con respecto al olor se coincide con lo hallado por Reyes et al. (2011) pues es a mayor o menor temperatura (55 °C o 75 °C respectivamente) se han registrado las mejores condiciones de aceptabilidad de aceite extraído con previo proceso de secado.

Reyes et al. (2011), afirman que los rendimientos obtenidos por el método de extracción por fluidos súper críticos (EFS) empleando n-hexano y éter etílico, fue de 1,58 y 2,79% respectivamente. Resultaron muy interesantes por contener cantidades importantes de compuestos con actividad antioxidante y sabor pungente (característico del jengibre), tales como la zingerona y el gingerol compuestos muy importantes desde el punto de vista tecnológico y nutricional, además afirma que los procesos térmicos con altas temperaturas a cortos tiempos, son importantes para evitar pérdidas nutricionales y funcionales por el excesivo calentamiento durante el secado. Por esta razón en este presente estudio de optimización del proceso de secado de los rizomas, se realizó desde a 55°C a 75° C, a un máximo de 10 h, es por ello que sensorialmente las muestras más agradables están a mayor temperatura, pero con nivel medio de tiempo de secado.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que el modelo que explica la influencia de la temperatura y tiempo de secado sobre el rendimiento del aceite esencial fue significativa (p valor $\leq 0,05$). Y la región de mayor rendimiento se encuentra cuando el tiempo de secado es el máximo aplicado (10 horas) y a temperaturas de secado menores a 65 °C.
2. El modelo que explica la influencia de la temperatura y tiempo de secado sobre el índice de refracción (IR) del aceite esencial no fue significativo (p valor $> 0,05$) y dicha escasa variabilidad del IR hace concluir que es un aceite puro en un rango mínimo de 1,4793 y máximo de 1,4852.
3. El modelo que explica la influencia de la temperatura y tiempo de secado resultó significativas (p valor $< 0,05$) sobre del olor. Sin embargo, no fue significativa sobre la aceptabilidad del sabor (p valor $> 0,05$). El método de optimización multivariable determino que las condiciones óptimas del proceso de secado de jengibre fueron de 64,72 °C de temperatura y 10 horas, para un rendimiento 0,00977 ml/g b.s, aceptabilidad del sabor 6,56 y del olor 6,53 con índice de refracción 1,4835.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la capacidad antioxidante del aceite esencial de jengibre en función al tipo de sistema de extracción.
2. Estudiar el empleo de otros métodos de extracción del aceite esencial de jengibre como extracción por fluidos supercríticos EFS a fin de incrementar el rendimiento evaluando su proyección a nivel industrial.
3. Elaborar condimentos a base de aceite esencial de jengibre evaluando, la concentración del aceite esencial, así como el tipo de envase y tiempo de vida útil.
4. Evaluar la vida útil del aceite esencial en función al tipo de envase y sus características fisicoquímicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña O. y Torres A. (2010). *Aprovechamiento de las propiedades funcionales del jengibre (Zingiber officinale)*. Trabajo de investigación. Departamento de Ciencias de los Alimentos y Biotecnología (DECAB). Ecuador. pp:1-10
- A.O.A.C. (1996). *Official Methods of Analysis*. Washington, DC. Association of Official Analytical Chemists. E.U.A. Vol. II 16a Ed.
- AGRODATA PERÚ (2015). *Jengibre-Kión Perú Exportación*. Recuperado de: <http://www.agrodataperu.com/2015/08/jengibre-kion-peru-exportacion-julio-2015.html>
- Agronegocios Perú (2014). *El jengibre o kión*. Recuperado de: http://www.agronegociosperu.org/tema/temOH.htm#.VHnQJ2GG_Tc
- Bruneton, J. (2001). *Farmacognosia. Fitoquímica. Plantas medicinales*. 2da Ed. Zaragoza: Acribia S.A.
- Capristán J.F. (2014). *Las propiedades del jengibre*. Recuperado de: <http://www.elherbolario.com/noticia/980/PLANTAS-MEDICINALES/Infusion-y-Jarabe-de-jengibre.html>
- Crapiste, G.H. (1991) *Simulation of Drying Rates and Quality Changes During the Dehydration of Food Stuffs*. p. 135.

