

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**“PROCESO DE SECADO DE SEMILLA DE PAPAYA (*Carica
Papaya*) PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE”**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO QUIMICO**

PRESENTADO POR

**MORAN ROMERO ANGIE CINDY
BACA CAURINO ELIZABETH VICTORIA**

ASESOR

ING° JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA

CALLAO – NOVIEMBRE – 2018

PERÚ

PRÓLOGO DEL JURADO

La presente Tesis fue Sustentada por las señoritas Bachiller **BACA CAURINO ELIZABETH VICTORIA** y **MORAN ROMERO ANGIE CINDY** ante el **JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS** conformado por los siguientes Profesores Ordinarios:

ING° JULIO CÉSAR CALDERÓN CRUZ	PRESIDENTE
ING° MARÍA ESTELA TOLEDO PALOMINO	SECRETARIA
ING° VICTORIA YSABEL ROJAS	VOCAL
ING° JUAN TAUMATURGO MEDINA COLLANA	ASESOR

Tal como está asentado en el Libro de Actas N° 1 de Tesis con Ciclo de Tesis Folio N° 39 y Acta N° 38 de fecha **VEINTISÉIS DE NOVIEMBRE DE 2018**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico en la Modalidad de Titulación de Tesis con Ciclo de Tesis, de conformidad establecido por el Reglamento de Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 309–2017–CU de fecha 24 de octubre de 2017 y su Cuarta Disposición Transitoria.

DEDICATORIA

A Dios por ser nuestro guía y fortaleza; y en especial dedicamos el presente trabajo a nuestros padres: Lucia Romero Pariona; Walter Baca y Victoria Caurino, por su sacrificio, amor y apoyo incondicional, que con sus consejos y disciplinas nos inspiran a ser mejores personas y grandes profesionales.

Además, a cada uno de nuestros queridos hermanos, con especial cariño, por la amistad que siempre nos unió.

ÍNDICE

	Pag
INTRODUCCIÓN	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. Identificación del Problema	9
1.2. Formulación del Problema	9
1.2.1. Problema General	9
1.2.2. Problemas Específicos	9
1.3. Objetivos de la Investigación	10
1.3.1. Objetivo General	10
1.3.2. Objetivos Específicos	10
1.4. Limitantes de la investigación	10
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de estudio	11
2.2. Marco Conceptual	13
2.2.1. Papaya Carica	13
2.2.2. Semillas de papaya	15
2.2.3. Proceso de Secado	19
2.2.4. Aceite esencial	31
2.3. Definiciones de términos	35
III. VARIABLES E HIPOTESIS	37
3.1. Variables de la Investigación	37
3.1.1. Variable Dependiente	37
3.1.2. Variable Independiente	37
3.2. Operacionalización de las Variables	37
3.3. Hipótesis	37
3.3.1. Hipótesis general	37
3.3.2. Hipótesis Específicas	38

IV. METODOLOGÍA	39
4.1. Tipo y diseño de Investigación	39
4.1.1. Tipo de investigación	39
4.1.2. Diseño de Investigación	39
4.2. Población y muestra	40
4.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información documentada	40
4.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información en campo	41
4.5. Análisis y procesamiento de datos	47
V. RESULTADOS	49
5.1. Resultados descriptivos	49
5.1.1. Curvas de secado	49
5.1.2. Ajuste de la curva	54
5.2. Resultados Inferenciales	56
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	57
6.1. Contrastación de la hipótesis	57
6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares	57
6.3. Responsabilidad ética	59
VII CONCLUSIONES	60
VIII RECOMENDACIONES	61
IX REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	62
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Papaya	14
FIGURA 2.2	Morfología de la semilla de papaya	17
FIGURA 2.3	Partes externas de la semilla de la papaya	17
FIGURA 2.4	Partes internas de la semilla de la papaya	18
FIGURA 2.5	Secador de bandejas o de armario	23
FIGURA 2.6	Secador rotatorio horizontal	23
FIGURA 2.7	Secador de túnel	24
FIGURA 2.8	Secador de tambor	25
FIGURA 2.9	Secador de lecho fluidizado	26
FIGURA 2.10	Curva de secado	27
FIGURA 2.11	Curva de velocidad de secado	29
FIGURA 4.1	Proceso de pretratamiento de semillas de papaya	42
FIGURA 4.2	Recipiente de malla para semillas de papaya	44
FIGURA 4.3	Descripción de equipo de secador rotatorio de vidrio	44
FIGURA 4.4	DATA Q conectado e instalado en la PC del Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química	45
FIGURA 4.5	Balanza y desecador con semillas de papaya después del secado	46
FIGURA 4.6	Diagrama de bloques del proceso de secado de semillas de papaya (<i>Papaya</i>) para la obtención de aceite	47

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1	Variedad comercial de papaya	15
TABLA 2.2	Composición de la papaya	18
TABLA 2.3	Composición de la papaya	19
TABLA 3.1	Operacionalización de las Variables	37
TABLA 5.1	Constantes obtenidas del Modelo matemático Midilli	55
TABLA 6.1	Cuadro de estudios similares	58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 5.1	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 40°C, Número de malla 2 500, Velocidad de rotación de 10 rpm	50
GRÁFICO 5.2	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 55°C, Número de malla 2 500, Velocidad de rotación de 20 rpm	50
GRÁFICO 5.3	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 70°C, Número de malla 2 500, Velocidad de rotación de 30 rpm	51
GRÁFICO 5.4	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 40°C, Número de malla 3 150, Velocidad de rotación de 20 rpm	51
GRÁFICO 5.5	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 55°C, Número de malla 3 150, Velocidad de rotación 30 rpm	52
GRÁFICO 5.6	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 70°C, Número de malla 3 150, Velocidad de rotación de 10 rpm	52
GRÁFICO 5.7	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 40°C, Número de malla 4 000, Velocidad de rotación de 30 rpm	53
GRÁFICO 5.8	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 55°C, Número de malla 4000, Velocidad de rotación de 10 rpm	53
GRÁFICO 5.9	Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al tiempo a una temperatura de 70°C, Número de malla 4 000, Velocidad de rotación de 20 rpm	54

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país muy rico en diversidad frutícola muchas de ellas con grandes beneficios para el ser humano los cuales pueden ser múltiplemente aprovechados además que se cuenta con un mercado de los consumidores de productos naturales por sus propiedades nutritivas, medicinales y sabor.

Planteamos un proyecto rentable generando aceite de semilla de papaya, con uno de los frutales más precoces, la papaya (*Carica papaya* L), un fruto silvestre que hoy en día se cultivan en la región del Alto Huallaga, que ofrece ingresos a partir de los 6 meses de trasplantado. A esto hay que agregarle que los proyectos de inversión social ven en esta planta una buena alternativa de alimento y fuente de empleo.

Según la FAO, en el año 2016 se cultivaron alrededor de 12,328 ha, con una producción de 169 437 toneladas. Encontrándonos dentro de los 10 principales productores de papaya.

Debido al alto consumo anual, gran cantidad de semillas de papaya que se generan en el su procesamiento industrial son considerados residuos.

Estas semillas se pueden utilizar como una potencial fuente de aceite, sin embargo las semillas de papaya se caracterizan por su alto contenido de humedad (70% – 80%) es por ello que mediante una operación óptima de secado permitirá su procesamiento.

Las condiciones de secado (temperatura el aire, velocidad del aire...) deben ser cuidadosamente estudiados, con el fin de obtener un aceite de alta calidad, con un buen rendimiento. De lo contrario, el secado inadecuado puede conducir a un daño irreversible a la calidad del producto. En este trabajo evaluaremos una óptima condición experimental del secado que proporcione el máximo rendimiento con respecto al aceite de semillas de papaya.

RESUMEN

El secado de semillas de papaya (*Carica Papaya*) fue realizado en un secador rotatorio discontinuo de vidrio, para una mejor visualización del proceso, a escala de laboratorio. Las semillas de papaya previamente lavadas y seleccionadas por número de malla (4 000; 3 150 y 2 500) fueron ingresadas al secador, bajo ciertas condiciones de temperatura que fueron 40°C, 55°C y 70°C a distintas velocidades de rotación (10, 20 y 30 rpm), pesando dichas muestras en un intervalo de 30 minutos o hasta peso constante.

De acuerdo con las corridas experimentales, las condiciones óptimas fueron las semillas de la malla N° 4 000, secado a una temperatura de 55°C, a una velocidad de rotación de 10 rpm, con un flujo constante de aire a 450 L/min hasta un tiempo de 3 horas y 30 minutos. Los datos obtenidos fueron ajustados a distintos modelos matemáticos para secado de alimentos como Newton, Wang and Singh, Page, Midilli, Logarítmico, Henderson y Pabis, de dos términos exponencial.

El modelo matemático que mejor se ajustó a la curva con los datos experimentales fue el modelo de Midilli, aplicando una regresión no lineal obteniendo una correlación promedio R^2 igual a 0,9997 y una varianza de 0,0000480661, obteniendo una mejor calidad de ajuste en la curva de secado.

ABSTRACT

The drying of papaya seeds (*Carica Papaya*) was carried out in a discontinuous glass rotary dryer, for a better visualization of the process, at laboratory scale. The papaya seeds previously washed and selected by mesh number (4 000; 3 150 and 2 500) were introduced to the dryer, under certain temperature conditions that were 40°C, 55°C and 70°C at different rotation speeds (10, 20 and 30 rpm), weighing said samples in a range of 30 minutes or until constant weight.

According to the experimental runs, the optimum conditions were the seeds of the N° 4 000 mesh, dried at a temperature of 55°C, at a rotation speed of 10 rpm, with a constant flow of air at 450 L/min. a time of 3 hours and 30 minutes. The obtained data were adjusted to different mathematical models for food drying as Newton, Wang and Singh, Page, Midilli, Logarithmic, Henderson and Pabis, of two exponential terms.

The mathematical model that best fitted the curve with the experimental data was the Midilli model, applying a non-linear regression obtaining an average correlation R^2 equal to 0,9997 and a variance of 0,0000480661, obtaining a better quality of adjustment in the drying curve.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

En el Perú la producción de papaya ascendería a 480 toneladas que equivalen a 12 mil hectáreas, cuya producción se concentra en un 80% en la región de Ucayali y el 20% se reparte entre la región del Cusco y la sierra de Ayacucho (Daga Ávalos, 2012)

El 100% de la producción de papaya está destinado al mercado interno, eso quiere decir que no hay exportación considerable de papaya, de este 100% de producción, el 60% es destinado a la región de Lima, cuya variedad es llamada “papaya criolla” y el 40% sería destinado al interior del país. (SENASA, 2009). Entonces como gran parte de papaya es destinada a Lima y desechan la cáscara, pepas y hojas, consumiendo sólo la pulpa; se deberá sacar provecho de dichos desechos.

Uno de los desechos que se pueden aprovechar, es la semilla de papaya, cuyo contenido de ácido oleico (hasta un 74%) y linoleico es elevado; por tanto, se podrá aprovechar realizando una extracción para la obtener dicho aceite, pero para mejorar la calidad del aceite esencial, se deberá realizar previamente un secado, reduciendo así la cantidad de agua en el aceite de semilla de papaya, mejorando su calidad y la eficiencia de la extracción.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo debe ser el proceso de secado de semilla de papaya para la obtención de aceite?

1.2.2. Problemas Específicos

- 1)** ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la semilla de papaya que ingresan en el proceso de secado para la obtención de aceite?
- 2)** ¿Cuáles son los parámetros para el proceso de secado de la semilla de papaya para la obtención de aceite?
- 3)** ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del aceite de semilla de Papaya obtenidas después del proceso de secado?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Precisar el proceso de secado para la obtención de aceite

1.3.2. Objetivos Específicos

- 1)** Caracterizar las semillas de papaya que ingresan en el proceso de secado para la obtención de aceite.
- 2)** Evaluar los parámetros óptimos para el proceso de secado de la semilla de papaya para la obtención de aceite.
- 3)** Caracterizar el aceite de semilla de Papaya obtenido después del proceso de secado

1.4. Limitantes de la investigación

Durante el desarrollo de la investigación surgieron situaciones limitantes tales como:

- a)** La concientización de la aplicación de residuos alimenticios resulta poco tolerable aun en los mercados, además del desconocimiento y la falta de orientación de nuevos usos del producto hacen que las muestras de semillas inutilizadas sean indisponibles para el avance de la recolección de muestra.
- b)** El tema de estudio de las semillas de la papaya es muy limitante ya que existen pocas revisiones bibliográficas de sus características y propiedades cuales pueden aportar a la mejora del proyecto en su fase inicial.
- c)** La investigación se basa en un proceso de secado discontinuo, ya que el equipo utilizado no es un secador específico para semillas.
- d)** La falta de equipos para el análisis de la lectura de las muestras de aceite no permite el desarrollo continuo de la experimentación para evaluar el rendimiento de dicho aceite.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Castro Landín, Morales, & Aranguen Gonzáles (2000), en su investigación “Fundamentos teóricos – prácticos sobre el cultivo y cosecha de la papaya (*Carica papaya* L.)”, menciona que los frutales tropicales son altamente apreciados para el consumo humano a nivel mundial, pues contienen vitaminas y otros elementos esenciales para la vida. Entre estos frutales está la papaya que tiene la virtud de permitir obtener altas producciones en un corto período de tiempo.

Navarro Cruz, Rojas Zenteno, Lazcano Hernández, & Vera López (2016) Sostuvieron la investigación “Propiedades funcionales de semillas de papaya (*Carica papaya* L.)”, en donde dieron a conocer que la papaya (*Carica papaya*) es una fruta tropical suculenta consumida ampliamente tanto como fruta fresca como en jugos, lo que genera 12% – 32% de desperdicio en forma de semilla, y a pesar de que existe un gran número de reportes acerca de sus efectos benéficos sobre la salud, no se cuenta con una caracterización de sus propiedades funcionales necesaria para evaluar su posibilidad de valorización y aprovechamiento en alimentos diversos, por lo que en el presente trabajo se evaluaron las propiedades funcionales de las semillas de papaya (capacidad de formar emulsiones y espumas, así como la estabilidad de éstas, capacidad de hidratación, capacidad de absorción de grasa y agua y evaluación sensorial)

Simá Moo(2009) define en su tesis doctoral “Estudio Teórico-Experimental de un prototipo de secador solar industrial” que secar significa remover pequeñas cantidades de agua de cierto material. Existen diferentes métodos para secar los granos como son: el secado natural y el secado artificial. Actualmente la industria utiliza el secado artificial porque permite controlar el tiempo de secado del grano y disminuir las pérdidas, de mejor manera que el secado natural. El secado artificial, también llamado secado industrial, consiste en depositar el grano o producto agrícola en

contenedores formando lechos y hacer pasar a través del alimento aire caliente por medio de circulación forzada.

Sanchez Aguilar (2009) en su investigación “Efecto del secado en semillas de papaya (*Carica papaya* L.) En la calidad a través del tiempo” evaluó dos métodos de secado: A temperatura ambiente. Colocando la semilla sobre un papel filtro de calibre sobre una mesa de granito a una temperatura ambiente de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa 38%, el tiempo de secado se realizó durante tres días hasta obtener un contenido de humedad en la semilla de 7% y otra A ventilación artificial. Colocando la semilla sobre papel filtro de calibre sobre una mesa de granito bajo un ventilador con 35 cm de diámetro a baja velocidad, con una temperatura ambiente de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa 38%, el tiempo de secado se realizó durante seis horas hasta obtener un contenido de humedad en la semilla de 7%. Además, enunció que las semillas son materiales higroscópicos que pierden o ganan humedad con relación a la humedad relativa del aire. Durante el secamiento la humedad relativa debe estar entre el 40% y 70% durante las horas de secamiento la 26 humedad relativa puede ser menor (40%) pues en ese momento las semillas tienen humedades altas y temperaturas bajas lo cual hace que demoren un poco para entrar en equilibrio higroscópico. Al final del secamiento la humedad relativa del aire debe ser más alta (70%) para evitar el sobre secamiento de las etapas de la semilla que ya están secas.

Vega y Lemus (2006) estudiaron el “Modelado de la cinética del secado de la papaya chilena (*Vasconcellea pubescens*)” a diferentes temperaturas (40°C , 50°C , 60°C , 70°C y 80°C) con velocidad de aire de $2,0 \pm 0,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Los modelos matemáticos aplicados fueron el modelo de Newton, Henderson – Pabis y Page. Además, se evaluó la calidad de ajuste de estos modelos por medio del coeficiente de regresión lineal, suma de errores cuadrados, raíz media de los errores cuadrados y Chi – cuadrado. Los parámetros cinéticos de cada modelo presentaron la dependencia usual con la temperatura, y fueron evaluadas con la ecuación de Arrhenius.

Al comparar los valores experimentales con los calculados, se demostró que el modelo de Page obtuvo la mejor calidad de ajuste en cada curva de secado, representando una excelente herramienta para estimar el tiempo de secado de este producto.

García Dean, Vázquez Badillo, Torres Tapia, Dávila Cabello, & Sánchez Aspeytia (2011) presenta “Métodos de extracción de semilla en papaya Golden y la relación con la longevidad” donde evaluó seis tratamientos de extracción de semilla: se utilizó ácido clorhídrico (HCl) a 0,3% y 0,5% durante una hora de reposo, ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 0,3% a 1,5 h de reposo, hipoclorito de sodio (NaClO) al 5% con media hora de reposo y fermentación a 48 y 72 h. La semilla extraída fue almacenada durante 90, 180 y 240 días a 4°C. Se evaluó la germinación y vigor de la semilla. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial.

Los resultados indicaron que la calidad fisiológica de la semilla, fue afectada por los efectos de deterioro que causa el almacenamiento y por los métodos de extracción de semilla; sin embargo, la semilla conserva su calidad fisiológica hasta los 240 días de almacenamiento, en los tratamientos a base de HCl al 0,3% y fermentación por 24 h con 93,3% y 91,2% de germinación después de 240 días de almacenamiento.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Papaya Carica

a) **Origen e historia.** - Su origen se ubica en las tierras bajas de la América Tropical, específicamente en Mesoamérica o la región que incluye el sureste de México hasta Costa Rica; fue descrita por primera vez en 1526 por el historiador Fernández de Oviedo y en su descripción mencionó que los colonizadores españoles la llamaban “higos de mastuerzo” y “papaya de los pájaros”. A través del intercambio natural entre los primeros pobladores de América y el Caribe, la fruta logró diseminarse por muchas regiones de esas áreas.

Los relatos del siglo XVIII de los viajeros y botánicos indican que las semillas de papaya fueron llevadas del Caribe a Las Molucas y de ahí

a la India. Desde Las Molucas y Filipinas se distribuyó a toda Asia y a la región del Pacífico Sur. (Jiménez, 2002, p.3)

Adicionalmente investigaciones recientes señalan gran concentración de especies del género *Carica* en la región de Los Andes, entre Brasil, Bolivia, Colombia y Venezuela, lo cual hace suponer que esa región puede ser el verdadero centro de origen de la papaya por existir allí mayor compatibilidad genética entre estos materiales para darse un cruzamiento natural (Montenegro, 1994). Ahora se encuentra cultivado en extensas zonas por todas las regiones tropicales y subtropicales. En los últimos años el 50% de la producción mundial se concentra en Brasil, México y la India.



Figura N° 2.1 Papaya

Fuente: Elaboración propia

- a) Nominaciones y clasificación taxonómica.-** La papaya cuyo nombre científico es *Carica papaya*, pertenece a la familia de las Caricáceas, orden parietales. En centro América es conocido vulgarmente por los nombres de "Higueras de las islas" (Puerto Rico), "Papaya calentona" (Brasil) y "Mammona. (Cuba)(Ibar, 1979)

Clasificación taxonómica:

- 1) Clase : Dicotiledónea
- 2) Subclase : Arquitlariodea
- 3) Grupo : Dialipétalas
- 4) Orden : Parietales
- 5) Familia : Caricáceae
- 6) Género : Carica
- 7) Sub. Género : Papaya
- 8) Especie : Carica Papaya L.

Tabla Nº 2.1

Variedad comercial de la papaya

VARIEDAD	LUGAR	RENDIMIENTO TM/HA	FORMA DEL FRUTO	CARÁCTER DESTACABLE
PTM – 331	Tingo María	40	Oval	Rend. Calidad de Fruto
PAUNA	Chanchamayo	45	Elongata	Tamaño de Fruto
MARADOL	Cuba	40	Global	Rendimiento
SOLO	Hawai	35	Redonda	Rendimiento
PTU – 478	Pumahuasi	45	Elongata	Rendimiento
PTU – 405	Tulumayo	38	Redonda	Calidad de Fruto

Fuente: Carbajal, 2004

2.2.2. Semillas de papaya

La semilla es el producto del óvulo fertilizado, que en las angiospermas se forma dentro del ovario, y es el resultado de la reproducción sexual. La forma de las semillas está determinada por el tipo de óvulo del que se han originado y su posición dentro del fruto. El tamaño está determinado por la posición que guardan las semillas dentro del fruto y por la cantidad de nutrimentos que reciban durante su ontogenia.

Ferwerda (1987) menciona que la semilla es de color negro, contiene un embrión pequeño, aplanado lateralmente y rodeado por endospermo, así como una cubierta formada por una endotesta dura y de una sarcotesta traslúcida que contiene un fluido delgado mucilaginoso.

Según Morin (1967), la semilla es de color grisáceo, a negro y está envuelto en una fina membrana brillante (arilo). El número de semillas por frutos puede variar de 0 a 800, en frutos femeninos, se han encontrado hasta 1 000 – 1 400 semillas por papaya.