- Chiluiza Córdova, J.; Ulloa Cedeño P. y Tutio Mejía, M. (2010). *Proyecto de extracción de aceite esencial de jengibre como alternativa de exportación*. Trabajo de investigación. Ecuador. pp:1-10.
- Flores, Andrés; Prieto Eliana p. De los Ríos Martínez Elena; Ruiz Reyes Segundo (2008). *Estudio Farmacognóstico y Fitoquímico del rizoma de Zingiber officinale Roscoe "Jengibre" de la ciudad de Chanchamayo*. Junín. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.
- Font. P. (1982). *Diccionario de botánica*. 8va Ed. Editorial Labor, S.A. Barcelona, España.
- Geankoplis, C.J. (1998). *Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias*. Tercera edición. CECSA. México.
- Gong F., Fung Y, Liang Y. (2004). Determinaron of volatile components in Ginger using gas chromatography-mass spectrometry with resolution improved by data processing techniques. *J. Agrie. Food Chem.*
- González Stuart A. (2004). *Jengibre*. Trabajo de investigación. Recuperado de: <http://www.herbalsafety.utep.edu>
- Granato Daniel y Ares Gastón (2014) *Mathematical and statistical mcthods in food science and technology/* edited by WILEY Blackwell. West Sussex, UK. p. 9

- Gutiérrez B. (2003) *Proyecto de Inversión de una Planta de Extracción y Empaque de Aceite de Aguacate para el Rancho Villa Reguero*. Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México.
- Gutiérrez H. y De la Vara R. (2008) *Análisis y diseño de experimentos*. 2da Ed. Mc Graw Hill. México pp. 114-115.
- Henley, E.J., & Seader, J.D. (1990) *Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química*. Ed Reverte. México.
- Herrera J. & Andres J. (2008) *Caracterización y aprovechamiento del aceite residual de frituras para la obtención de un combustible (biodiesel)* Universidad Tecnológica De Pereira. Colombia
- Ibáñez Moya FC, Barcina Angulo Y. (2001). *Análisis Sensorial de Alimentos: métodos y Aplicaciones*. Edit Springer Barcelona; España.
- Krokida, et. al. (2003). *Drying kinetics of some vegetables*. Journal of Food Engineering. Journal of Food Engineering 59,391.
- Larrea M., Cerro S., Salazar G. (2003). *Estudio Experimental para la elaboración de Galletas Tipo "Cookie" con adición de Fibra de Pulpa de Madera Pre Tratada con Peróxido de Hidrógeno Alcalino (H₂O₂)*. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna-Perú. pág. 15-23

- Leyva M.; Ferrada, P.; Martínez J. y Stashenko E. (2007) *Rendimiento y composición química del aceite esencial de Zingiber officinale en función del diámetro de partícula*. *Sciencia et Technica*. Año XIII, N°33. ISSN 0122-1701. Colombia.
- Montgomery, C: (2004) *Design and Analysis .of experimete*, John Wiley, New York-USA p. 686
- Mujumdar, Arun S. (2000). *Handbook of Industrial Drying"*. Marcel Dekker, Inc. E.U.A.
- Ortiz Alfaro Betsabé (2003) *Secado con bomba de calor para la deshidratación de frutos* Tesis Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México
- Ortuño Sánchez, M.F. (2006). *Manual práctico de aceites esenciales, aromas y perfumes*. 1ra edición. Ediciones Aiyana. España.
- Pengelly, A. 1996 *Los constituyentes de las plantas medicinales*. 2da Ed. Cabi Publishing, Reino Unido.
- Reyes Armando, Henry I. Castro-Vargas, Luis I. Rodríguez-Varela, Clara E. Quijano-Celis, Fabián Parada-Alfonso (2011) *Obtención de Extractos de Jengibre (Zingiber officinale) empleando CO₂ Supercrítico* Universidad de Colombia. Bogotá – Colombia.

- Sancho J., Bota E., J.J. de Castro (1999) *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. 1ra ed. Edicions Universitat de Barcelona. España
- Sankalia MG, Mashru RC., Sankalia JM. y Sutariya VB (2004) *Evaluación y Optimización Simultánea de Papaína Inmovilizada en Gránulos de Alginato Entrecruzado Mediante un Diseño Factorial 3x3 y la Función de Deseabilidad*. University of Baroda, Vadodara-INDIA pág. 43-50
- Shukla Y, Singh M. (2007). *Cancer preventive properties of ginger: a brief review*. Food Chem. Toxicol. 45:683-690.
- Treybal R.E. (1988). *Operaciones de transferencia de masa*. Mc Graw Hill. Edición: 2a ed. México:
- USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (2012). *Valor nutricional del jengibre*. Recuperado: www.usda.com
- Vásquez Ribeiro, O.; Alva A. y Marreros Valles, J. (2001). *Extracción y caracterización de aceite esencial de jengibre (Zingiber officinale)*. Trabajo de investigación. Facultad de ingeniería en Industrias Alimentarias. UNAP. Revista Amazónica de Investigación Alimentarias vol.1 n°1. Iquitos: Perú pp: 38-42.
- Vergara Cantillo. José (2009). *Manual de buenas prácticas agrícolas para jengibre (Zingiber officinale Roscoe)*. Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de cata hedónica estructurada

Nombre: _____ FECHA: _____

Frente a usted hay muestras codificadas, las cuales debe probar una a la vez y marque con una X su juicio sobre cada muestra.