Las semillas de las angiospermas pueden dividirse en tres partes, de origen genéticamente diferente: la cubierta seminal o testa, el endospermo y el embrión (Fosket, 1994) La cubierta seminal es la estructura que rodea y protege a las partes internas de la semilla de daños físicos y bióticos procedentes del exterior (Besnier, 1988). El endospermo es un tejido de almacenamiento que se origina a partir de la fusión de uno de los núcleos espermáticos del tubo polínico con dos o más núcleos polares del saco embrionario, dando como resultado un tejido triploide o poliploide. El embrión de las angiospermas consta de un breve eje que lleva uno o dos cotiledones u hojas embrionales (Becerra y Chaparro, 1999)

a) Características de la semilla.- La semilla de papaya es de forma ovoide y de color marrón oscuro en la madurez. Su tamaño fluctúa entre 4 y 6 mm, por estas características, Eames (1961) la consideró como una semilla de tamaño pequeño, propio de las especies primitivas (Niembro, 1988) La semilla de papaya se caracteriza por ser bitegumentada, pues el tegumento interno origina el tegmen y el externo a la testa, la cual es multiplicativa hasta con 60 capas y tres estratos distintivos: endotesta, mesotesta y exotesta (sarcotesta). Ésta última de consistencia semipermeable, humedad alta y concentra compuestos fenólicos que, en conjunto, inducen latencia (Kubitzki, 2003). Las semillas alcanzan su madurez cuando el fruto también está maduro. Se concentran en el saco seminal y cada una está rodeada de un tejido mucilaginoso llamado sarcotesta.

Con un corte transversal (**Ver Figura Nº 2.2**) a la semilla de papaya, se muestra la estructura interna de la semilla de *Carica papaya* a) embrión; b) endospermo; c) endotesta; d) mesotesta; e) tegmen; f) rafe.

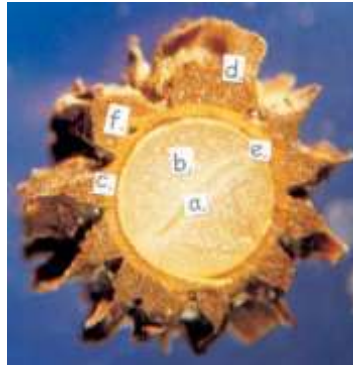


Figura N° 2.2 Morfología de la semilla de papaya

Fuente: Gil & Miranda, 2005

La exotesta es de consistencia carnosa, jugosa, de color anaranjado y se le conoce como sarcotesta. La mesotesta es oscura, rugosa y dura.



Figura N° 2.3 Partes externas de la semilla de la papaya

Fuente: Gil & Miranda, 2005

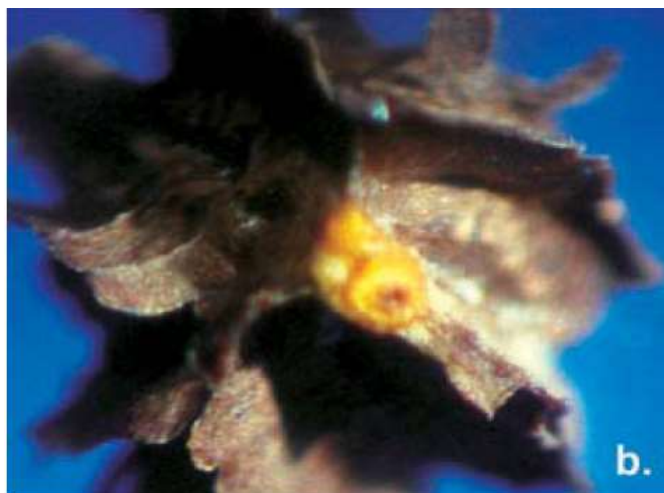


Figura N° 2.4 Partes internas de la semilla de la papaya

Fuente: Gil & Miranda, 2005

La semilla tiene una densidad aparente de 0,18 g/cc y un promedio de 42,98% base seca de cáscara y un 57,02% de almendra. En peso de 100 semillas (secas) varía de 1,5 a 2,5 g (CARBAJAL, 1991)

b) Composición de la semilla.- Rosas (1988), presenta en la **Tabla 2.2.** los resultados promedios de la semilla sobre base húmeda y seca.

Tabla N° 2.2

Composición de la semilla de papaya (Carica papaya L.)

ELEMENTO	SEMILLAS	
	% BASE HÚMEDA	% BASE SECA
Humedad	11,70	---
Materia seca	88,30	100,00
Proteína	24,58	27,74
Grasa	30,00	33,97
Fibra	24,30	27,51
Ceniza	5,69	6,44
Carbohidratos	3,73	4,34

Fuente : Rosas, 1988

CABIESES (1993), la semilla tiene un alto contenido de aceite (25%) y proteínas (24%), con una amplia variedad de ácidos grasos (oleico, mirística, palmítico, esteárico, etc.) y un glucósido que ha sido bautizado como caricina y que parece ser idéntico a la sinigrina de las semillas de la mostaza negra, con acción irritativa.

Tabla Nº 2.3

Composición de las semillas de papaya (Carica papaya L.)

Parte analizada	Compuesto químico	Referencia Bibliográfica
Semilla	Ácido linoleico	Mani y Laksminoraya 1970
	Bencil isotiocianato	Taller et al 1974
	Glucotropeolina	
	Ác. Ascórbico	Chandrasekarann et al 1978
	Pectina	
	Sucrosa	
	Ác. Aldobirónico	
	Ác. D – glucosilurónico, D – galactosa	
	L – arabinosa	
	D – galactosa	
	D – glucosa	
	Papaína	
	L – raminosa	
	Carpaína	Tang 1979

Fuente: Yesid Benal, 1990

2.2.3. Proceso de Secado

El secado es un proceso en el que el agua se elimina para detener o aminorar el crecimiento de microorganismos perjudiciales, así como de ciertas reacciones químicas. La eliminación de agua de los alimentos se consigue mayoritariamente utilizando aire caliente que elimina el agua de la superficie del producto y la lleva hacia fuera. El proceso de secado de alimentos no sólo afecta al contenido en agua del alimento, sino también a otras de sus características físicas y químicas.

Desde la antigüedad se ha reconocido que los alimentos con mayor contenido en humedad son los más perecederos, de tal manera que el control del contenido en agua es una herramienta para su conservación. Se ha observado también que diferentes alimentos con el mismo nivel de humedad pueden ser muy diferentes en su estabilidad por lo que se deben tener en cuenta además las interacciones del agua con otros componentes del alimento.

En este sentido, un aumento de la estabilidad se relaciona con una depresión de la actividad del agua (a_w), de manera que este parámetro puede ser considerado como una medida indirecta de la disponibilidad del agua presente en el producto para participar en las reacciones de deterioro o en el crecimiento microbiano.

La remoción de agua en forma de vapor desde la superficie del sólido depende de condiciones externas de temperatura, flujo y humedad del aire, área de la superficie del material expuesta y presión mientras que el movimiento del agua a través del sólido depende de su composición física, la temperatura y su porcentaje de humedad (Mujumdar, 2006)

La deshidratación de alimentos no es una operación unitaria trivial. Son varios los factores que afectan al rendimiento de un secadero, así como a la calidad del producto durante la operación de secado. Los cambios físicos y químicos del alimento durante una operación de secado pueden potenciar ciertas características deseadas de los productos, pero también puede disminuir la cantidad de nutrientes y cambiar las propiedades organolépticas. Sin embargo, con un adecuado manejo, estas reacciones y cambios físicos pueden asegurar un alimento con un alto contenido en nutrientes y aumentar significativamente su vida comercial.

a) Factores Involucrados en el Secado.- Transferencia de calor

- 1) Transferencia de calor desde el medio calefactor a la superficie líquida.
- 2) Transferencia de calor en la película de líquido adherida al sólido.
- 3) Transferencia de calor directa del sólido al líquido.

- 4) Transferencia de calor del sólido al líquido a través de la película superficial y dentro de los intersticios y poros de la masa sólida.
- 5) Transferencia de calor desde el medio calefactor a la zona de sólido seco.
- 6) Conductividad térmica del líquido.
- 7) Conductividad térmica del sólido húmedo.
- 8) Conductividad térmica de la zona cercana al sólido seco.
- 9) Calor latente del líquido.
- 10) Calor de hidratación, cuando se elimina agua combinada al finalizar el proceso de secado.
- 11) Relación entre la temperatura y la licuefacción del material.

b) Atmósfera de secado :

- 1) Presión y temperatura de la atmosfera de secado.
- 2) Composición de la atmósfera de secado, incluyendo cambios en la presión parcial del líquido a través del proceso de secado.
- 3) Velocidad relativa de la atmósfera de secado respecto de la superficie a secar.
- 4) Presión de vapor efectivo del líquido, considerando los cambios de la eliminación de la temperatura de ebullición durante el proceso de secado.

c) Propiedades físicas generales del sistema sólido y líquido :

- 1) Tensión superficial entre el sólido y líquido.
- 2) Espesor de la película adherido al sólido.
- 3) Relación entre el área superficial y el volumen de líquido contenido en los poros.
- 4) Coeficiente de difusión del vapor en los poros.
- 5) Sección capilar de líquidos dentro de los poros.
- 6) Gradiente de concentración de líquidos dentro de los poros.
- 7) Tamaño de la molécula de líquido.
- 8) Contenido máximo de impurezas solubles que pueden tolerarse en el líquido residual presente en el material húmedo.

d) Propiedades del sólido :

- 1) Tamaño de la partícula.
- 2) Área efectiva del sólido
- 3) Porosidad, es decir, tamaño y longitud de los poros y la extensión en que están ramificadas.
- 4) Solubilidad del sólido en el líquido cuando el líquido es parte de la estructura del sólido húmedo.
- 5) Dureza superficial de barros al secar y la relación de este efecto con la velocidad de secado.
- 6) Resistencia del material seco a la fricción.
- 7) Máximo contenido del líquido tolerable en el producto seco.

e) Tipos de Secadores.- Los equipos de secado pueden clasificarse en secadores en donde los sólidos se encuentran directamente expuestos a un gas caliente (generalmente aire), y secadores en los que el calor es transmitido al sólido desde un medio externo (intercambiador de calor)

A continuación se muestran algunos tipos de secadores utilizados en la industria:

- 1) **Secador de bandejas o armario.**- Normalmente para régimen intermitente. Formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores, cada uno con un número de bandejas poco profundas (10 a 100 mm de profundidad) donde se cargara el material a secar. El aire caliente circula entra las bandejas por medio de ventiladores, siendo previamente calentado por medio de intercambio de calor, normalmente con tuberías por las que pasa vapor de agua. Cuando las características de diseño lo permiten, las bandejas pueden ser perforadas para aumentar el área de contacto entre el sólido y el aire disminuyendo así la duración del secado.
- 2) **Secador rotatorio.**- Secador de flujo continuo, posee una cáscara cilíndrica que gira sobre sus soportes y trabaja con una ligera

inclinación respecto a la horizontal. Su tamaño está en relación con su diámetro variando entre 4 y 10 veces. El material que ingresa avanza por gravedad en virtud de la rotación e inclinación, saliendo secos por el extremo opuesto. Cuando los gases avanzan en el sentido de la descarga, éstos ayudan al material a avanzar; pero también pueden ir en contra sentido.

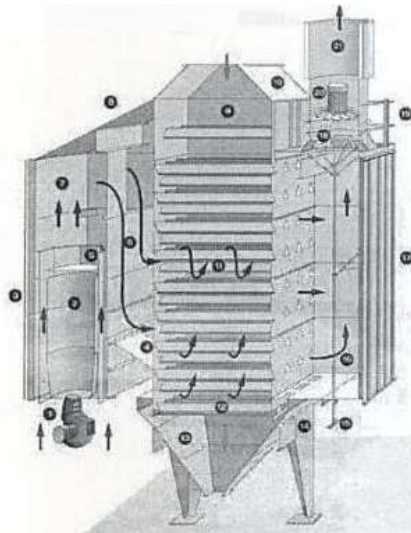


Figura N° 2.5 Secador de bandejas o de armario

Fuente: Caballero, 2015

Las partes de un secador rotatorio con aire caliente en contracorriente son: Carcasa del secador (A), rodillos para el soporte de la carcasa (B), engranaje (C), campana de descarga de aire (D), conducto de alimentación (F), pestañas elevadoras (G), descarga de producto (H) y calentador de aire (J)

- 3) **Secador de túnel.**- Se asemejan a los secadores de bandeja pero tienen un funcionamiento semi – continuo. Aquí las bandejas se cargan sobre carretillas que se trasladan a lo largo del túnel de secado, con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja con un flujo que puede ser a contracorriente, en paralelo o una combinación de ambos.

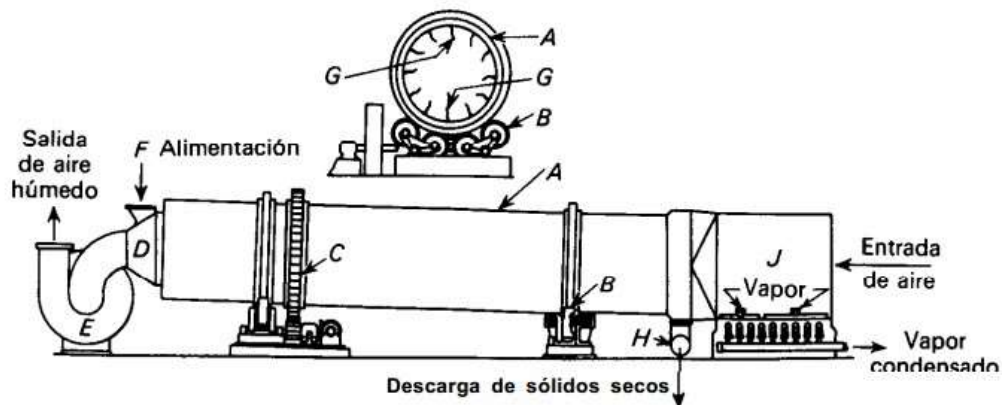


Figura N° 2.6 Secador rotatorio horizontal

Fuente: Caballero, 2015

Al introducir una nueva carretilla, la primera está siendo evacuada con el producto seco mientras las restantes se adelantan una posición en su recorrido. Así, estos conservan la flexibilidad de los de bandeja en cuanto a gama de productos que permite deshidratar aumentando la capacidad de producción con un funcionamiento prácticamente continuo.

Un secador de tambor consiste en uno o más rodillos metálicos calentados, en cuya superficie exterior se evapora hasta sequedad una delgada capa de líquido. El sólido seco es retirado de los rodillos a medida que éstos giran lentamente.

El líquido de alimentación queda confinado en la parte superior de los dos rodillos y limitado por placas estacionarias. El calor es transmitido por conducción hacia el líquido que es parcialmente concentrado en el espacio comprendido entre los rodillos. El líquido concentrado desciende formando una capa viscosa que recubre el resto de la superficie de los tambores. Prácticamente todo el líquido se vaporiza al girar los tambores, dejando una delgada capa de material seco que es retirado mediante cuchillas rascadoras y cae en los transportadores situados debajo. La

humedad evaporada se recoge y retira a través de la campana situada encima de los tambores.

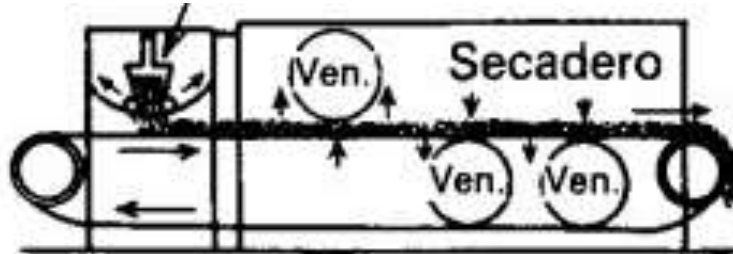


Figura N° 2.7 Secador de túnel

Fuente: Caballero, 2015

- 4) **Secador de tambor.**- Los secadores de doble tambor son eficaces con disoluciones diluidas, disoluciones concentradas de materiales muy solubles, así como con suspensiones de partículas relativamente finas. No son adecuados para disoluciones de sales de solubilidad baja o para suspensiones de sólidos abrasivos que sedimentan y crean una presión excesiva entre los tambores.
- 5) **Secadores de lecho fluidizado.**- Los secadores en los que los sólidos están fluidizados por el gas de secado se utilizan en diversos problemas de secado. Las partículas son fluidizadas con aire o gas en una unidad de lecho hirviente.

La mezcla y transmisión de calor son muy rápidas. La alimentación húmeda se introduce por la parte superior del lecho, el producto seco se retira lateralmente cerca del fondo. Algunos secadores de lecho poseen compartimientos fluidizados separados, a través de los cuales pasan secuencialmente los sólidos desde la entrada hasta la salida. Reciben el nombre de secadores de flujo pistónl y en ellos el tiempo de residencia es casi el mismo para todas las partículas. Las condiciones de secado se pueden variar de un comportamiento a otro, y con frecuencia el último comportamiento está fluidizado con gas frío, con el fin de

enfriar los sólidos antes de la descarga.

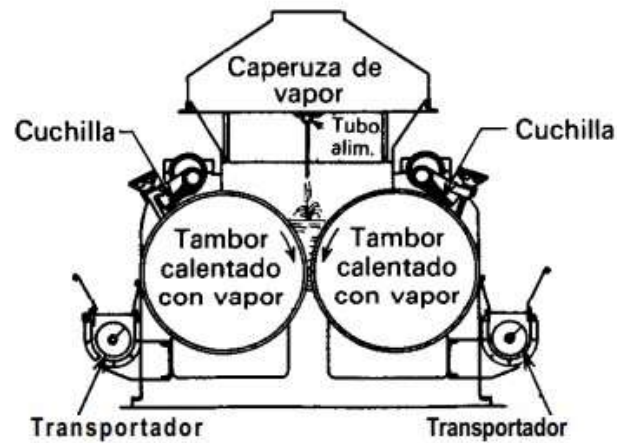


Figura N° 2.8 Secador de tambor

Fuente: Caballero, 2015

f) **Periodos de secado.**- La curva de secado es la evolución en el contenido de humedad del producto con el transcurso del tiempo. Gráficamente se representa como el contenido en humedad de la materia (X_w) frente al tiempo transcurrido desde que se inicia la operación de secado (t)

La **Figura N° 2.9** muestra una curva de secado típica de materiales muy húmedos en la que se observan tres zonas características (Fito et al., 2001):

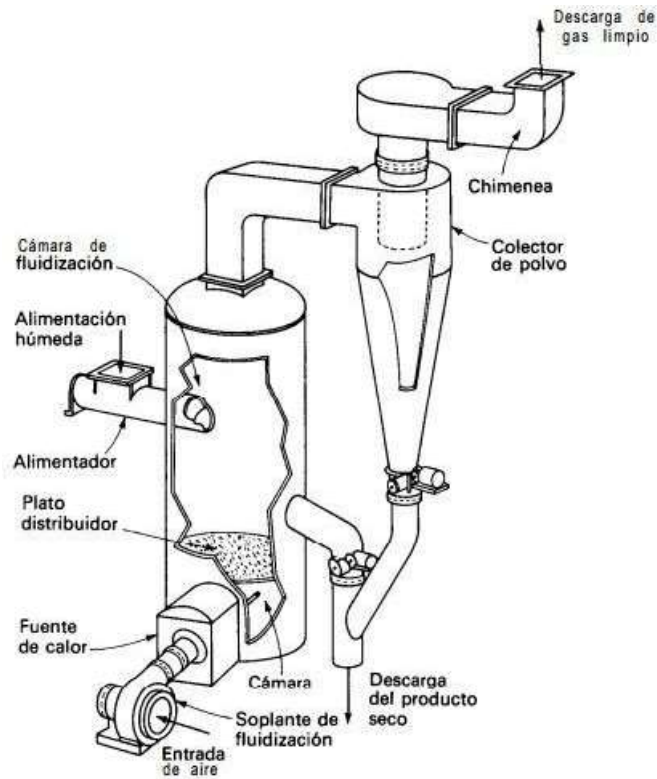


Figura N° 2.9 Secador de lecho fluidizado

Fuente: Caballero, 2015

- 1) Una primera zona A, en la cual la pendiente de la curva aumenta ligeramente con el tiempo y se denomina periodo de inducción.
- 2) Otra B, de pendiente constante
- 3) Y una tercera zona C, en la cual la pendiente disminuye con el tiempo.

Se define velocidad de secado como la velocidad con que disminuye la humedad del producto, es decir:

$$V_s = - \frac{\partial X_w}{\partial t}$$

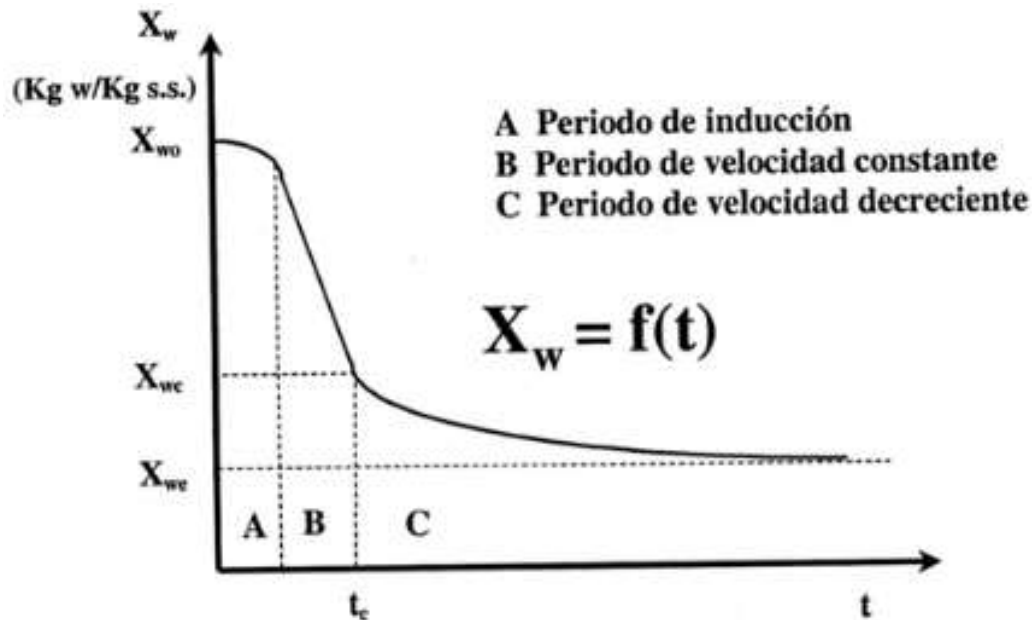


Figura N° 2.10 Curva de secado

Fuente: Xue Keqing, 2004

Por tanto, la pendiente de la curva de secado $\left(\frac{dX_w}{dt}\right)$ nos da la velocidad de secado, en la que también pueden diferenciarse las tres zonas definidas anteriormente como puede verse en la **figura N° 2.10**, así como su correspondencia con la curva de secado (Fito et al., 2001)

Estas tres zonas son las siguientes:

- 1) **Periodo de inducción o de velocidad de secado creciente.**- En esta etapa se inicia el proceso de secado de manera que el producto se calienta y aumenta la temperatura de la interfase, produciéndose una adaptación del material a las condiciones de secado.

Este periodo depende también de numerosos factores y su duración será función del contenido inicial de humedad del sólido, de su temperatura, de la velocidad del aire, los fines de cálculo se prescinde de él porque se considera que en su transcurso el secado

tiende al régimen estacionario, es decir a los periodos B y C, en los que se centra el estudio del secado (Fito, 2001)

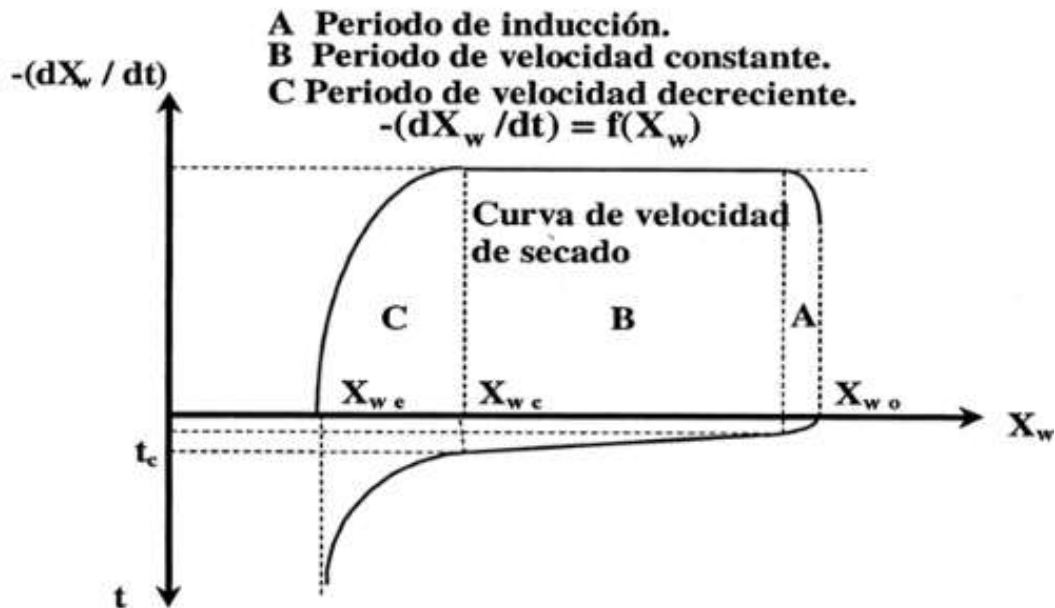


Figura N° 2.11 Curva de velocidad de secado

Fuente: Xue Keqing, 2004

- 2) **Periodo de velocidad de secado constante.**- La velocidad con que se elimina agua de la superficie del sólido es menor que la velocidad con que llega a ella desde el interior del mismo. De esta manera, la superficie del material se mantiene constantemente mojada y se comporta como una masa de líquido. De aquí que la velocidad de secado sea igual a la velocidad de evaporación del agua, que será a su vez proporcional a la velocidad de flujo de calor que llega desde el aire al sólido.

En tales condiciones, la temperatura de la interfase será constante y el calor que llega al sólido se invierte totalmente en evaporar el líquido. A medida que transcurre el tiempo, el sólido se va secando y llega un momento en el que la velocidad con que el

agua llega a la superficie se hace menor que la velocidad de evaporación, que implicaría el uso de toda la energía que llega del aire en evaporar agua del alimento. Desde este momento parte del calor que llega al sólido se invierte en calentarlo. El contenido de humedad del producto en dicho instante se conoce como humedad crítica (X_{wc}) (Fito, 2001)

- 3) Periodo de velocidad de secado decreciente.**- La humedad del producto sigue disminuyendo hasta alcanzar la humedad de equilibrio (X_{we}). En este periodo las líneas que se obtienen pueden ser curvas, en otros casos serán rectas o bien una combinación de ambas. La interpretación exacta del fenómeno aún no se ha dado pero hay varias teorías que intentan explicarlo.

En los casos en los que la disminución de la velocidad de secado es lineal con el contenido en humedad, se supone que la evaporación del agua que contiene el material continúa produciéndose en la misma forma que en el periodo de velocidad constante, con la salvedad de que no ocurre en toda la superficie, ya que comienzan a aparecer zonas secas, de manera que la velocidad de secado disminuye a medida que lo hace la superficie mojada; llega así un momento en el que toda la superficie queda seca y entonces se supone que el proceso continúa en una de las dos formas siguientes (Fito et al., 2001) :

- Si existe un frente de evaporación que se desplaza hacia el centro del sólido, de manera que el vapor que se produce es el que se difunde a través de la masa seca hacia el exterior, la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión de dicho vapor
- El otro mecanismo posible sería el de difusión de líquido a través de la masa sólida y su posterior evaporación en la superficie, por lo que la velocidad de secado dependerá de la velocidad de difusión del líquido.

2.2.4. Aceite esencial

Comúnmente llamados esencias, los aceites esenciales son sustancias de consistencia grasosa, más o menos fluidas, a veces resinosas, muy perfumadas, volátiles, casi siempre de color y más livianas que el agua. Se distinguen de los aceites fijos y de los principales lípidos porque se volatilizan bajo la acción del aire y del calor. Los principales constituyentes de los aceites esenciales son los hidrocarburos.

Los aceites esenciales se encuentran ampliamente distribuidos en unas 60 familias de plantas que incluyen las Compuestas, Labiadas, Lauráceas, Mirtáceas, Pináceas, Rosáceas, Rutáceas, Umbelíferas, etc. Las flores, frutos, hojas, raíces, semillas, arbustos, malezas y corteza de vegetales sirven de materia prima para su elaboración de acuerdo al vegetal a utilizar (Martínez, 2004)

El aceite, que presenta una coloración ligeramente verdosa, se ha obtenido mediante extracción con éter, y posterior caracterización, apreciándose que presenta un índice de yodo de 74,80; lo que indica que es relativamente bajo en ácidos grasos. La composición de los ácidos grasos muestra que los más abundantes son el oleico, palmítico, linoleico y esteárico, mientras que los demás están presentes en cantidades traza (Parni y Verma, 2014) El perfil de los ácidos grasos y el índice de yodo de este aceite son semejantes a los valores reportados para los aceites de olivo, pistache, nuez y almendra (Sancho y col., 2015) Todos ellos presentan también una alta concentración de ácido oleico.

a) Extracción con solventes.- Una de las formas tradicionales de separar la grasa de una materia oleaginosa es el tratamiento con disolvente. Cuando una semilla se pone en contacto con un disolvente y es posible su separación. Existen varios disolventes autorizados para extraer grasa, aunque el hexano comercial es el más utilizado.

Se trata de una mezcla de alcanos con unas propiedades muy similares a las del n – hexano, pero de menor coste. se caracteriza por ser suficientemente selectivo en la extracción de grasa como para que

el aceite extraído sea procesado fácilmente para obtener aceites comestibles, no es miscible con agua, ni solubiliza azúcares ni proteína (Caps, 2014)

La extracción con solvente es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceite vegetales y puede reducir el contenido de aceite de las semillas hasta menos de un 1% (Valderrama, & Aravena, 1994)

Y el rendimiento de la extracción con solvente está muy condicionado por la temperatura del disolvente, el tiempo de extracción, la cantidad de solvente y las características de la semilla, principalmente su estructura, tamaño y humedad. La temperatura elevada reduce la viscosidad del aceite y aumenta la solubilidad en el disolvente, sin embargo, si es muy elevado el aceite crudo también se enriquece en compuestos no deseables, como ceras y fosfáticos, que deberán ser eliminados en la refinación (Caps, 2014)

El hexano es el disolvente más ampliamente utilizado. La fracción oleosa de la semilla se solubiliza en el hexano durante la extracción y a continuación el hexano se destila y reutiliza.

Debido a su elevado carácter volátil en el aceite después de su obtención queda un residuo de hexano mínimo o nulo (Lawson, 1999) Sin embargo, de estos resultados se recomienda la extracción con solvente para la industria de jabones y cosméticos (Lafont, & Portacio, 2011)

Extracción con solvente es un procedimiento muy eficaz para la extracción de aceites vegetales y puede reducir el contenido de aceite de las semillas oleaginosas hasta menos de un 1%. La extracción por prensado deja un residuo aproximado de aceite de 6% La extracción por solvente es especialmente ventajosa en el tratamiento de semillas con un contenido bajo en aceite. A la extracción debe proceder la limpieza y trituración de la semilla.

Esta trituración tiene por finalidad abrir las células y facilitar la salida del aceite. La temperatura necesaria del proceso, a veces más elevada,

le da el disolvente, por lo cual las semillas trituradas no se calientan. La extracción por solvente es una típica operación de transferencia de masa, donde el solvente penetra en el sólido y el aceite contenido se hace miscible con el solvente. Este proceso de extracciones tanto más rápido cuando menos aceite contiene el disolvente y la cantidad extraída será mayor cuando más grande es la diferencia de concentraciones. Por esto, es ventajoso no dejar el disolvente en contacto con el material hasta la completa extracción, si no reemplazarlo por disolvente fresco. El aceite obtenido de esta manera, es de inferior calidad al obtenido por presión en frío, y debe ser refinado. (Valderrama, & Aravena, 1994)

- b) Centrifugación.-** El primer decánter centrifugó en una almazara a finales de 1960. El método de centrifugación es un proceso continuo, o en línea (semicontinuo), que es capaz de separar el aceite, por medio de la fuerza centrífuga (Aparicio & Harwood, 2003)

La centrifugación, al igual que la sedimentación, permite separar sólidos de líquidos o líquidos inmiscibles. La diferencia consiste que la separación se lleva a cabo por la acción de fuerza centrifugas que se generan durante la rotación del material. La intensidad de la fuerza centrífuga generada depende del radio y de la velocidad de rotación, así como la masa de la partícula a separar. La velocidad de separación dependerá de la velocidad de rotación y de las mismas variables indicadas para la sedimentación (Ordóñez, 1998)

La distinta densidad de los aceite nos permite también aplicar el principio de la fuerza centrífuga para realizar la separación. A cierta temperatura (máximo a 35°C), lo que ayuda a una mejor clarificación del aceite. La centrifuga puede ser causa de ciertos perjuicios en la calidad de aceite debido a que produce fuerte aireación en el aceite que puede dar lugar a la oxidación y pérdida de volátiles aromáticos (Caps, 2014)

c) Extracción por prensado en frío.- El prensado es el más utilizado desde tiempos antiguos para la extracción de aceites vegetales de consumo humano (Bailey, 2001; Valderrama, & Aravena, 1994) Al ser sometida a la presión, las gotas de aceite y los granos de grasa se separan de la masa. Las gotas que no quedaron libres por la trituración desgarran las paredes las células y se separan de la masa, pasando de las canales.

Es claro que las grasas líquidas o aceites abandonan más fácilmente la masa si se calientan, porque se disminuye su viscosidad. Con la elevación de temperaturas se coagulan también los cuerpos albuminoides y precipitan los mucilaginosos que están en las células vegetales, formando una especie de emulsión con el aceite. Por otra parte, se si calienta el aceite, aumenta el poder disolvente para los cuerpos que le dan olor, sabor y color, y que están contenidos en la semilla (Valderrama, & Aravena, 1994)

El proceso inicia con la maceración y el batido de la pulpa hasta lograr una consistencia homogénea. Después se somete a la acción de prensas hidráulicas, generalmente, y se hace pasar a través de una serie de centrífugas. Algunos productores han adicionado durante la molienda o maceración de la pulpa una mezcla de enzimas conocidas comercialmente como oleazas para mejorar la extracción del aceite (Kiritsakis, 1982; Ortiz, 2008)

d) Extracción con fluidos supercríticos.- La extracción de por fluidos supercríticos (EFSC) es una técnica alternativa de extracción que permite obtener fracciones de alimentos o alimentos de alta calidad con sus propiedades naturales intactas y exentos de residuos de disolvente. El poder de disolución de los fluidos supercríticos (FSC) se conoce desde más de 120 años, sin embargo, las bases tecnológicas para la extracción con FSC se diseñaron hace unos 30 años (Morata, 2010)

2.2. Definiciones de términos

- a) **Secado.**- Es un método de conservación de alimentos, consistente en extraer el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción.
- b) **Extracción.**- Es un procedimiento de separación de una sustancia que puede disolverse en dos disolventes no miscibles entre sí, con distinto grado de solubilidad y que están en contacto a través de una interface
- c) **Transferencia de Calor.**- Durante el secado se produce la transmisión de calor para evaporar el líquido y la transferencia de masas entre el cuerpo secado y el aire.
- d) **Contenido de humedad en base húmeda.**- Es la fracción de agua contenida en el sólido al sólido húmedo y se define por la siguiente expresión :

$$X_h = \frac{m_w}{m_w + m_s}$$

Dónde:

m_w : Masa de agua contenida en el sólido, en Kg

m_s : Masa de materia seca, en Kg

- e) **Contenido de humedad en base seca.**- Es el porcentaje entre la cantidad de agua al sólido seco y se define por la siguiente expresión:

$$X_s = \frac{m_w}{m_s} * 100$$

- f) **Humedad de equilibrio.**- Es la humedad que se obtiene cuando se alcanza el equilibrio entre el aire y el sólido húmedo. Se logran las condiciones de equilibrio cuando la presión parcial del agua que

acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua en el aire.

- g) Humedad crítica.**- Es el punto en el que ocurre el cambio entre las etapas de velocidad de secado constante y velocidad de secado decreciente.
- h) Humedad Relativa (ϕ).**- Es el cociente de la presión parcial del vapor en la mezcla (p_v), entre la presión de saturación del vapor a la temperatura de la mezcla (p_s)

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} = \frac{m_v}{m_g}$$

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1. Variables de la Investigación

3.1.1. Variable Dependiente

Y : Obtención de aceite de semilla de papaya

3.1.2. Variable Independiente

X₁ : Propiedades fisicoquímicas de la semilla de papaya

X₂ : Parámetros óptimos para el proceso de secado

X₃ : Características del aceite de semilla de papaya

3.2. Operacionalización de las Variables

Tabla Nº 3.1

Operacionalización de las variables

VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
Y = Proceso de secado de semillas de papaya para la obtención de aceite.	Propiedades fisicoquímicas del producto secado	% de Humedad T, °C t, Minutos Velocidad	Procedimiento experimental
VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
X ₁ = Propiedades fisicoquímicas de la semilla de papaya	Propiedades fisicoquímicas de la semilla de papaya	Composición (%) % Humedad Densidad, (g/mL) Tamaño de partícula	Revisión teórica. Procedimiento experimental.
X ₂ = Parámetros óptimos para el proceso de secado	Tamaño de partícula. Velocidad de rotación del secador. Temperatura. Tiempo	Nº de malla. rpm °C Minutos	Procedimiento experimental
X ₃ = Características del aceite de semilla de papaya	Características fisicoquímicas del aceite de semilla de papaya	Composición (%) pH Viscosidad	Análisis en Laboratorio Revisión bibliográfica

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis general

La obtención de aceite se determinará por parámetros óptimos del proceso de secado de semilla de papaya

3.3.2. Hipótesis Específicas

- 1)** Las propiedades fisicoquímicas de las semillas de papaya que ingresan en el proceso de secado para la obtención de aceite se determinarán con: tamaño de partícula, humedad, densidad, composición.
- 2)** El proceso de Secado de semilla de papaya para la obtención de aceite se determinará con el tamaño de la semilla y la velocidad de rotación del secador Además el secado de las semillas se realiza con un flujo de aire caliente a una determinada temperatura y tiempo.
- 3)** El aceite de semilla de Papaya obtenido después del proceso de secado se caracterizará por su alto contenido de ácido linoleico y Oleico.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Tipo y diseño de Investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicativo, ya que está a nivel de investigación, procedimientos experimentales con pruebas que se realizarán a nivel de laboratorio, en donde se manipularán las variables independientes para obtener los resultados deseados. Por tanto, las variables de la investigación se medirán de forma cuantitativa.

- a) Por su finalidad.-** Es de tipo aplicada, ya que los resultados obtenidos servirán como base para distintas aplicaciones en la industria.
- b) Por su diseño interpretativo.-** Por ser llevado a cabo en el laboratorio, con condiciones establecidas para los ensayos, tomando como referencia métodos acreditados.

4.1.2. Diseño de Investigación

- a) Definición del escenario de la investigación.-** La investigación se realizó en el laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química, instalaciones del área de Laboratorio Ambiental de la Empresa Certimin S.A. y de la empresa Pevisa.
- b) Elección del método de diseño.-** En base a los fundamentos del secado de alimentos y de material sólido, se trabajó con un secador rotatorio de vidrio, el cual nos permite visibilizar el proceso completo para establecer los parámetros óptimos del secado de semillas de papaya.

Para la obtención de aceite de semilla de papaya se trabajó con el equipo Soxhlet, basado en el método de extracción de muestras sólidas.

c) Etapas de la investigación:

- 1) Primera Etapa de la Investigación.-** En esta etapa se identificará a la variable X_1 , mediante la revisión de material bibliográfico y métodos estandarizados vinculados al proceso de secado.
- 2) Segunda Etapa de la investigación.-** En la segunda etapa se

identificará la variable X_2 , empleando métodos netamente experimentales, ya que se usará el secador rotatorio discontinuo para determinar la humedad final del producto basados en la revisión de estándares de calidad

- 3) **Tercera Etapa de la Investigación.**- En esta etapa se identificará la variable X_3 caracterizando el aceite producto del proceso de secado con óptimas condiciones
- 4) **Cuarta Etapa de la Investigación.**- En esta última etapa se analizarán los datos obtenidos para determinar los parámetros óptimos del proceso de secado y se identificará la variable Y , que además será comparado con referencias bibliográficas.

4.2. Población y muestra

- a) **Población.**- La población está representada por las semillas de papaya, cultivada principalmente en la región de Ucayali y comercializada en los principales centros de abastos de Lima.
- b) **Muestra.**- La muestra será de 10 g de semilla de papaya clasificada en tres distintos números de mallas (malla 2 500, malla 3 150 y malla 4 000)

4.3. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información documentada

Para la recolección de información documentada se basó en la revisión de material bibliográfico según los planteamientos del problema general y específico, porque con esas cuestiones se podría dividir la investigación en cuatro aspectos : caracterización de las semillas de papaya antes del proceso de secado, proceso de secado de las semillas de papaya, caracterización del aceite de semillas de papaya después del proceso de secado y parámetros óptimos del proceso de secado semillas de papaya; estableciendo los temas a tratar como: semillas de papaya, proceso de secado, proceso de secado de semilla de papaya y aceite de semilla de papaya.

4.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información en campo

La técnica empleada para la recolección de información en campo fue la metodología Taguchi, que tiene como objetivo minimizar la variación del desempeño, reduciendo así energía y tiempo, presentado en la **Tabla N° 4.1**

Tabla N° 4.1

Metodología Taguchi

N° DE CORRIDAS	X₁	X₂	X₃	X₄
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Fuente: Elaboración Propia

En donde:

X₁ : Número de Malla; (1) : 2 500, (2) : 3 150 y (3) : 4 000

X₂ : Temperatura; (1) : 40°C, (2) : 55°C y (3) : 70°C

X₃ : Velocidad de Rotación; (1) : 10 rpm, (2): 20 rpm y (3) : 30 rpm

X₄ : Tiempo; (1) : 150 min, (2) : 180 min y (3) : 210 min

Además de la metodología de Taguchi, se emplearon los siguientes materiales y equipos:

a) Equipos:

- 1) Secador rotatorio de vidrio discontinuo.
- 2) Balanza de humedad AE ADAM, con capacidad máxima de 50 g, sensibilidad de 0,001 g
- 3) Balanza METTLER TOLEDO con capacidad de 220 g, sensibilidad de 0,0001 g
- 4) DATA Q de cuatro entradas análogas con sensor de temperatura tipo J
- 5) Computadora
- 6) Equipo de extracción sólido líquido Soxhlet

b) Materiales:

- 1) Desecador
- 2) Calibrador de Vernier
- 3) Cernidor
- 4) Vasos precipitados
- 5) Luna de Reloj
- 6) Pistola de aire caliente
- 7) Cronómetro

c) Insumos:

- 1) Semillas de papaya

4.4.1. Método

a) Pretratamiento.- La materia prima se recolectó de los distintos centros de abastos de Lima, de preferencia restaurantes y fuentes de soda, en donde la semilla de papaya se desechaba en baldes seleccionados, luego se procedió a lavar, secar y seleccionar según el tamaño.

b) Proceso de Secado.- Antes de empezar con el proceso de secado, se debe realizar la limpieza del secador de vidrio, porque se introducirá material orgánico – alimentos.

Para poder introducir el material a secar en el tubo de vidrio, se empaquetará en mallas, para la rápida extracción al momento de pesar

y que no aumente la humedad en el proceso, el que se observa en la **Figura N° 4.1.**



Figura N° 4.1 Proceso de pretratamiento de semillas de papaya

Fuente: Elaboración Propia



FIGURA N° 4.2 Recipiente de malla para semillas de papaya

Fuente: Elaboración Propia

Después se procederá a prender el equipo, de acuerdo a las condiciones establecidas, esperando a que estabilice en las temperaturas deseadas (40°C, 55°C y 70°C) con ayuda de las válvulas.



Figura N° 4.3 Descripción de equipo de secador rotatorio de vidrio

Fuente: Elaboración propia

Para medir las temperaturas deseadas (40°C, 55°C y 70°C) se empleó el Data Q que se instaló en la PC del laboratorio de investigación.



Figura N° 4.4 Data Q conectado e instalado en la computadora del Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química

Fuente: Elaboración propia

Luego se procedió a realizar las corridas experimentales a las distintas condiciones establecidas de temperatura, número de malla, velocidad de rotación en un intervalo de 30 minutos hasta que alcance un peso constante, almacenando la muestra en un desecador para su posterior obtención de aceite.