Atributo: _____

ESCALA	MUESTRAS											
	691	252	493	404	745	296	637	918	759	170	271	186
Me gusta muchísimo												
Me gusta mucho												
Me gusta moderadamente												
Me gusta un poco												
Me es indiferente												
Me disgusta un poco												
Me disgusta moderadamente												
Me disgusta mucho												
Me disgusta muchísimo												

Comentarios: _____

Anexo 2. Análisis del rendimiento

Regresión de superficie de respuesta: Rendimiento vs. Temperatura; Tiempo

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,000016	0,000003	7,07	0,026
Temperatura	1	0,000004	0,000004	9,01	0,03
Tiempo	1	0,000006	0,000006	12,95	0,016
Temperatura*Temperatura	1	0,000004	0,000004	7,71	0,039
Tiempo*Tiempo	1	0	0	0,12	0,748
Temperatura*Tiempo	1	0,000002	0,000002	4,42	0,09
Error	5	0,000002	0		
Falta de ajuste	3	0,000002	0,000001	59,12	0,017
Error puro	2	0	0		
Total	10	0,000019			

S
0,0006813

R-cuad.
87,61%

R-cuad. (ajustado)
75,22%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE	EE del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		0,008874		0,000349	25,39	0	
Temperatura	-0,00167	-0,000835		0,000278	-3	0,03	1
Tiempo	0,002002	0,001001		0,000278	3,6	0,016	1
Temperatura*Temperatura	-0,002378	-0,001189		0,000428	-2,78	0,039	1,08
Tiempo*Tiempo	-0,000291	-0,000145		0,000428	-0,34	0,748	1,08
Temperatura*Tiempo	-0,001431	-0,000716		0,000341	-2,1	0,09	1

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned} \text{Rendimiento} = & -0,0609 + 0,001748 \text{ Temperatura} + 0,00341 \\ & \text{Tiempo} - 0,000012 \text{ Temperatura*Temperatura} - \\ & 0,000036 \text{ Tiempo*Tiempo} - \\ & 0,000036 \text{ Temperatura*Tiempo} \end{aligned}$$

Anexo 3. Análisis del índice de refracción

Regresión de superficie de respuesta: IR vs. Temperatura; Tiempo

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,000013	0,000003	0,71	0,64
Temperatura	1	0	0	0,09	0,777
Tiempo	1	0,000001	0,000001	0,2	0,672
Temperatura*Temperatura	1	0,000002	0,000002	0,5	0,511
Tiempo*Tiempo	1	0,000007	0,000007	2,01	0,216
Temperatura*Tiempo	1	0	0	0,01	0,94
Error	5	0,000018	0,000004		
Falta de ajuste	3	0,000017	0,000006	9,73	0,095
Error puro	2	0,000001	0,000001		
Total	10	0,000031			

S
0,0019077

R-cuad.
41,66%

R-cuad. (ajustado)
0,00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE	del coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		1,48142		0,00098	1513,75	0	
	0,00046						
Temperatura	7	0,000233		0,000779	0,3	0,777	1
Tiempo	0,0007	0,00035		0,000779	0,45	0,672	1
Temperatura*Temperatura	0,00169	0,00085		0,0012	0,71	0,511	1,08
Tiempo*Tiempo	0,00339	0,0017		0,0012	1,42	0,216	1,08
Temperatura*Tiempo	-0,00015	-0,000075		0,000954	-0,08	0,94	1

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\begin{aligned}
 \text{IR} = & 1,5395 - 0,00105 \text{ Temperatura} - 0,00637 \text{ Tiempo} \\
 & + 0,000008 \text{ Temperatura*Temperatura} \\
 & + 0,000424 \text{ Tiempo*Tiempo} \\
 & - 0,000004 \text{ Temperatura*Tiempo}
 \end{aligned}$$