Figura N° 4.5 Balanza y desecador con semillas de papaya después del secado
Fuente: Elaboración propia

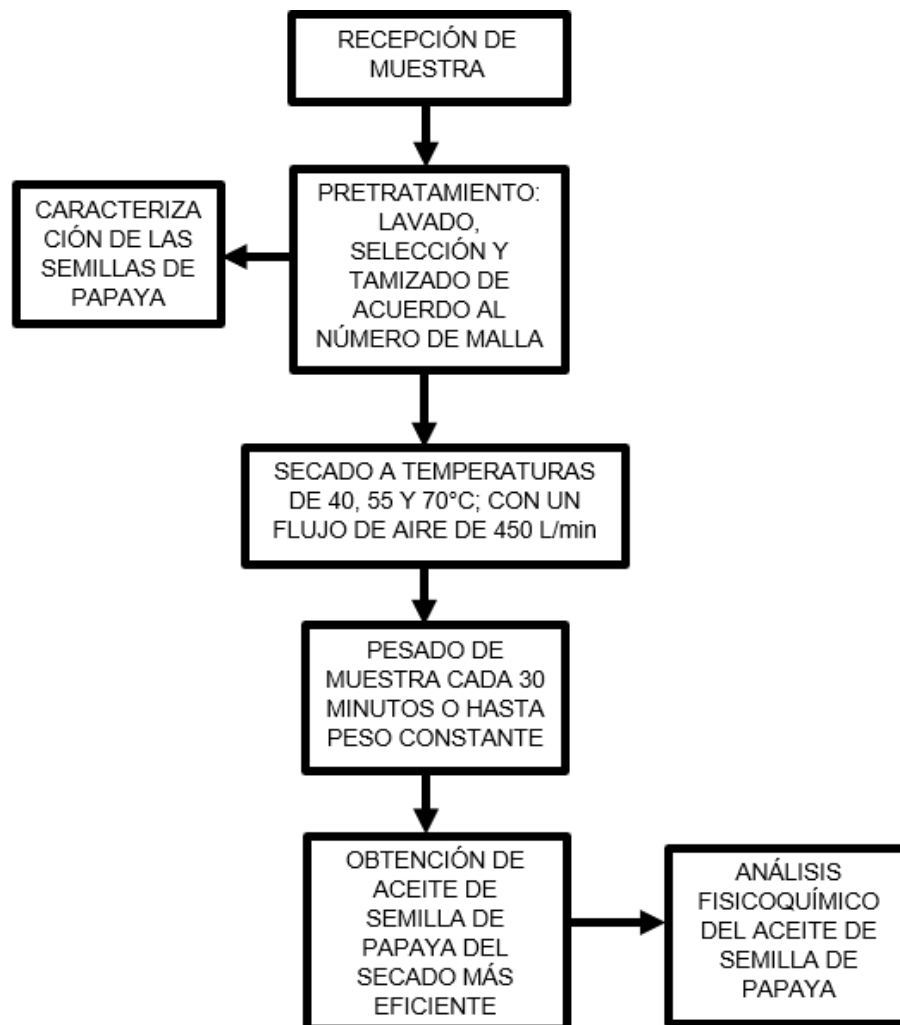


Figura N° 4.6 Diagrama de bloques del proceso de secado de semillas de papaya (Carica Capaya) para la obtención de aceite
Fuente: Elaboración propia

4.5. Análisis y procesamiento de datos

Después de realizar las corridas experimentales, se procedió a ingresar los datos al software Polymath, para un ajuste en la curva obtenida de las 9 corridas y en MINITAB 18, que es una herramienta útil para identificar e interpretar los resultados obtenidos que cumplirán con la hipótesis planteada, aprobando la afirmación de los objetivos generales y específicos establecidos, mediante tablas y gráficos.

Los parámetros óptimos del secado establecidos se registrarán mediante gráficas de tiempo de secado versus contenido de humedad en la muestra, velocidad de secado, peso de la muestra secada; variando las condiciones.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

Se realizó el proceso de secado siguiendo las siguientes condiciones de temperatura a 40°C, 55°C y 70°C; además de la clasificación según el número de malla, que son de 2 500, 3 150 y 4 000; a tres velocidades de rotación de 10 rpm, 20 rpm y 30 rpm; por cada 30 minutos o hasta llegar a un peso constante.

El modelo a seguir que se empleó en las corridas experimentales fue el modelo de Taguchi, porque con dicho modelo se optimizará el tiempo ahorrando energía y empleando las cuatro variables ya mencionadas, por triplicado.

Las corridas experimentales se llevaron a cabo en el secado de vidrio del Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Callao; cuyos datos son: Longitud de 48 cm, diámetro de 3,65 cm, potencia del motor de 0,75 HP y potencia de la pistola de aire de 2 000 W

5.1.1. Curvas de secado

A continuación, se muestran los gráficos con el comportamiento de la pérdida de masa con el paso del tiempo y las demás variables establecidas.

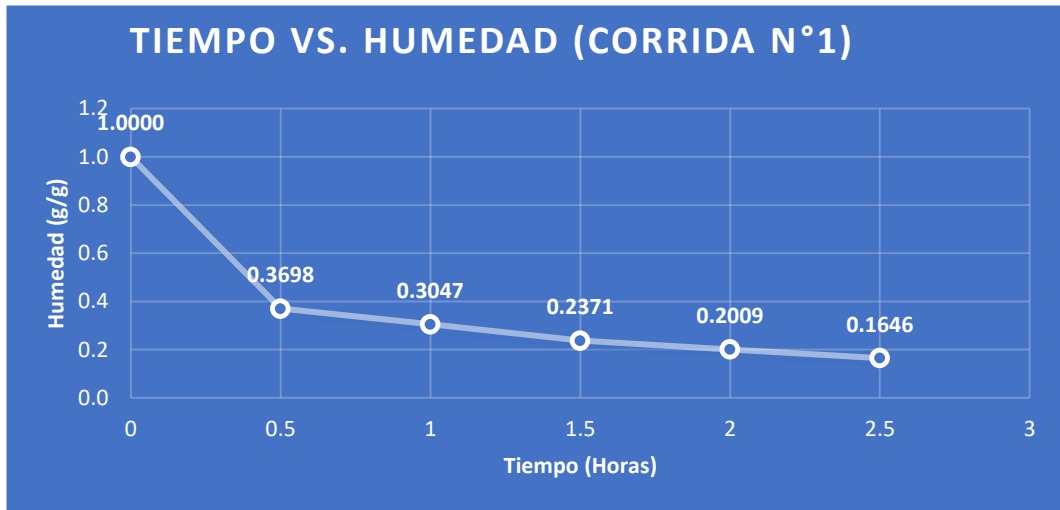


Gráfico 5.1 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 40°C, Número de malla 2 500, Velocidad de rotación de 10 rpm

Fuente: Elaboración propia

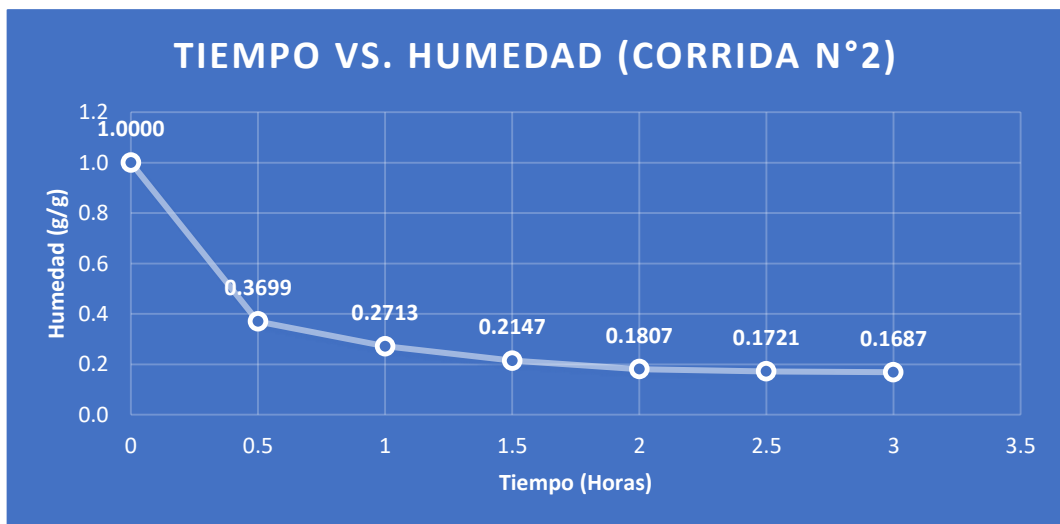


Gráfico 5.2 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 55°C, Número de malla 2 500, Velocidad de rotación de 20 rpm

Fuente: Elaboración propia

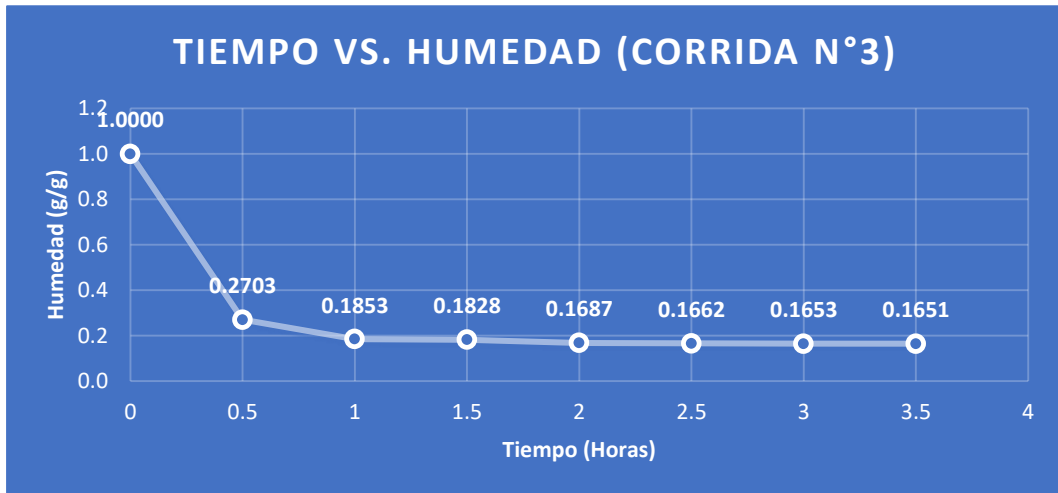


Gráfico N° 5.3 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 70°C, Número de malla 2 500, Velocidad de rotación de 30 rpm

Fuente: Elaboración propia

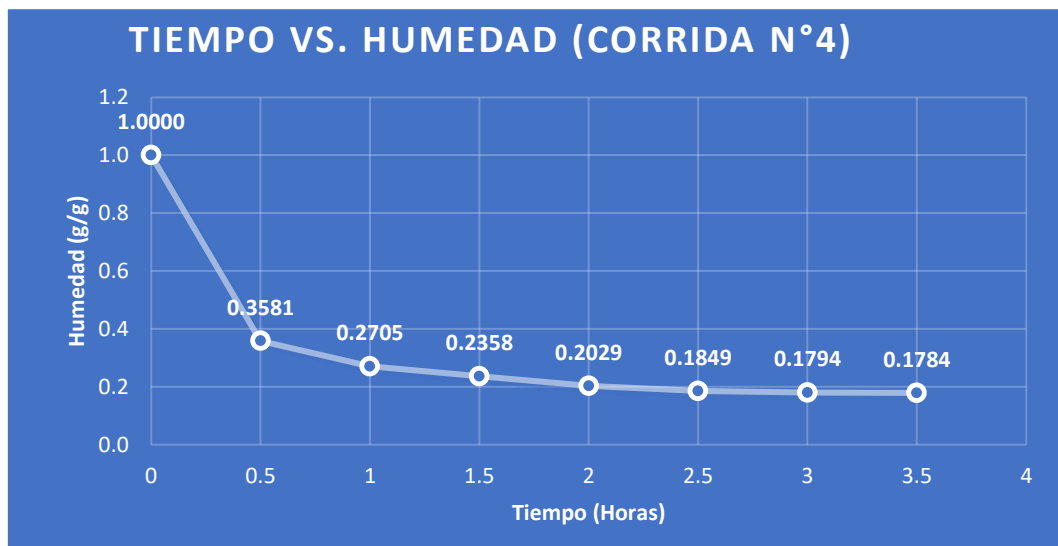


Gráfico N° 5.4 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 40°C, Número de malla 3 150, Velocidad de rotación de 20 rpm

Fuente: Elaboración propia

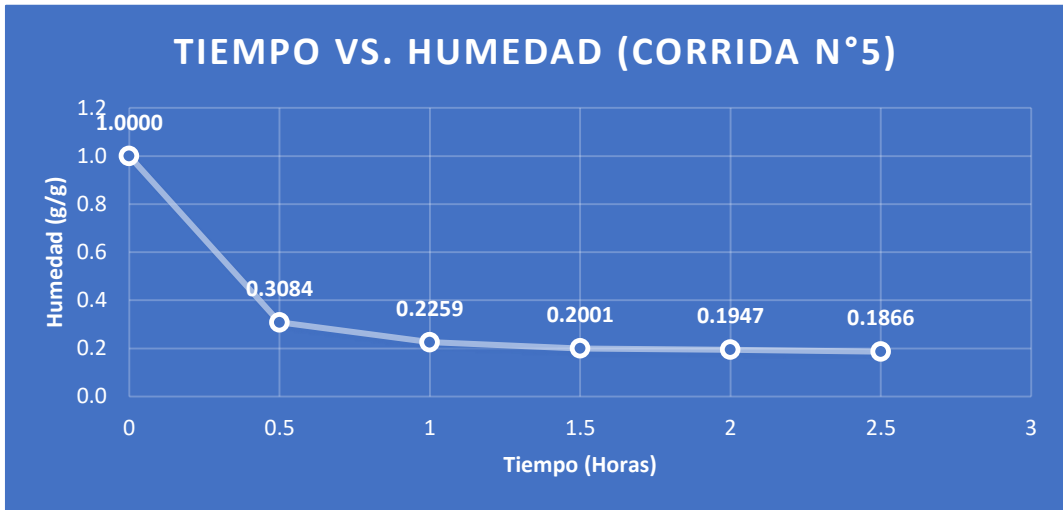


Gráfico N° 5.5 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 55°C, Número de malla 3 150, Velocidad de rotación de 30 rpm

Fuente: Elaboración propia

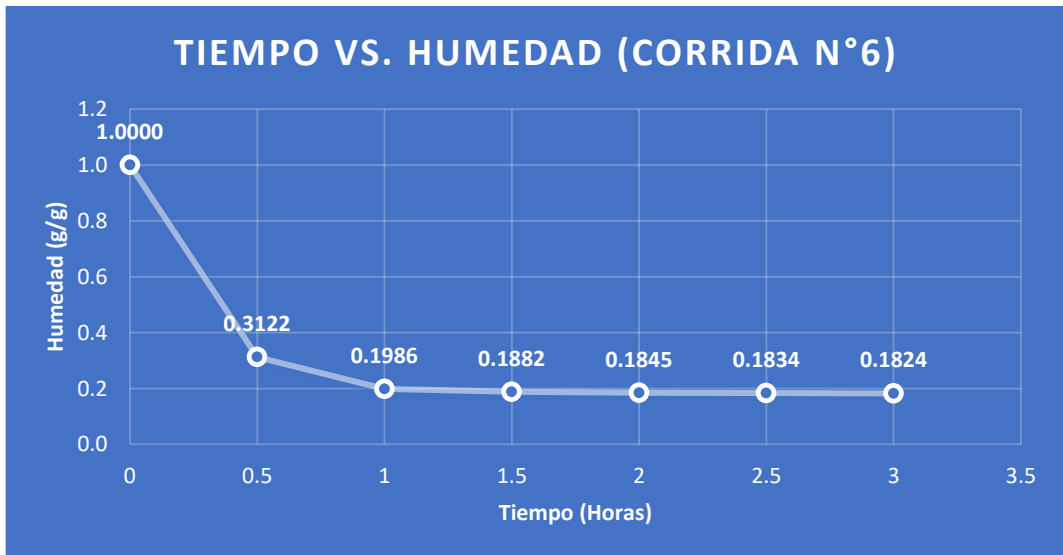


Gráfico N° 5.6 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 70°C, Número de malla 3 150, Velocidad de rotación de 10 rpm

Fuente: Elaboración propia

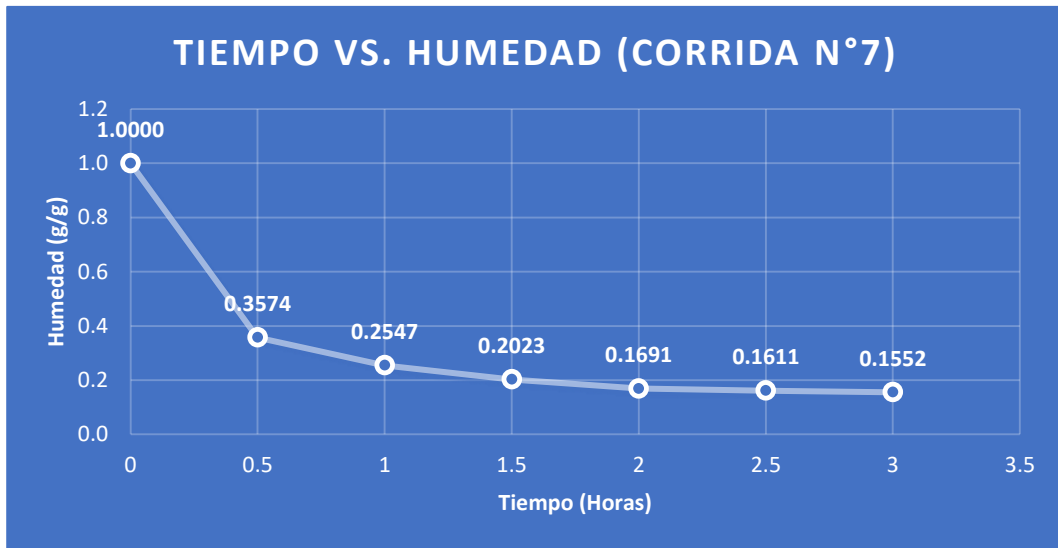


Gráfico N° 5.7 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 40°C, Número de malla 4 000, Velocidad de rotación de 30 rpm
Fuente: Elaboración propia

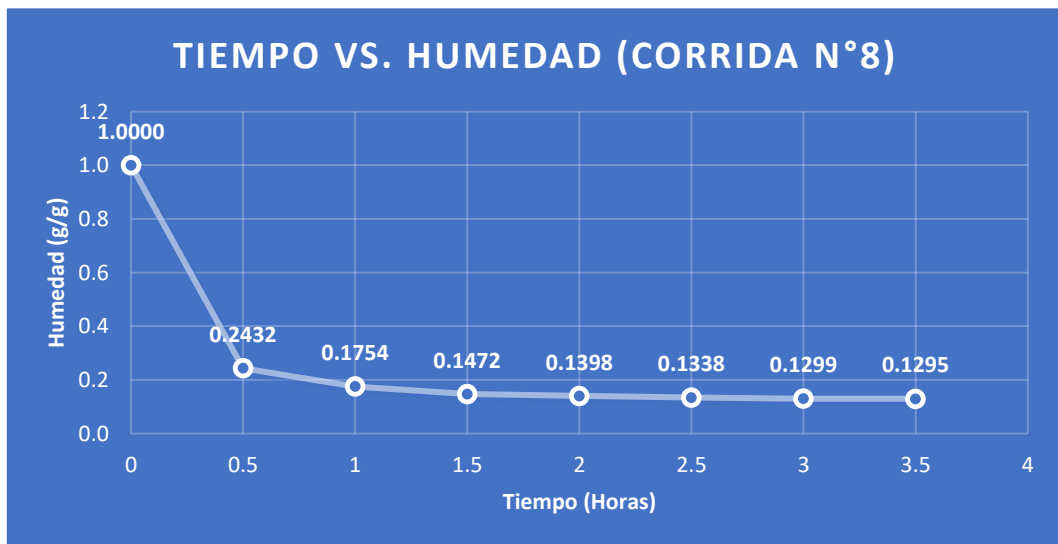


Gráfico N° 5.8 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 55°C, Número de malla 4 000, Velocidad de rotación de 10 rpm
Fuente: Elaboración propia

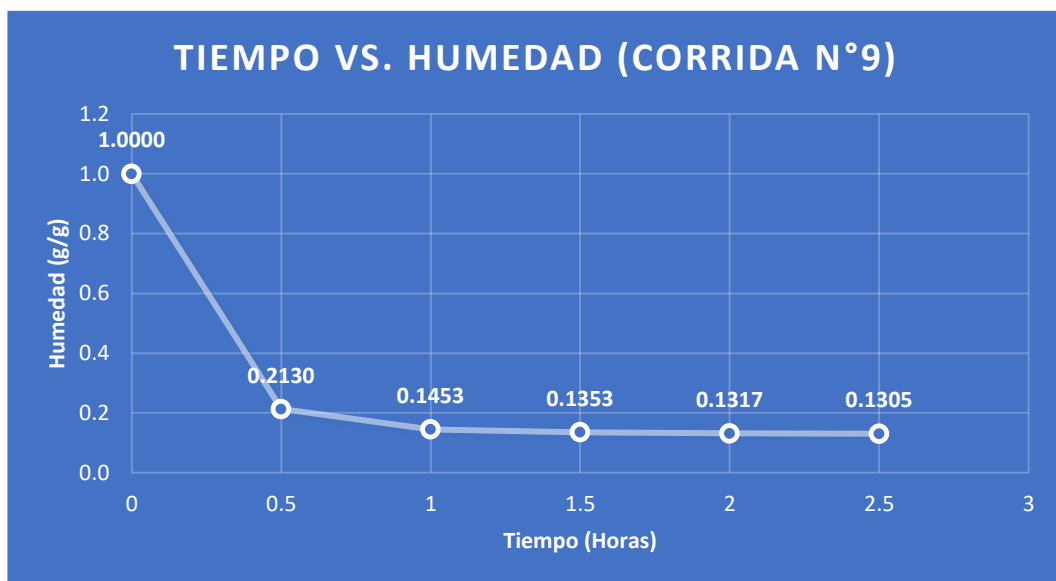


Gráfico N° 5.9 Curva del secado de la humedad en base seca de las semillas de papaya en función al Tiempo a una Temperatura de 70°C, Número de malla 4 000, Velocidad de rotación de 20 rpm

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Ajuste de la curva

Para todas las curvas realizadas, se aplicará regresión no lineal, para evaluar a la que más se ajusta a dichas curvas experimentales, para eso se evaluará de acuerdo a modelos matemáticos del proceso de secado, ya que en este trabajo se han secado semillas, se considerará los modelos matemáticos evaluados en alimentos.

Para los ajustes de las curvas se usará el programa Polymath y para el análisis estadístico se empleará la herramienta ANOVA del software Minitab 18, evaluando el índice de correlación R^2 más cercano a 1 y la varianza más cercana a 0

De los modelos matemáticos evaluados (Newton, Wang and Singh, Page, Midilli, Logarítmico, Henderson – Pabis y de dos términos exponencial) para cada corrida experimental, el que se ajusta mejor es el modelo de MIDILLI

Tabla N° 5.1
Constantes obtenidas del modelo matemático Midilli

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES				HUMEDAD (g/g)	a	K	n	b	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO							
1	M1	T1	V1	t1	0,1646	0,99999	1,076	0,207	- 0,0438	0,9998	6,03E - 05
2	M1	T2	V2	t2	0,1687	0,99995	1,429	0,482	0,0257	0,9998	3,24E - 05
3	M1	T3	V3	t3	0,1651	1,00004	1,769	0,353	0,0303	0,9994	9,26E - 05
4	M2	T1	V2	t3	0,1784	0,99999	1,375	0,385	0,0193	0,9999	2,00E - 05
5	M2	T2	V3	t1	0,1866	1,00001	1,677	0,423	0,0421	0,9999	2,26E - 05
6	M2	T3	V1	t2	0,1824	1,00010	1,807	0,515	0,0497	0,9992	1,54E - 04
7	M3	T1	V3	t2	0,1552	0,99997	1,483	0,485	0,0245	0,9999	1,57E - 05
8	M3	T2	V1	t3	0,1295	1,00001	1,858	0,345	0,0213	1,0000	7,51E - 06
9	M3	T3	V2	t1	0,1305	1,00001	2,170	0,403	0,0360	0,9999	2,76E - 05

Fuente: Elaboración propia

5.2. Resultados Inferenciales

Las condiciones óptimas del secado interpretarán mediante el software MINITAB 18, empleando la herramienta DOE con la cual se realizó el análisis de la metodología Taguchi.

De lo que se podrá inferir lo siguiente; la corrida experimental N° 8, cuyos parámetros son: temperatura de 55°C, Número de malla 4 000, velocidad de rotación de 10 rpm y tiempo de 3 h 30 min, es el más óptimo, porque la composición de las semillas de papaya no se afectará por la temperatura por ser menor a 60°C. Además, con el tiempo de 3 h 30 min se puede ver que el peso de la muestra tiende a ser constante, siendo innecesario prolongar el tiempo, evitando así el desperdicio de energía.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de la hipótesis

6.1.1. Hipótesis general

El proceso de secado de semillas de papaya en el secador rotatorio discontinuo presenta resultados óptimos con los siguientes parámetros: temperatura de 55°C, número de malla 4 000, velocidad de rotación de 10 rpm y con un tiempo de 3 h y 30 min reduciendo su humedad hasta un 9,07%.

6.1.2. Hipótesis específicas

- 1)** Las propiedades de las semillas de papaya son aceptables para ser secadas en el equipo de secador rotatorio discontinuo, porque no se observaron variaciones significativas con las condiciones establecidas, por lo tanto, esta hipótesis específica es aceptada.
- 2)** Se comprobó que la temperatura, número de malla, velocidad de rotación y tiempo sí influyen en el proceso de secado de semillas de papaya, por lo que esta hipótesis específica sí es aceptada.
- 3)** El aceite de semillas de papaya obtenidos después de un secado con óptimas condiciones sí conservas sus características, por lo tanto, esta hipótesis específica sí es aceptada.

6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

En el año 2016, Padoin, Assumpc, Bertuol, Meili, Hiromitsu y Dotto; realizaron el secado convectivo de semillas de papaya y la optimización de extracción de aceite, cuya temperatura de secado fue de 45°C durante dos días, conservando así los altos valores nutritivos del aceite de semillas de papaya.

También se revisaron trabajos similares, en donde emplean otro tipo de materia prima con distintos sistemas y equipos para el proceso de secado, como se aprecia en la **Tabla N° 6.1**

Tabla N° 6.1***Cuadro de estudios similares***

AUTOR(ES) – AÑO	MATERIA PRIMA	SISTEMA O TIPO DE SECADO	TIEMPO	HUMEDAD FINAL	TEMPERATURA
CABALLERO2015	CACAO	SECADOR PARA ALMACENAJE	24 HORAS	13%	65°C
VELÁSQUEZ 2017	CARRAGENINA	SECADO POR LECHO FLUIZADO	3 HORAS	12%	80°C
BENITES 2013	AJÍ DULCE	SECADO POR LECHO FLUIZADO	13 HORAS	13%	60°C
SALCEDO, MERCADO, VENEGAS, FERNANDEZ, MELBA 2014	YUCA	SECADOR DE BANDEJAS	4,5 HORAS	4,87%	55 °C
OCAMPO 2006	MANGO	SECADOR DE LABORATORIO		50%	65°C

Fuente: Elaboración propia

6.3. Responsabilidad ética

El presente trabajo muestra datos obtenidos de corridas experimentales bajo condiciones establecidas por revisión de material bibliográfico, por tanto, está basado en estudios anteriores con nuevos aportes para futuras revisiones; bajo responsabilidad de los autores.

VII. CONCLUSIONES

- 1) Las corridas experimentales se realizaron en un secador discontinuo con un controlador de velocidad y una termocupla conectada al DATA Q, permitiendo que el proceso sea controlado para garantizar que las variaciones de parámetros sean muy altas, con menores probabilidades de error
- 2) Las características de la semilla de papaya, en cuanto a variedad del tamaño, malla 2 500, malla 3 150 y malla 4 000; fueron de gran contribución, porque nos permitió tener más diversidad en las corridas experimentales y así mayor variedad en el proceso de secado
- 3) El proceso de secado tuvo cuatro parámetros, de los cuales el tiempo y temperatura predominaron, porque fueron los factores determinantes para una mejor eficiencia en el secado. Los modelos matemáticos de Page, Midilli y Logarítmica se ajustaron mejor a la curva obtenida de los datos experimentales, pero la de mayor ajuste fue el modelo matemático de Midilli, ya que su índice de correlación promedio es muy cercano a 1 y el promedio de su varianza es cercano a 0

En la corrida experimental N° 8 cuyos parámetros son temperatura igual a 55°C, número de malla 4 000, Velocidad de rotación de 10 rpm y tiempo de secado igual a 3 horas y 30 minutos; su índice de correlación R^2 fue 0,99995 y su varianza fue de 7,51 E – 06, demostrando así que fue la corrida experimental con condiciones óptimas

- 4) La cantidad obtenida de aceite de semilla de papaya fue considerable, ya que por cada 10 g de muestra triturada y secada con los parámetros óptimos descritos, se obtuvo 2 g de aceite de semillas de papaya, lo que hace que a mejores condiciones de secado, mayor será el rendimiento de la obtención de aceite

VIII. RECOMENDACIONES

Verificar el buen funcionamiento del equipo, DATA Q y termocupla antes de realizar las corridas experimentales.

Al momento de estabilizar la temperatura con ayuda del DATA Q, hacerlo en el menor tiempo posible, para evitar la pérdida de energía.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar, P. (1991). **Plagas de plantas tuberosas tropicales. Oficina Regional de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.** Santiago de Chile.

Arbizu C., Robles E. (1986). **La Colección de los cultivos de raíces y tubérculos andinos de la universidad de Huamanga.** En anales del V congreso Internacional de Sistemas Agropecuarios Andinos. Puno, Perú.

Bukasov S. (1981). **Las plantas cultivadas en México, Guatemala y Colombia.** Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Costa Rica.

Cabrera P. (2013). Inducción de callos embriogénicos de semillas inmaduras de papayo (*Carica Papaya L.*). Para optar el título de ingeniero agrónomo. Tingo María. Perú.

Carranza J. (2011) **Cinética de secado del plátano (*Musa paradisiaca*) y de la yuca (*Manihot esculenta Crantz*).** Trabajo de Fin de Carrera, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), Iquitos, Perú.

Castro L., Morales L., Aranguren M. (2000). **Fundamentos teóricos-prácticos sobre el cultivo y cosecha de la papaya (*Carica Papaya L.*).** Ciudad de Matanzas: Editorial Universitaria.

Corpoica. (2013). Concepción de un modelo de agroindustria rural para la elaboración de harina de almidón a partir de raíces y tubérculos promisorios, con énfasis en los casos de achira (*Canna edulis*), arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y ñame (*Dioscorea sp.*) Informe técnico final. Corpoica; Pronata. Mosquera, Colombia.

Coulson J., Richardson J. (1981). **Ingeniería Química – Operaciones Básicas.** Tomo II; Editorial REVERTE, S.A., BARCELONA (Pag 915).

Fennema, O. (2000). **Química de los alimentos.** 2^{da} Edición. Editorial Acibia, Madrid, España.

- Fellows (1994). **Tecnología del Procesamiento de Alimentos: Principios y Prácticas**. Acribia, Zaragoza.
- Foust A. (1990). **Principios de Operaciones Unitaria**. Ed. Cecs Mexico 468 – 484.
- Franco S., Rodríguez J. (1988). **Evaluación del germoplasma de arracacha en el valle de Cajamarca**. VI Congreso internacional sobre cultivos andinos. Quito. Ecuador.
- García J., Vázquez M., Torres M., Dávila S. (2011). **Métodos de extracción de semilla en papaya Golden y la relación con la longevidad**. Centro de Capacitación y el Desarrollo de Tecnología de Semillas. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.
- García J. (2009). **Manejo poscosecha de semilla de papaya (Carica Papaya) variedad Golden (hawaiana)**. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.
- Geankoplis C (1998) **Proceso de Transporte y Operaciones Unitaria**. Editiva CECSA 578 – 601.
- G. Nohebel A. (1979). **El Secado de sólidos en la Industria Química**. Editorial Reverte S.A BARCELONA
- Higuitia M. (1968). **El cultivo de la arracacha en la Sabana de Bogotá**. Instituto colombiano agropecuario. Bogotá. Colombia.
- Higuitia M. (1977). **La horticultura en Colombia**. Instituto colombiano agropecuario. Bogotá. Colombia.
- Ibarz A., Barbosa G. (2005) **Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos**. Ediciones Mundi – Prensa. 1ª Edición. España.
- Idarraga, Alcocer, Salazar y Bernal (2011). **Calidad de la harina de arracacha (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) a partir del método de secado por conducción**.

- Kitonoja L., Kader A. (1996). **Manual de prácticas de manejo poscosecha de los productos hortofrutícolas a pequeña escala.** Serie de Horticultura Poscosecha N° 85.
- Leon J. (1964). **Plantas alimenticias andinas.** Instituto interamericano de ciencias agrícolas zona andina. Lima. Perú.
- Marí M. (2002). **Cinética de transferencia de materia durante el proceso de rehidratación de cubos de pimiento seco (*Capsicum Annuum L.*).** Trabajo Fin de Carrera. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos.
- Montes J., Torres R., Andrade R., Pérez O., Marimon J., Meza (2008). **Modelo de la Cinética de Secado de Ñame (*Dioscorea Rotundata*) en capa delgada.** Revista Ingeniería e Investigación Vol. 28 N° 2 agosto de 2008 (45-52)
- Navarro, Rojas, Lezcano, López V. (2016) **Propiedades funcionales de semillas de papaya (*Carica Papaya L.*).** Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Recuperado de <https://www.ecorfan.org/>
- Simá E. (2009). **Estudio teórico-experimental de un prototipo de secador solar industrial.** Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. Cuernavaca, México.
- Sánchez L. (2009). **Efecto del secado en semillas de papaya (*Carica Papaya L.*) en la calidad a través del tiempo.** Buenavista Saltillo Coahuila, México UAAAN.
- Vega A., Lemus A. (2006). **Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (*Vasconcellea Pubescens*).** Centro de Información Tecnológica. Chile.

ANEXOS

ANEXO Nº 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROCESO DE SECADO DE SEMILLAS DE PAPAYA (CARICA PAPAYA) PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
¿Cómo debe ser el proceso de secado de semilla de papaya para la obtención de aceite?	Precisar el proceso de secado para la obtención de aceite.	La obtención de aceite se determinará por parámetros óptimos del proceso de secado de semilla de papaya	Y = obtención de aceite de semilla de papaya	Propiedades fisicoquímicas del producto secado	<ul style="list-style-type: none"> - % de Humedad - T, °C - t, Minutos - Velocidad 	Procedimiento experimental
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	DIMENSIONES	INDICADORES	MÉTODOS
¿Cuáles son las características fisicoquímicas de la semilla de papaya que ingresan en el proceso de secado para la obtención de aceite?	Caracterizar las semillas de papaya que ingresan en el proceso de secado para la obtención de aceite.	Las propiedades fisicoquímicas de las semillas de papaya que ingresan en el proceso de secado para la obtención de aceite se determinarán con: tamaño de partícula, humedad, densidad, composición.	X ₁ = Propiedades fisicoquímicas de la semilla de papaya	Propiedades fisicoquímicas de la semilla de papaya	<ul style="list-style-type: none"> - Composición (%) - % Humedad - Densidad, (g/mL) - Tamaño de partícula 	Revisión teórica. Procedimiento experimental.
¿Cuáles son los parámetros para el proceso de secado de la semilla de papaya para la obtención de aceite?	Evaluar los parámetros óptimos para el proceso de secado de la semilla de papaya para la obtención de aceite.	El proceso de Secado de semilla de papaya para la obtención de aceite se determinará con el tamaño de la semilla y la velocidad de rotación del secador. Además el secado de las semillas se realiza con un flujo de aire caliente a una determinada temperatura y tiempo.	X ₂ = Parámetros óptimos para el proceso de secado	Tamaño de partícula. Velocidad de rotación del secador. Temperatura. Tiempo	<ul style="list-style-type: none"> - N° de malla. - RPM. - °C - Minutos 	Procedimiento experimental
¿Cuáles son las características fisicoquímicas del aceite de semilla de Papaya obtenidas después del proceso de secado?	Caracterizar el aceite de semilla de Papaya obtenido después del proceso de secado	El aceite de semilla de Papaya obtenido después del proceso de secado se caracterizará por su alto contenido de ácido linoleico y Oleico	X ₃ = Características del aceite de semilla de papaya	Características fisicoquímicas del aceite de semilla de papaya	<ul style="list-style-type: none"> - Composición (%) - pH - Viscosidad 	Análisis en Laboratorio Revisión bibliográfica

ANEXO N° 2

DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE PARA LA CURVA DE SECADO

Tabla N° 1

Datos obtenidos experimentalmente para la curva del secado

TIEMPO DE SECADO (horas)	X Humedad (g/g)								
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	N° 6	N° 7	N° 8	N° 9
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0.5	0,3698	0,3699	0,2703	0,3581	0,3084	0,3122	0,3574	0,2432	0,2130
1	0,3047	0,2713	0,1853	0,2705	0,2259	0,1986	0,2547	0,1754	0,1453
1.5	0,2371	0,2147	0,1828	0,2358	0,2001	0,1882	0,2023	0,1472	0,1353
2	0,2009	0,1807	0,1687	0,2029	0,1947	0,1845	0,1691	0,1398	0,1317
2.5	0,1646	0,1721	0,1662	0,1849	0,1866	0,1834	0,1611	0,1338	0,1305
3		0,1687	0,1653	0,1794		0,1824	0,1552	0,1299	
3.5			0,1651	0,1784				0,1295	

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N° 3

AJUSTES DE LA CURVA DE SECADO EXPERIMENTALES A LOS MODELOS MATEMÁTICOS

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	0.9999942	0.0334074
k	1.	1.076135	0.2993553
n	1.	0.2072611	0.2952324
b	1.	-0.0437961	0.0836803

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9997535
R ² adj	0.9993837
Rmsd	0.0018299
Variance	6.028E-05

General

Sample size	6
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

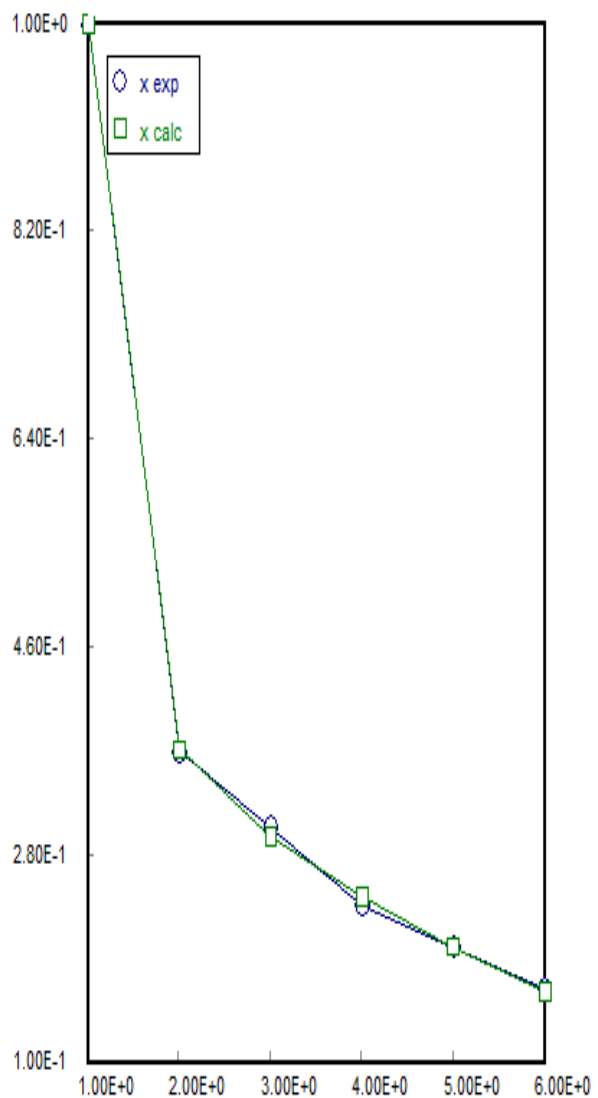


Gráfico N° 1 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N°1

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	0.9999482	0.0005111
k	1.	1.42897	0.0011311
n	1.	0.4818432	0.0012214
b	1.	0.0257123	0.0001201

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9998198
R ² adj	0.9996396
Rmsd	0.001409
Variance	3.243E-05

General

Sample size	7
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

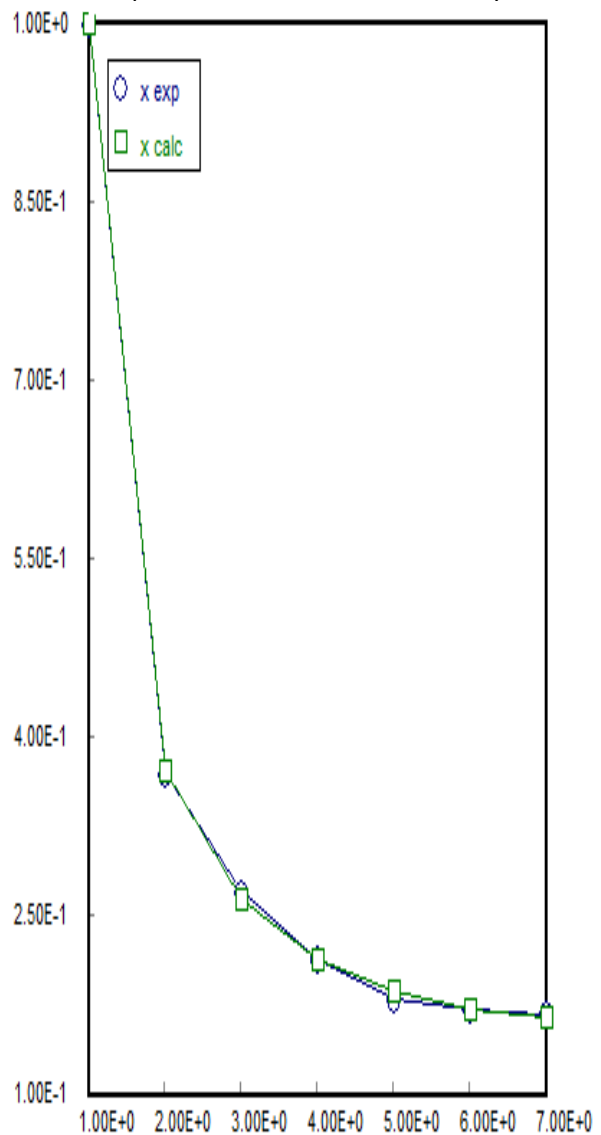


Gráfico N° 2 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N°2

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	0.9999858	0.0124175
k	1.	1.375054	0.0600581
n	1.	0.3847841	0.0625173
b	1.	0.0192924	0.0098067

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9998531
R ² adj	0.9997429
Rmsd	0.0011183
Variance	2.001E-05

General

Sample size	8
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	5

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

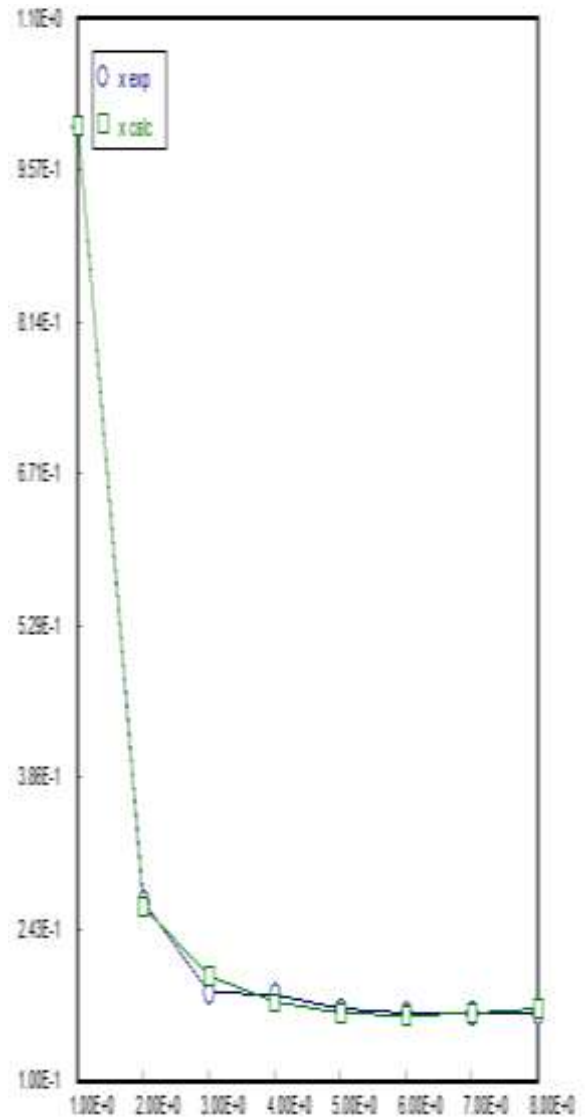


Gráfico N° 3 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N° 3

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	1.000041	0.0265471
k	1.	1.769429	0.1598646
n	1.	0.3526889	0.1330778
b	1.	0.0303069	0.0157261