Anexo 4. Análisis del olor

Regresión de superficie de respuesta: Olor vs. Temperatura; Tiempo

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,78201	0,1564	6,26	0,033
Temperatura	1	0,04896	0,04896	1,96	0,22
Tiempo	1	0,02042	0,02042	0,82	0,407
Temperatura*Temperatura	1	0,13118	0,13118	5,25	0,071
Tiempo*Tiempo	1	0,33556	0,33556	13,43	0,015
Temperatura*Tiempo	1	0,33062	0,33062	13,23	0,015
Error	5	0,12493	0,02499		
Falta de ajuste	3	0,05983	0,01994	0,61	0,669
Error puro	2	0,0651	0,03255		
Total	10	0,90694			

S
0,158072

R-cuad.
86,22%

R-cuad. (ajustado)
72,45%

Coefficientes codificados

EE del

Término	Efecto	Coef	coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		6,2294	0,0811	76,82	0	
Temperatura	-0,1807	-0,0903	0,0645	-1,4	0,22	1
Tiempo	-0,1167	-0,0583	0,0645	-0,9	0,407	1
Temperatura*Temperatura	-0,4551	-0,2276	0,0993	-2,29	0,071	1,08
Tiempo*Tiempo	0,7279	0,3639	0,0993	3,66	0,015	1,08
Temperatura*Tiempo	0,575	0,2875	0,079	3,64	0,015	1

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$\text{Olor} = 10,73 + 0,172 \text{ Temperatura} - 2,419 \text{Tiempo} - 0,002276 \text{ Temperatura*Temperatura} + 0,0910 \text{ Tiempo*Tiempo} + 0,01437 \text{ Temperatura*Tiempo}$$

Anexo 5. Análisis del sabor

Regresión de superficie de respuesta: Sabor vs. Temperatura; Tiempo

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	5	0,40434	0,08087	1,34	0,378
Temperatura	1	0,015	0,015	0,25	0,639
Tiempo	1	0,03082	0,03082	0,51	0,507
Temperatura*Temperatura	1	0,04492	0,04492	0,74	0,428
Tiempo*Tiempo	1	0,16884	0,16884	2,8	0,155
Temperatura*Tiempo	1	0,0784	0,0784	1,3	0,306
Error	5	0,30183	0,06037		
Falta de ajuste	3	0,25803	0,08601	3,93	0,21
Error puro	2	0,0438	0,0219		
Total	10	0,70616			

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,245694	57,26%	14,52%	0,00%

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	coef.	Valor T	Valor p	VIF
Constante		6,755	0,126	53,6	0	
Temperatura	-0,1	-0,05	0,1	-0,5	0,639	1
Tiempo	0,143	0,072	0,1	0,71	0,507	1
Temperatura*Temperatura	-0,266	-0,133	0,154	-0,86	0,428	1,08
Tiempo*Tiempo	-0,516	-0,258	0,154	-1,67	0,155	1,08
Temperatura*Tiempo	0,28	0,14	0,123	1,14	0,306	1

$$\begin{aligned}
 \text{Sabor} = & 0,68 + 0,112 \text{ Temperatura} + 0,613 \text{ Tiempo} \\
 & - 0,00133 \text{ Temperatura*Temperatura} \\
 & - 0,0645 \text{ Tiempo*Tiempo} \\
 & + 0,00700 \text{ Temperatura*Tiempo}
 \end{aligned}$$

Anexo 6. Especificaciones técnicas del deshidratador

CHEMICAL ENGINEERING

IC106D - Tray Drier - Code 993500



1. General

The IC106D unit allows to acquire the basic knowledge concerning the trays principles. The most common industrial method to dry solid materials in bulk consists in making a hot air stream pass over drawers full of wet material.

The utilisation conditions may be modified to emphasise the aspects of the industrial drying techniques from a theoretical and practical point of view.

The unit is supplied with manuals which described all parts of the trainer, the installation and utilisation procedures, as well as many exercises with the relative results.

2. Composition

The unit consists of:

- Heating resistance: 0 to 3 kW.
- Axial fan max flow rate 2500 to 2700 m³/h (50/60 Hz).
- Dimensions of the drying compartment: 0.45x0.45x0.4 m.
- No. 3 trays in anti-corrosion material, movable.
- No. 2 dry bulb thermometers (-10 to +100 °C).
- No. 2 wet bulb thermometers (-10 to +100 °C).
- No. 1 pycnometer.
- No. 1 anemometer with digital indicator.
- No. 1 stop-watch.
- No. 1 electronic balance (0 to 5 kg) with digital indicator.
- No. 1 electrical resistance power regulator.
- No. 1 fan speed electronic regulator.