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.99937
R ² adj	0.9988975
Rmsd	0.0024061
Variance	9.263E-05

General

Sample size	8
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

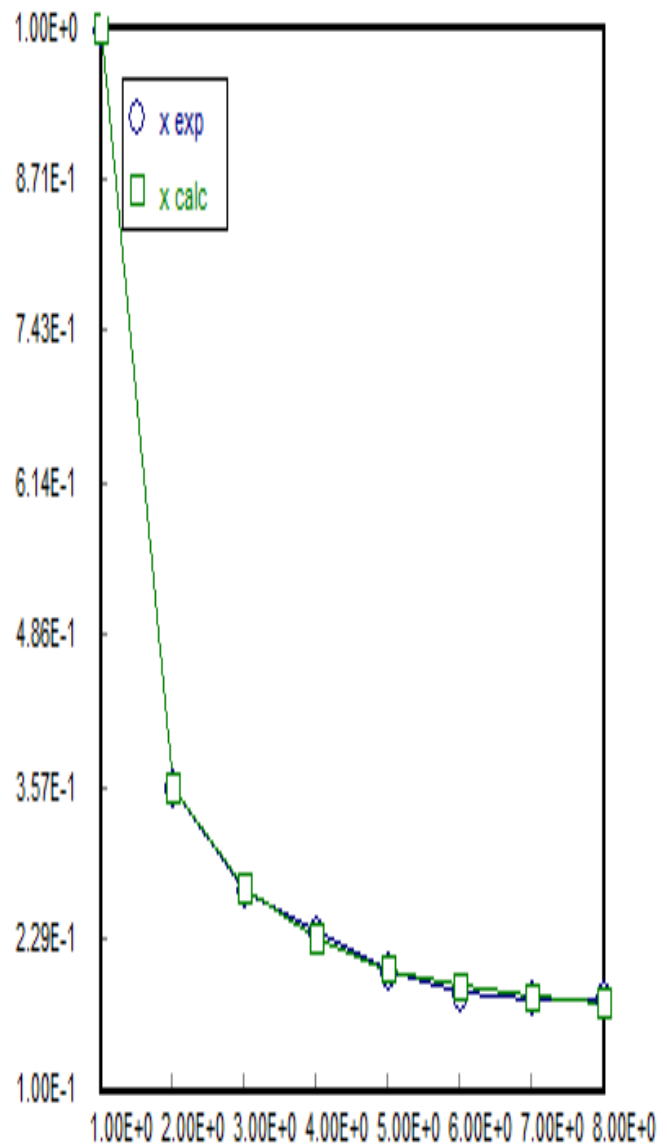


Gráfico N° 4 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N° 4

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report
Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	1.000013	0.0057454
k	1.	1.676692	0.0163915
n	1.	0.4230748	0.0166605
b	1.	0.0420784	0.0016706

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9999119
R ² adj	0.9997797
Rmsd	0.0011204
Variance	2.26E-05

General

Sample size	6
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

**REGRESIÓN NO LINEAL
(TIEMPO VS. HUMEDAD)**

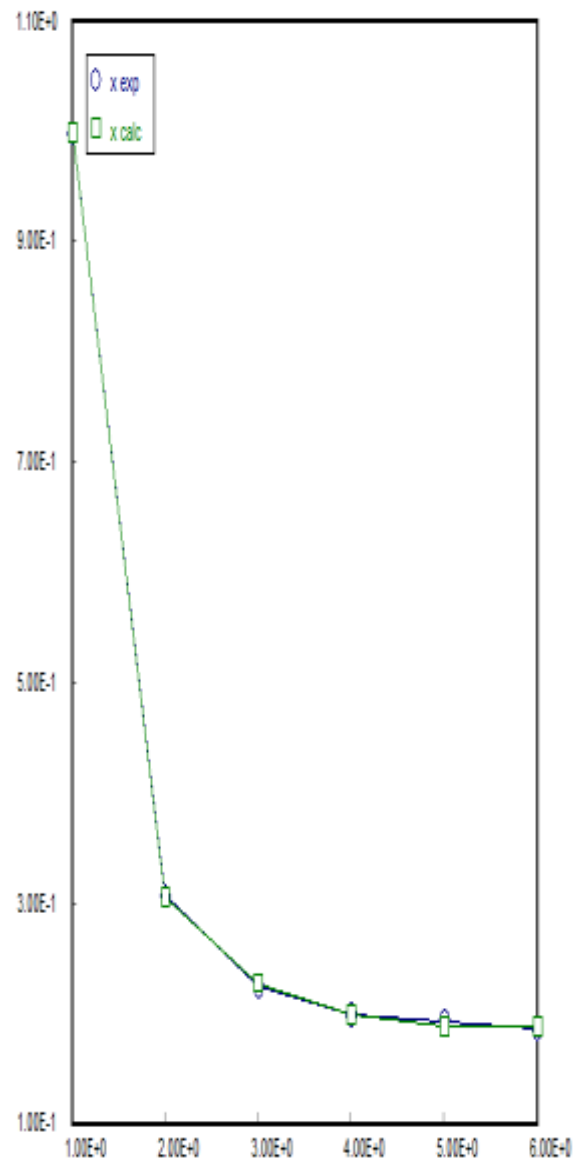


Gráfico N° 5 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N° 5

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	1.000097	0.0394691
k	1.	1.806803	0.2835779
n	1.	0.5148056	0.2316949
b	1.	0.0496757	0.0250704

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9991616
R ² adj	0.9983232
Rmsd	0.0030692
Variance	0.0001539

General

Sample size	7
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

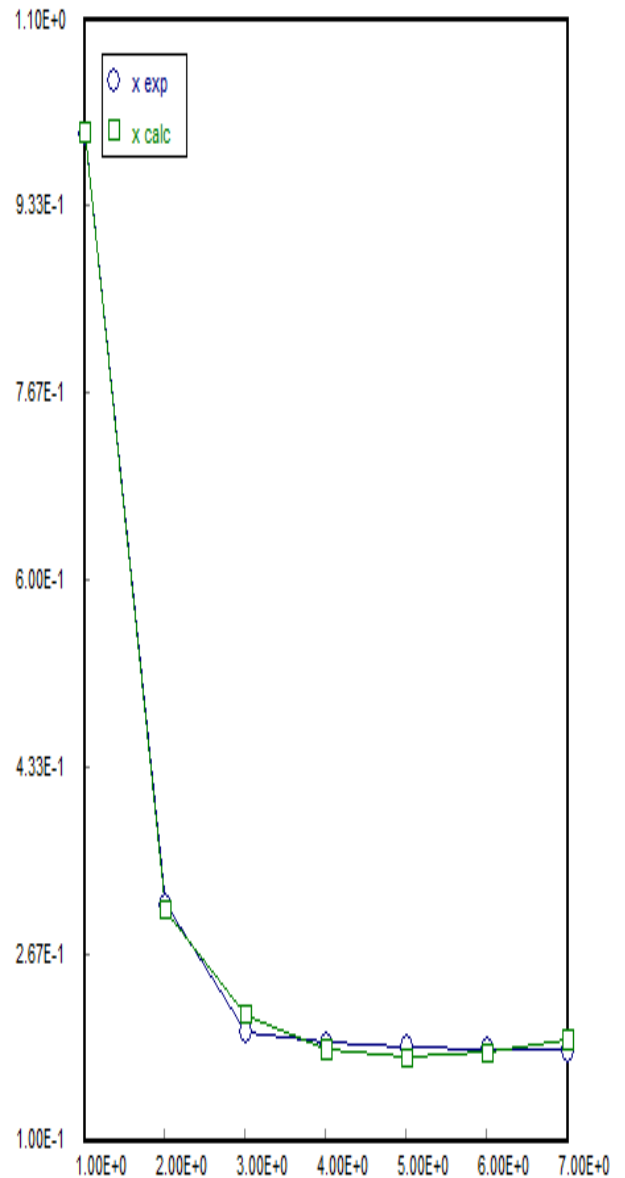


Gráfico N° 6 regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N° 6

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	0.9999705	0.0034251
k	1.	1.483042	0.008009
n	1.	0.4845515	0.0084001
b	1.	0.0245069	0.0007999

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9999156
R ² adj	0.9998312
Rmsd	0.000979
Variance	1.565E-05

General

Sample size	7
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

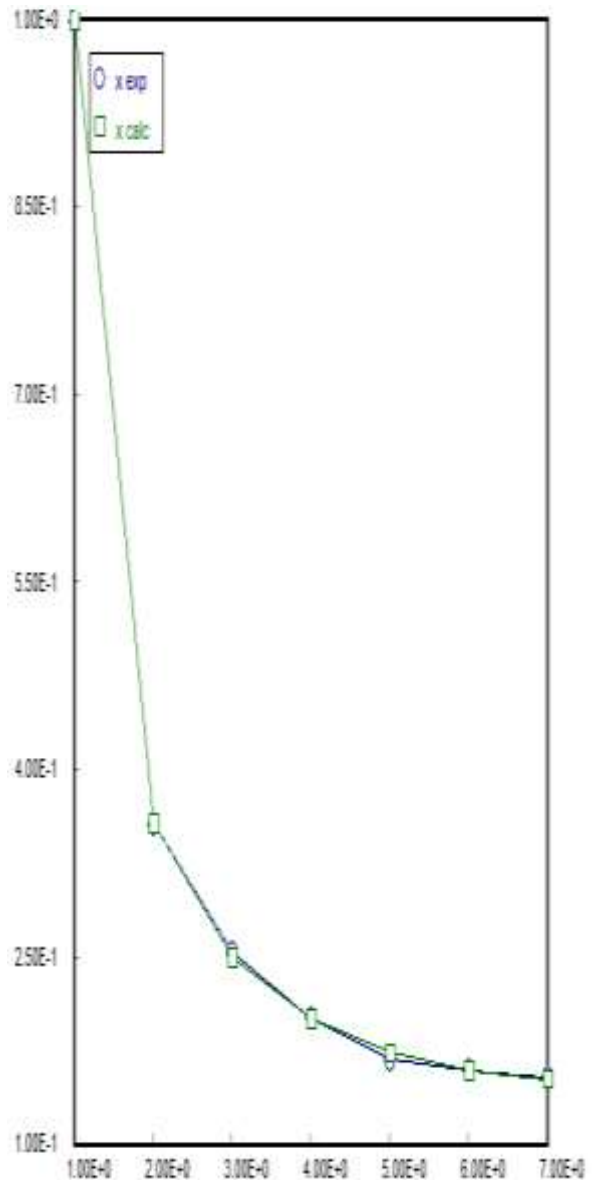


Gráfico N° 7 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N° 7

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	1.00001	0.0051641
k	1.	1.858332	0.0170117
n	1.	0.345092	0.0129781
b	1.	0.0212547	0.0010599

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9999525
R ² adj	0.9999169
Rmsd	0.0006849
Variance	7.505E-06

General

Sample size	8
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

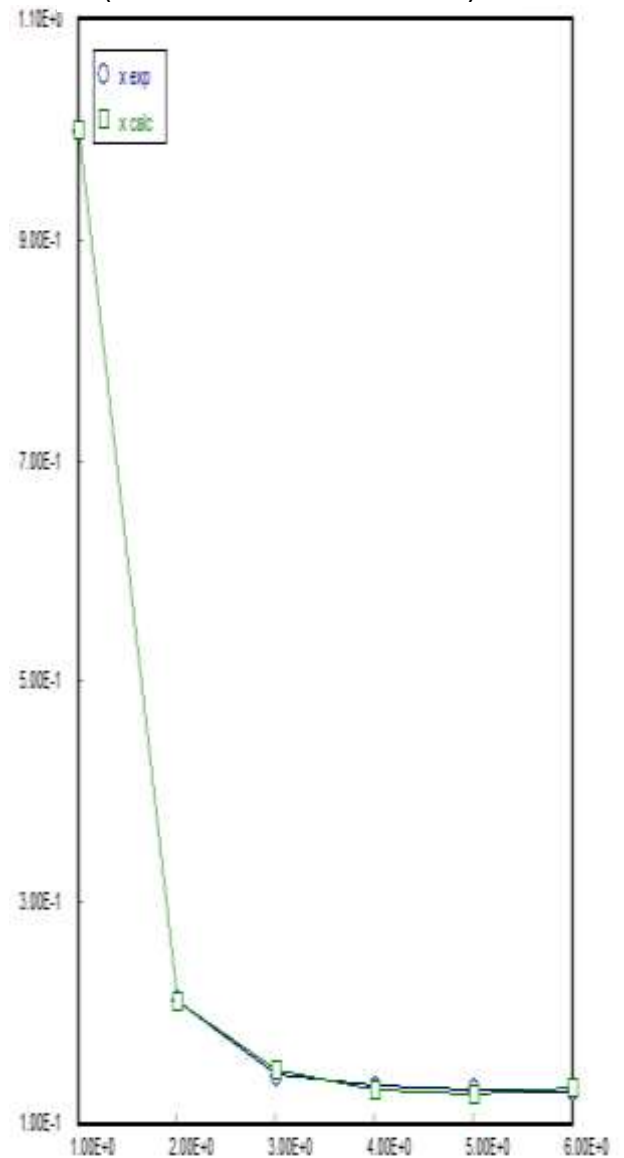


Gráfico N° 8 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N° 8

Fuente: Elaboración con Polymath

POLYMATH Report

Nonlinear Regression (L-M)

Model: $x = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + b \cdot t$

Variable	Initial guess	Value	95% confidence
a	1.	1.000009	0.0156435
k	1.	2.169927	0.0767168
n	1.	0.4030131	0.0582778
b	1.	0.0360181	0.0048759

Nonlinear regression settings

Max # iterations = 64

Precision

R ²	0.9999088
R ² adj	0.9997721
Rmsd	0.0012381
Variance	2.759E-05

General

Sample size	6
Model vars	4
Indep vars	1
Iterations	6

REGRESIÓN NO LINEAL (TIEMPO VS. HUMEDAD)

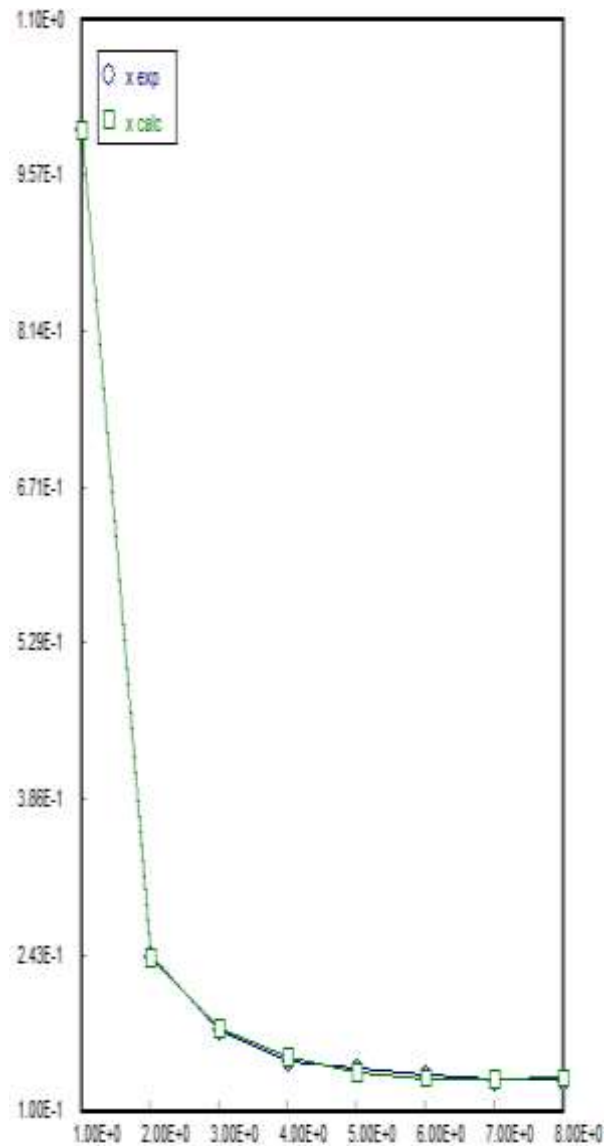


Gráfico N° 9 Regresión no lineal con el modelo matemático de MIDILLI – corrida experimental N° 9

Fuente: Elaboración con Polymath

ANEXO N° 4

TABLA DE RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS CONSTANTES PARA CADA MODELO MATEMÁTICO

Tabla N° 2

Modelo matemático de Newton

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES				HUMEDAD (g/g)	K	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO				
1	M1	T1	V1	t1	0,1646	1,18020	0,87227	0,01249
2	M1	T2	V2	t2	0,1687	1,21441	0,85487	0,01306
3	M1	T3	V3	t3	0,1651	1,74056	0,78111	0,01839
4	M2	T1	V2	t3	0,1784	1,11875	0,77649	0,01740
5	M2	T2	V3	t1	0,1866	1,48987	0,83730	0,01669
6	M2	T3	V1	t2	0,1824	1,52134	0,80725	0,01769
7	M3	T1	V3	t2	0,1552	1,30607	0,86851	0,01220
8	M3	T2	V1	t3	0,1295	2,06831	0,85731	0,01288
9	M3	T3	V2	t1	0,1305	2,45135	0,91076	0,01080

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3

Modelo matemático de Wang y Singh

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES				HUMEDAD (g/g)	a	b	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO					
1	M1	T1	V1	t1	0,1646	- 0,96222	0,26273	0,86745	0,01621
2	M1	T2	V2	t2	0,1687	- 0,88368	0,21188	0,83991	0,01728
3	M1	T3	V3	t3	0,1651	- 0,84973	0,18533	0,65913	0,03341
4	M2	T1	V2	t3	0,1784	- 0,77752	0,16375	0,75140	0,02257
5	M2	T2	V3	t1	0,1866	- 1,07493	0,31348	0,84171	0,02029
6	M2	T3	V1	t2	0,1824	- 0,94798	0,23724	0,77704	0,02455
7	M3	T1	V3	t2	0,1552	- 0,89996	0,21619	0,83536	0,01833
8	M3	T2	V1	t3	0,1295	- 0,87512	0,18984	0,66742	0,03503
9	M3	T3	V2	t1	0,1305	- 1,19618	0,35527	0,81038	0,02870

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4

Modelo matemático de Page

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES				HUMEDAD (g/g)	k	n	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO					
1	M1	T1	V1	t1	0,1646	1,24685	0,36567	0,99895	0,00013
2	M1	T2	V2	t2	0,1687	1,29265	0,34655	0,99873	0,00014
3	M1	T3	V3	t3	0,1651	1,55154	0,15949	0,99734	0,00026
4	M2	T1	V2	t3	0,1784	1,27843	0,27924	0,99901	0,00009
5	M2	T2	V3	t1	0,1866	1,41913	0,22556	0,99869	0,00017
6	M2	T3	V1	t2	0,1824	1,44997	0,20861	0,99470	0,00058
7	M3	T1	V3	t2	0,1552	1,34385	0,35018	0,99887	0,00013
8	M3	T2	V1	t3	0,1295	1,68203	0,19634	0,99885	0,00012
9	M3	T3	V2	t1	0,1305	1,81100	0,17857	0,99891	0,00017

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5

Modelo matemático Logarítmica

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES					HUMEDAD (g/g)	a	K	c	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATUR A	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO							
1	M1	T1	V1	t1	0,1646	0,79125	2,82526	0,20525	0,98826	0,00191	
2	M1	T2	V2	t2	0,1687	0,81337	2,74372	0,18396	0,99556	0,00060	
3	M1	T3	V3	t3	0,1651	0,83025	4,19470	0,16966	0,99966	0,00004	
4	M2	T1	V2	t3	0,1784	0,80054	2,98316	0,19714	0,99419	0,00063	
5	M2	T2	V3	t1	0,1866	0,80369	3,86707	0,19603	0,99945	0,00009	
6	M2	T3	V1	t2	0,1824	0,81723	3,70570	0,18286	0,99995	0,00001	
7	M3	T1	V3	t2	0,1552	0,82579	2,79416	0,17181	0,99609	0,00054	
8	M3	T2	V1	t3	0,1295	0,86063	4,10998	0,13897	0,99877	0,00016	
9	M3	T3	V2	t1	0,1305	0,86648	4,75538	0,13348	0,99994	0,00001	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 6

Modelo matemático de Henderson Pabis

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES				HUMEDAD (g/g)	a	k	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO					
1	M1	T1	V1	t1	0,164638	0,9232782	1,0680040	0,8841965	0,0141578
2	M1	T2	V2	t2	0,168684	0,9187712	1,0836600	0,8664325	0,0144205
3	M1	T3	V3	t3	0,165090	0,9461562	1,5877360	0,7852018	0,0210535
4	M2	T1	V2	t3	0,178428	0,8817988	0,9255968	0,7995797	0,0181992
5	M2	T2	V3	t1	0,186621	0,9362808	1,3594820	0,8444661	0,0199419
6	M2	T3	V1	t2	0,182441	0,9346950	1,3710850	0,8138935	0,0204916
7	M3	T1	V3	t2	0,155170	0,9289603	1,1832370	0,8769858	0,0136940
8	M3	T2	V1	t3	0,129478	0,9715858	1,9911760	0,8584842	0,0149071
9	M3	T3	V2	t1	0,130523	0,9848095	2,4113910	0,9111218	0,0134498

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7

Modelo matemático de Dos Términos Exponencial

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES				HUMEDAD (g/g)	a	k	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO					
1	M1	T1	V1	t1	0,1646	0,24094	3,78035	0,92360	0,00934
2	M1	T2	V2	t2	0,1687	0,25839	3,52933	0,90716	0,01002
3	M1	T3	V3	t3	0,1651	0,29496	3,96555	0,82544	0,01711
4	M2	T1	V2	t3	0,1784	0,25502	3,25331	0,84735	0,01386
5	M2	T2	V3	t1	0,1866	0,27260	4,00835	0,88615	0,01460
6	M2	T3	V1	t2	0,1824	0,28379	3,78929	0,85671	0,01578
7	M3	T1	V3	t2	0,1552	0,26580	3,65901	0,91511	0,00945
8	M3	T2	V1	t3	0,1295	0,31245	4,52668	0,88393	0,01223
9	M3	T3	V2	t1	0,1305	0,33136	5,18869	0,92800	0,01090

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8

Modelo matemático de Midilli

N° EXPERIENCIAS	VARIABLES				HUMEDAD (g/g)	a	K	n	b	R ²	VARIANZA
	N° DE MALLA	TEMPERATURA	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	TIEMPO							
1	M1	T1	V1	t1	0,1646	0,99999	1,076	0,207	- 0,0438	0,9998	6,03E-05
2	M1	T2	V2	t2	0,1687	0,99995	1,429	0,482	0,0257	0,9998	3,24E - 05
3	M1	T3	V3	t3	0,1651	1,00004	1,769	0,353	0,0303	0,9994	9,26E - 05
4	M2	T1	V2	t3	0,1784	0,99999	1,375	0,385	0,0193	0,9999	2,00E - 05
5	M2	T2	V3	t1	0,1866	1,00001	1,677	0,423	0,0421	0,9999	2,26E - 05
6	M2	T3	V1	t2	0,1824	1,00010	1,807	0,515	0,0497	0,9992	1,54E - 04
7	M3	T1	V3	t2	0,1552	0,99997	1,483	0,485	0,0245	0,9999	1,57E - 05
8	M3	T2	V1	t3	0,1295	1,00001	1,858	0,345	0,0213	1,0000	7,51E - 06
9	M3	T3	V2	t1	0,1305	1,00001	2,170	0,403	0,0360	0,9999	2,76E - 05

Fuente: Elaboración propia

ANEXO Nº 5

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA ELECCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO CON EL SOFTWARE MINITAB 18

ANÁLISIS DE ÍNDICE DE CORRELACIÓN

One-way ANOVA: R2 versus Método

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Método	7	Dos Términos Exponencial; Henderson Pabis; Logarítmico; Midilli; Newton; Page; Wang&Sing

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Método	6	0.43663	0.072772	46.48	0.000
Error	56	0.08768	0.001566		
Total	62	0.52431			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0395686	83.28%	81.49%	78.84%

Means

Método	N	Mean	StDev	95% CI
Dos Términos Exponencial	9	0.8859	0.0362	(0.8595; 0.9124)
Henderson Pabis	9	0.8489	0.0419	(0.8225; 0.8754)
Logarítmico	9	0.99687	0.00388	(0.97045; 1.02330)
Midilli	9	0.999739	0.000279	(0.973317; 1.026160)
Newton	9	0.8407	0.0447	(0.8142; 0.8671)
Page	9	0.998228	0.001418	(0.971806; 1.024649)
Wang&Sing	9	0.7833	0.0767	(0.7569; 0.8097)

Pooled StDev = 0.0395686

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

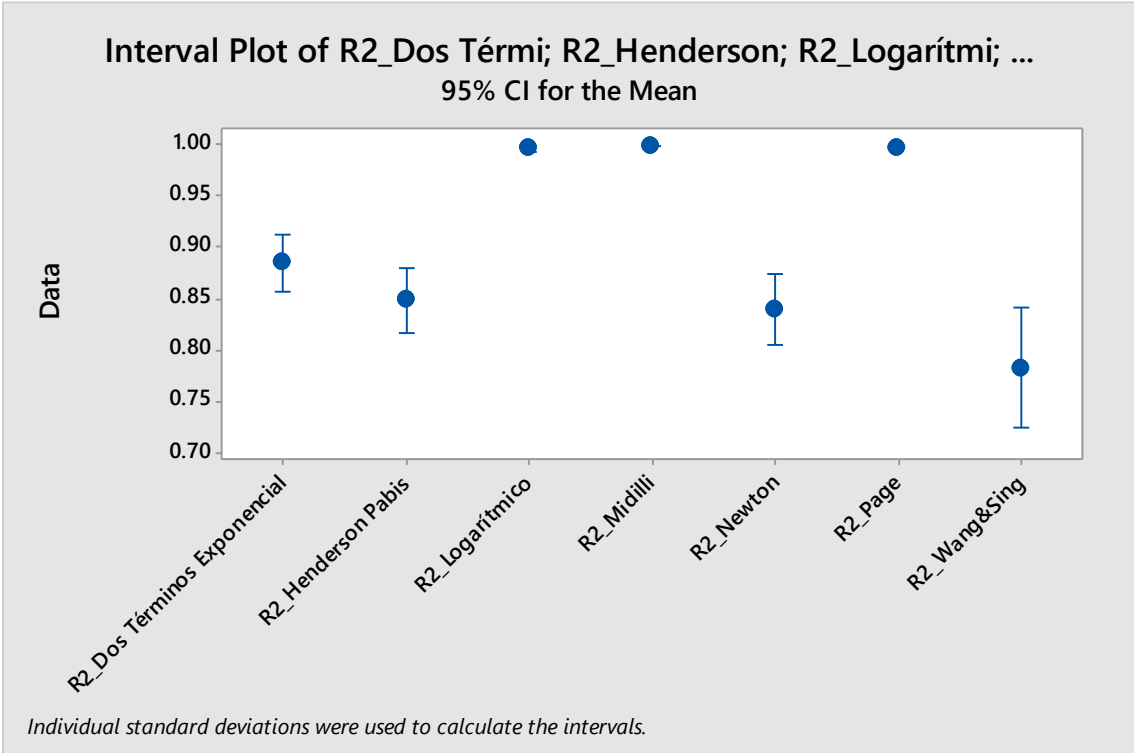


Gráfico N° 10 Gráfico de intervalos

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

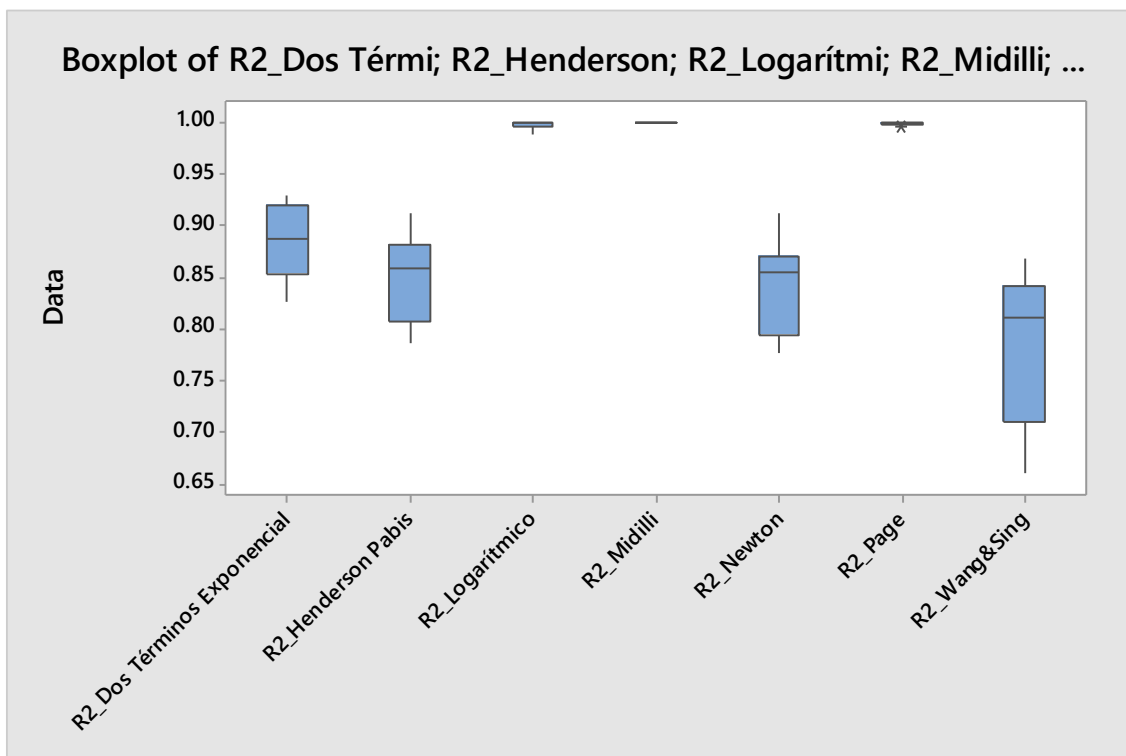


Gráfico N° 11 Gráfico de caja

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

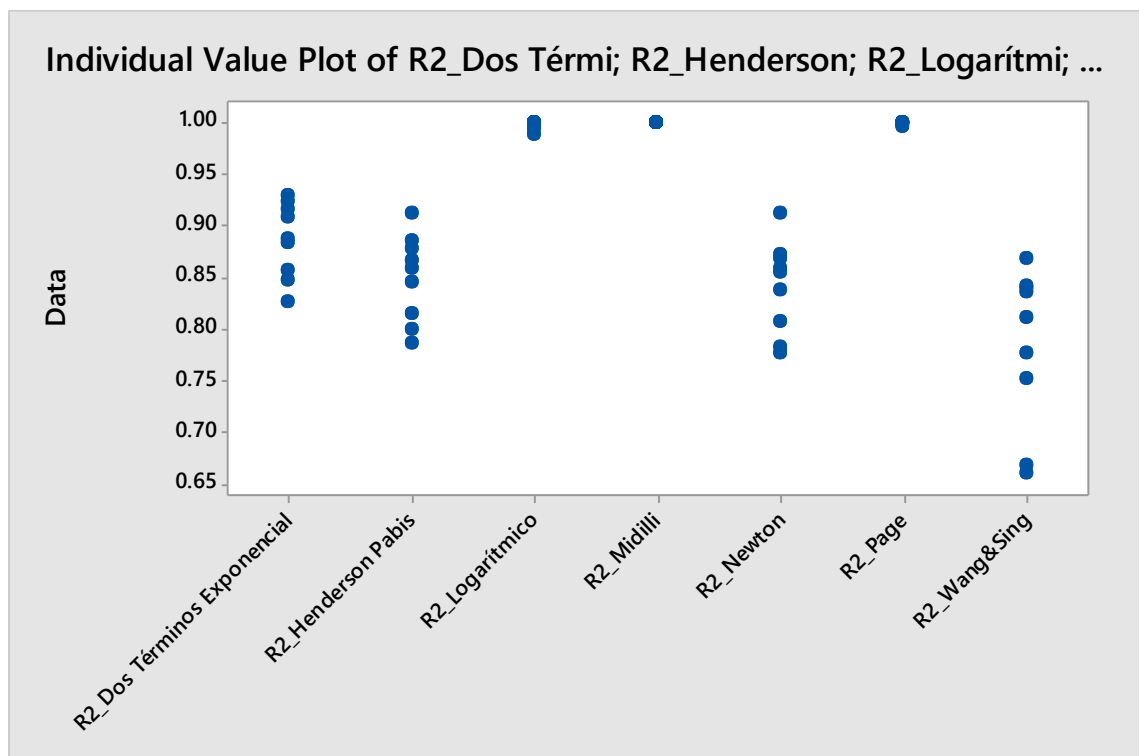


Gráfico N° 12 Gráfico de valores individuales

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

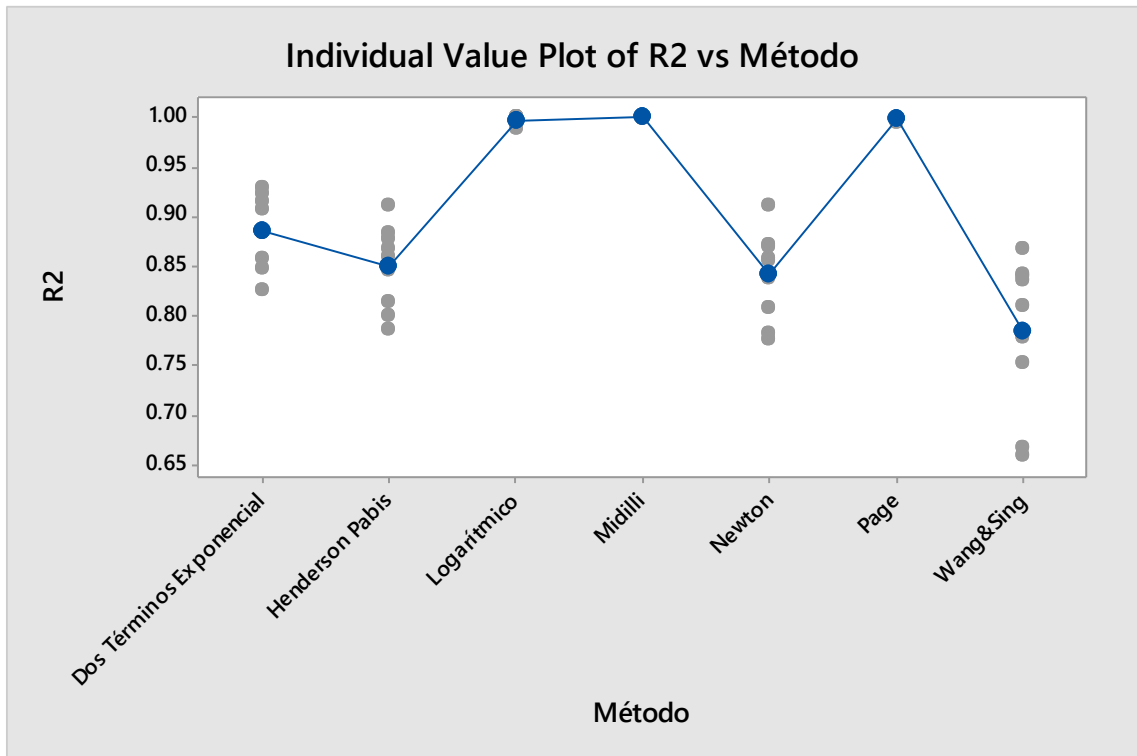


Gráfico N° 13 Gráfica de valores individuales

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

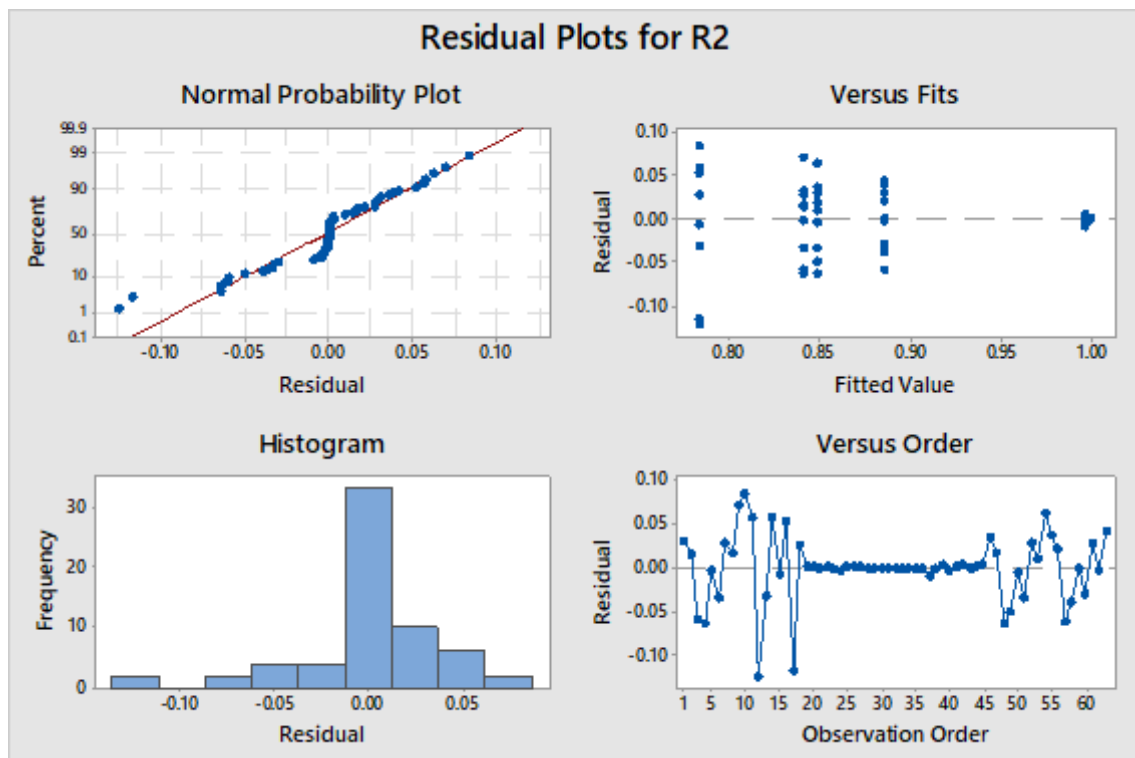


Gráfico N° 14 Gráfico de residuos

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

ANÁLISIS DE VARIANZA

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0032799	89.26%	88.11%	86.41%

Means

Método	N	Mean	StDev	95% CI
Dos Términos Exponencial	9	0.012587	0.002877	(0.010397; 0.014777)
Henderson Pabis	9	0.01670	0.00317	(0.01451; 0.01889)
Logarítmico	9	0.000444	0.000610	(-0.001746; 0.002634)
Midilli	9	0.000048	0.000048	(-0.002142; 0.002238)
Newton	9	0.014622	0.002872	(0.012432; 0.016812)
Page	9	0.000198	0.000152	(-0.001992; 0.002388)
Wang&Sing	9	0.02404	0.00695	(0.02185; 0.02623)

Pooled StDev = 0.00327987

One-way ANOVA: Varianza versus Método

Method

Null hypothesis All means are equal
Alternative hypothesis At least one mean is different
Significance level $\alpha = 0.05$

Equal variances were assumed for the analysis.

Factor Information

Factor	Levels	Values
Método	7	Dos Términos Exponencial; Henderson Pabis; Logarítmico; Midilli; Newton; Page; Wang&Sing

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Método	6	0.005007	0.000834	77.57	0.000
Error	56	0.000602	0.000011		
Total	62	0.005609			