3. Description

The air is forced inside the drying chamber by means of a fan placed at one end of the tunnel.

It is possible to adjust the speed of the air inside the drier by modifying the speed of the fan by means of an electronic control.

A battery of electrical heating resistances is placed before the drying compartment to heat up the air. The power dissipated in these resistances can be adjusted.

A rack of three trays having a total load capacity of 5 kg of solid material is suspended to the arm of a balance, with accuracy of 2 g.

The ducts upstream and downstream of the compartment are designed to produce a uniform air flow in the trays.

Two thermometers for the measurement of the temperature upstream and downstream of the working sections and a psychrometer for the control of the humidity are provided.

The apparatus is mounted on a wheeled frame.

4. Experiments

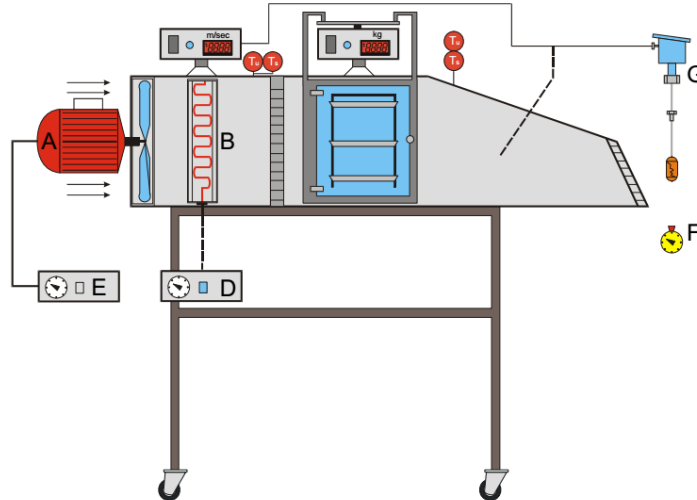
- Utilisation of a psychrometric chart.
- Mass balance.
- Verification of the drying rate states.
- Determination of the drying curves.
- Determination of the working parameters of a real scale plant.
- Influence of the air temperature on the drying rate.
- Influence of the air speed on the drying rate.

5. Required services

- Electrical supply: 220/240 V single-phase – 50/60 Hz, 3.5 kW

6. Dimensions and Weights

- Dimensions: 1900 x 650 x 1400 h mm
- Weight: 200 kg



Key of drawing

- A. Axial fan
- B. Electrical resistances
- C. Electronic balance
- D. Electrical resistance power regulator
- E. Fan speed electronic regulator
- F. Stop-watch
- G. Anemometer
- Tu No. 2 wet bulb thermometers
- Ts No. 2 dry bulb thermometers

Cod. R00350/E 1212 Ed. 01 Rev. 02

In any time and without notice, Didacta Italia can carry out any appropriate modification on the product details, always maintaining their main features, according to the designing and teaching necessity.

Page 2

Anexo 7. Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Metodología
¿Cómo influyen la temperatura y tiempo de secado en la extracción de aceite de esencial de jengibre (<i>Zingiber officinale</i>) variedad amarillo jamaiquino ecotipo de Junín?	Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en la extracción de aceite de esencial de jengibre (<i>Zingiber officinale</i>) variedad amarillo jamaiquino ecotipo de Junín.	La temperatura y tiempo de secado influyen significativamente en la extracción de aceite de esencial de jengibre (<i>Zingiber officinale</i>) variedad amarillo jamaiquino ecotipo de Junín.	Tipo de investigación: Experimental puro Tipo de Diseño: Superficie de respuesta del tipo de diseño centrado en las caras

Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variables
¿Cómo es la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el rendimiento del aceite esencial?	Analizar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el rendimiento del aceite esencial.	La temperatura y tiempo de secado influyen en el rendimiento del aceite esencial.	a) Variables independientes X1: Temperatura de secado (°C) ' Y2: Tiempo de secado (horas)
¿Cómo es la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el índice de refracción del aceite esencial?	Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en el índice de refracción del aceite esencial.	La temperatura y tiempo de secado influyen en el índice de refracción del aceite esencial.	b) Variables dependientes Y1: Rendimiento (v/p) Y2: Índice de refracción Y3: Características sensoriales olor y sabor
¿Cómo es la influencia de la temperatura y tiempo de secado en las características sensoriales del aceite esencial?	Determinar la influencia de la temperatura y tiempo de secado en las características sensoriales del aceite esencial.	La temperatura y tiempo de secado influyen en las características sensoriales del aceite esencial.	