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

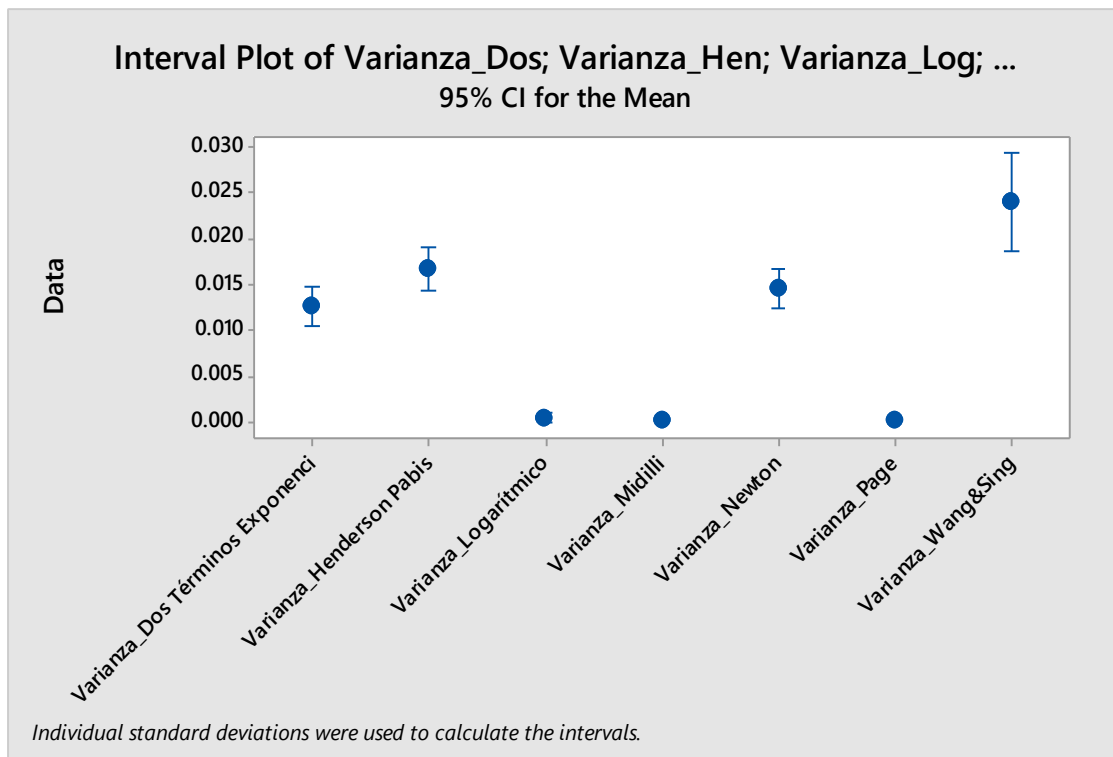


Gráfico N° 15 Gráfico de intervalos

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

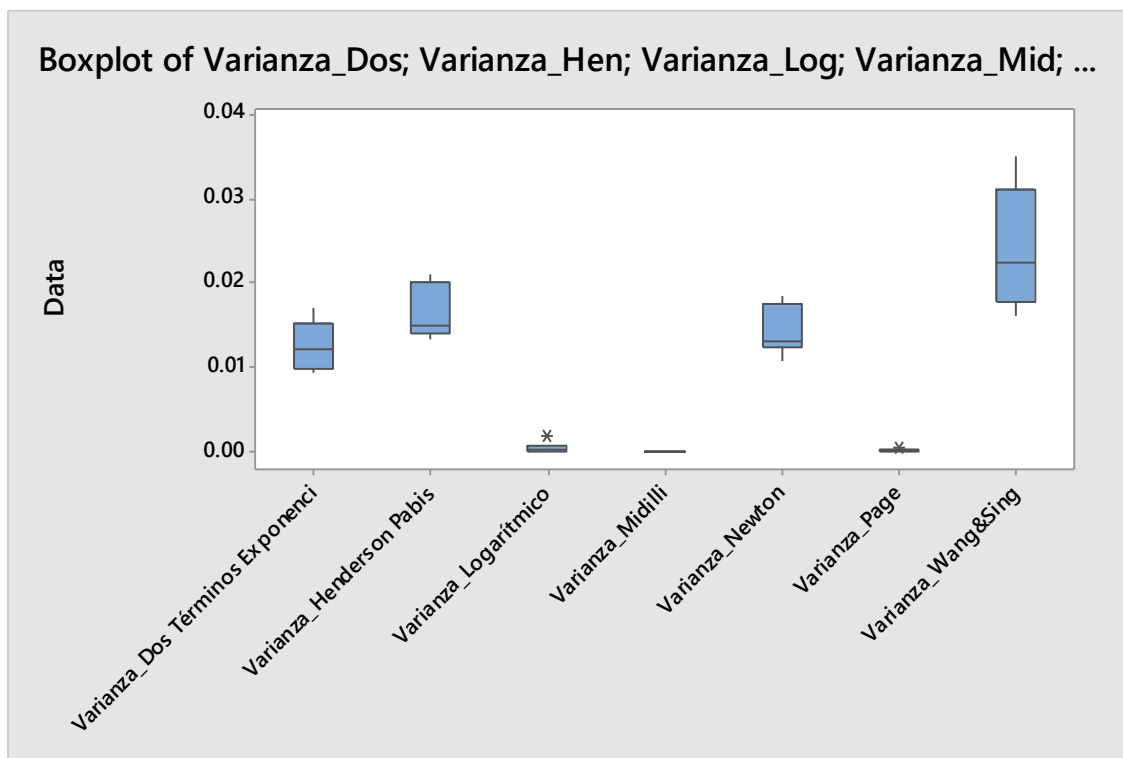


Gráfico N° 16 Gráfico de caja

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

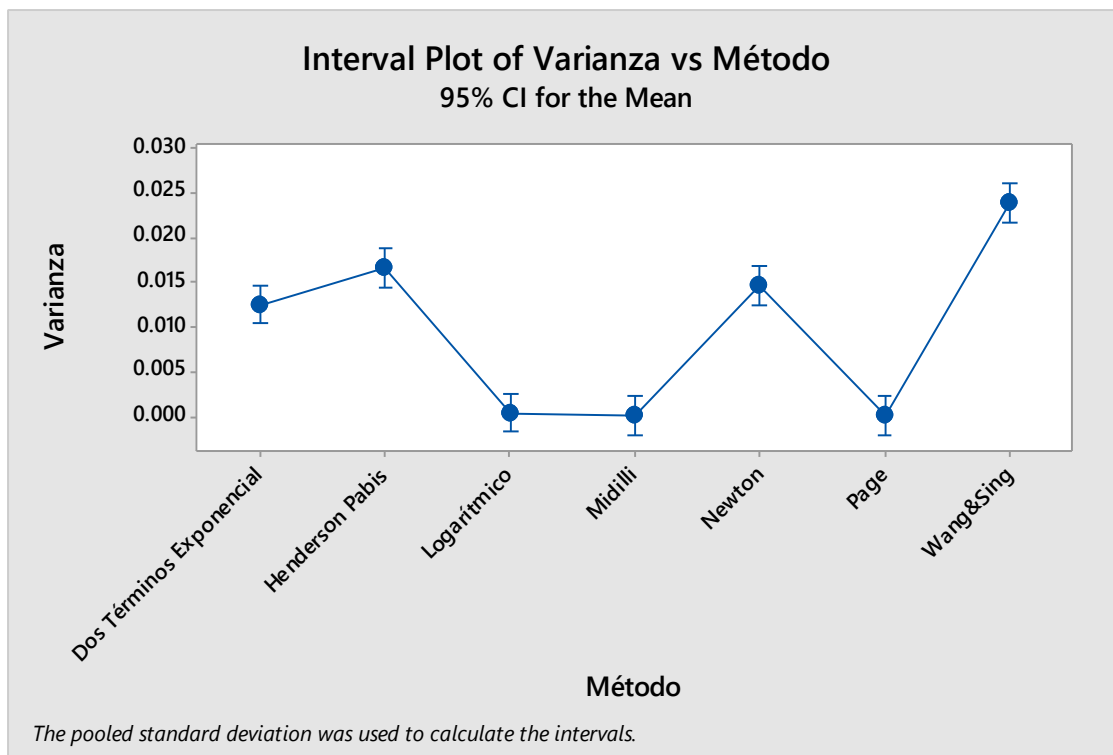


Gráfico N° 17 Gráfico de intervalos

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

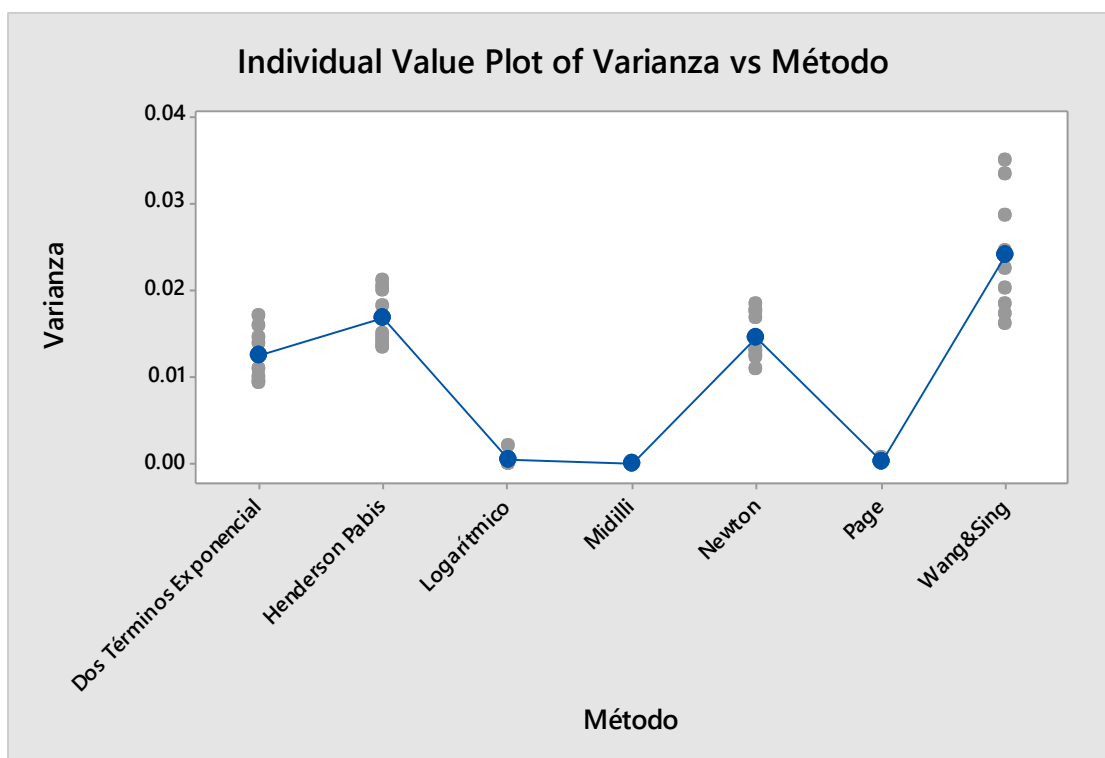


Gráfico N° 18 Gráfico de valores individuales

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

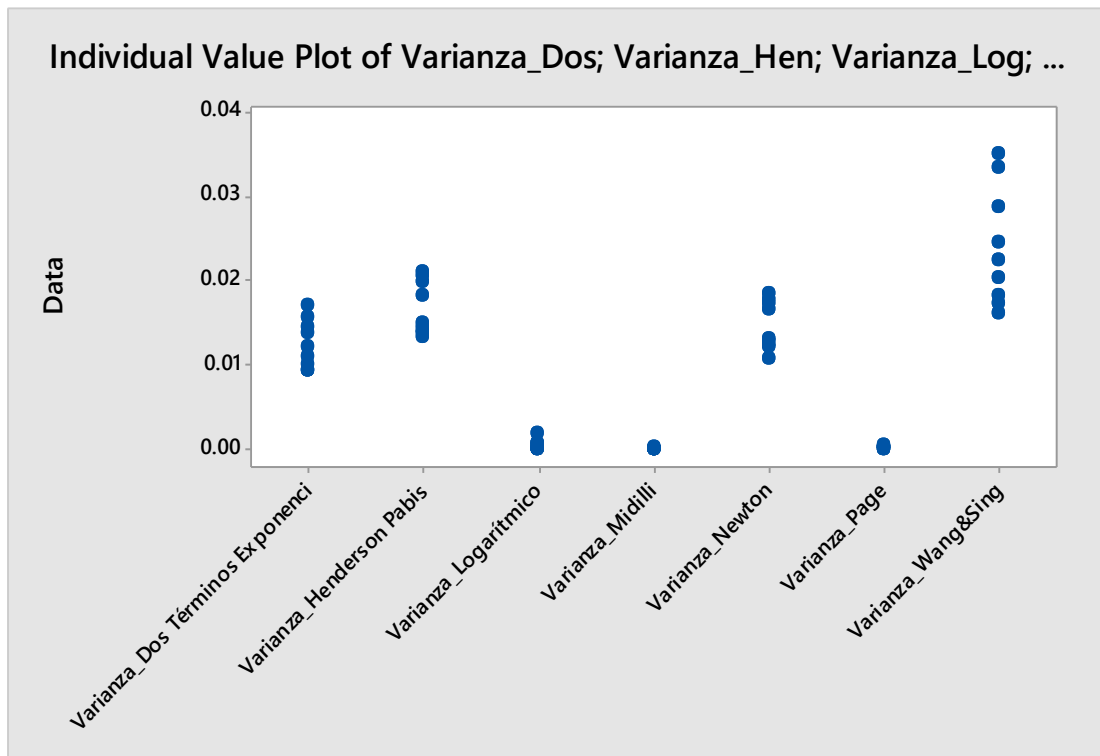


Gráfico N° 19 Gráfico de valores individuales

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

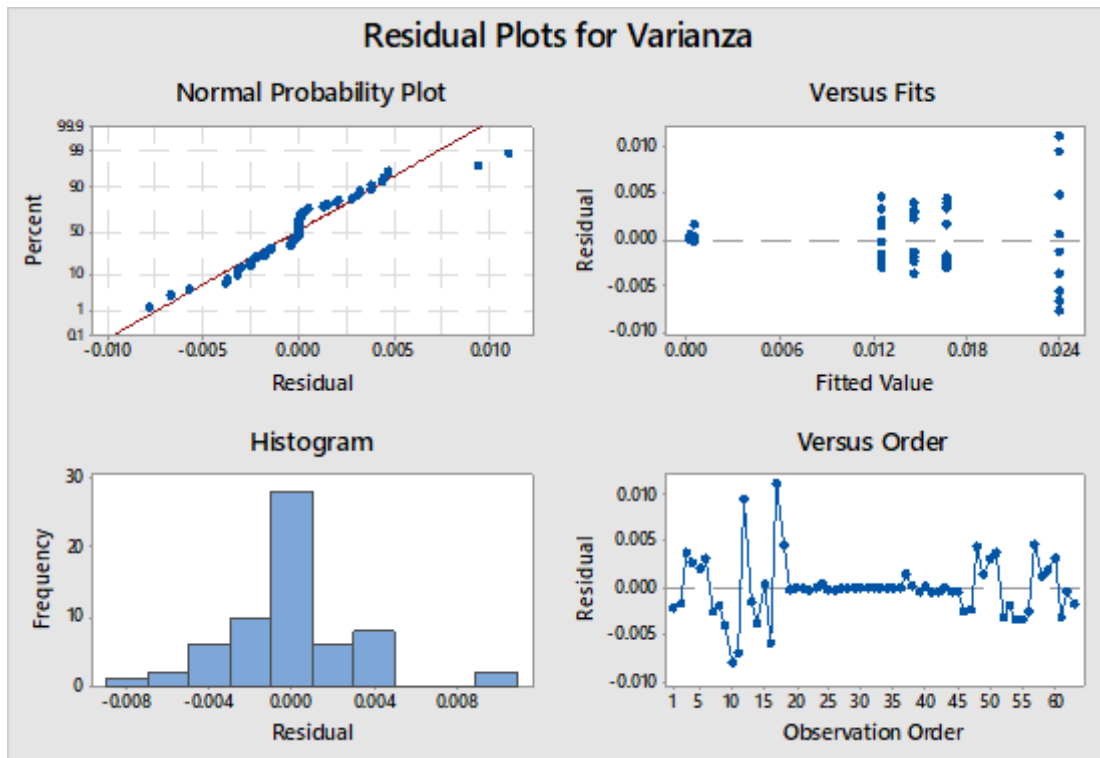


Gráfico N° 20 Gráfico de residuos

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

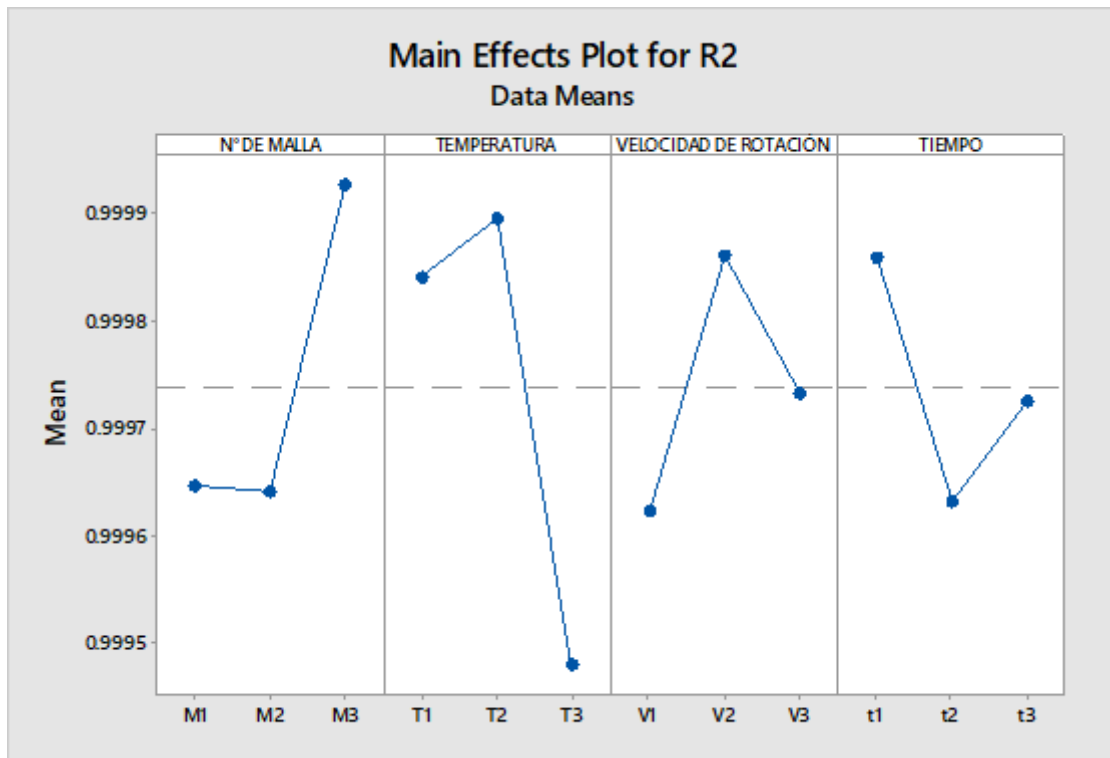


Gráfico N° 21 Gráfico de efecto principales para R²

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

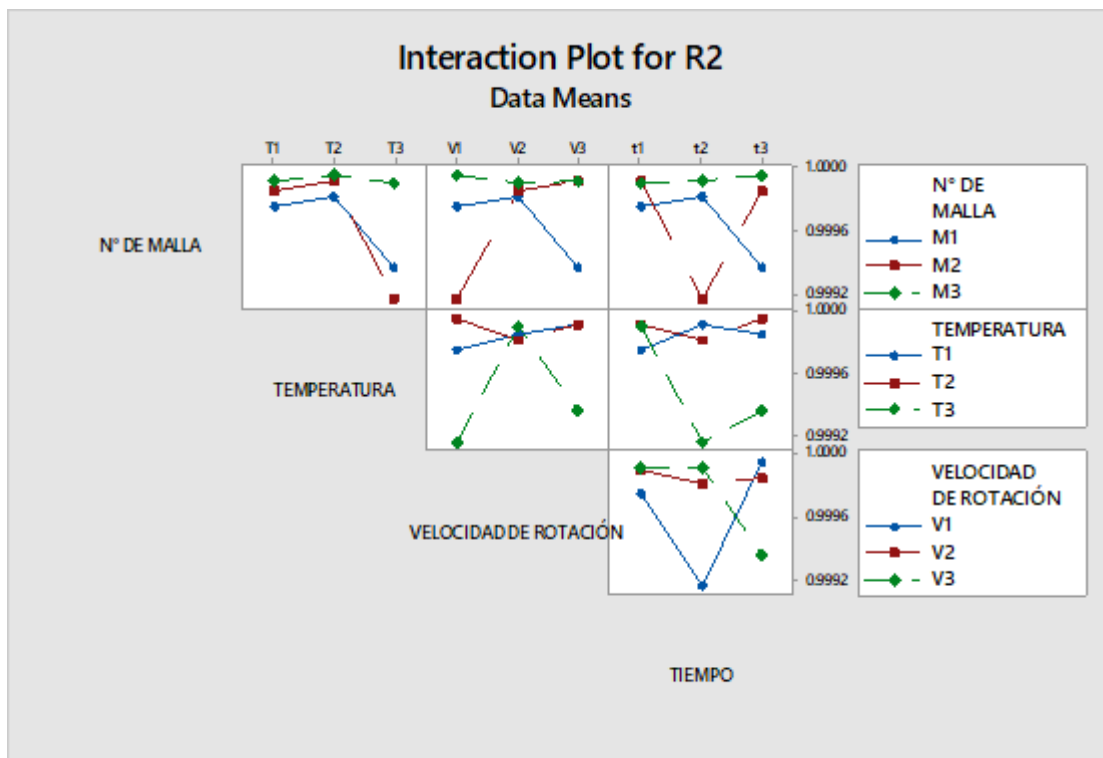


Gráfico N° 22 Gráfica de interacción para R²

Fuente: Datos elaborados con MINITAB 18

ANEXO N° 6

ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE CENIZAS

a) MATERIALES

- 1) Crisol
- 2) Pinzas para mufla
- 3) Mechero
- 4) Máscara para gases y vapores con filtro
- 5) Lentes de protección
- 6) Guantes de hilo

b) EQUIPOS

- 1) Mufla
- 2) Desecador
- 3) Balanza digital

c) REACTIVOS E INSUMOS

- 1) Semillas de papaya húmedas.
- 2) Semillas de papaya secas a una temperatura de 55°C.

ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE CENIZAS

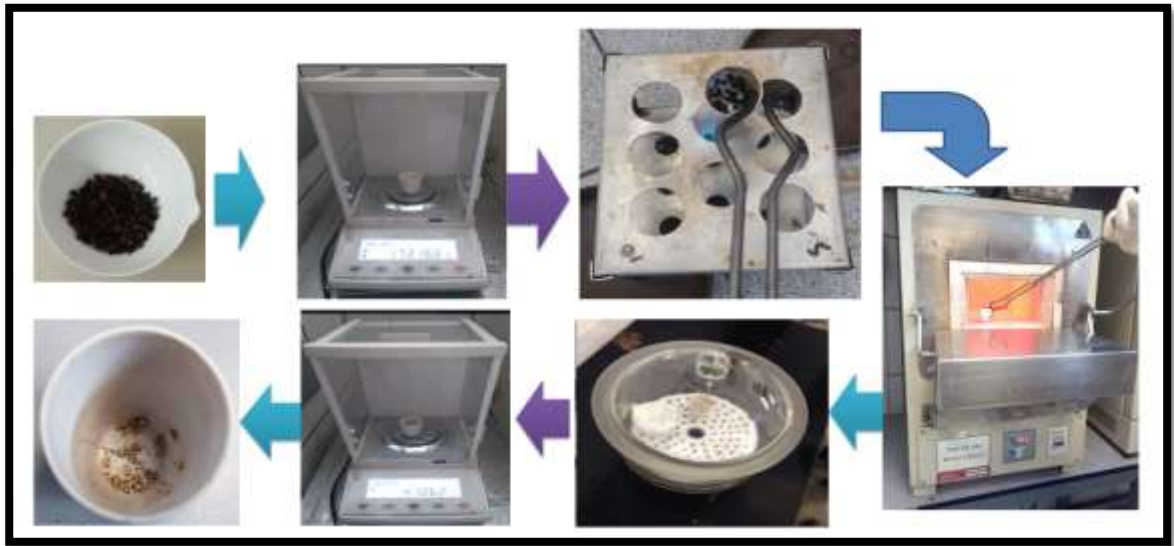


Figura N° 1 Proceso de análisis de porcentaje de cenizas

Fuente: Elaboración propia

CÁLCULOS:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P1(g) - P2(g) * 1000}{P1(g) - Pc(g)}$$

Donde:

P1 : Peso del crisol con muestra antes de la mufla

P2 : Peso del crisol con muestra después de la mufla

Pc : Peso del crisol

Reemplazando datos:

Muestra	P1	P2	Pc	% Cenizas
Muestra semilla seca	17,3166 g	4,1062 g	17,103 g	61,8464 g
Muestra semilla húmeda	17,2195 g	10,8571 g	17,103 g	54,6129 g

ANEXO Nº 7

EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA CON n- HEXANO EN UN EQUIPO SOXHLET

Según el EPA 9071B, se realiza el procedimiento de extracción de aceite de semillas de papaya

a) Materiales

- 1) Dedales
- 2) Algodón
- 3) Balones de 125 ml y 250 ml.
- 4) Balanza
- 5) Papel filtro
- 6) Embudo
- 7) Máscara para gases y vapores con filtro
- 8) Lentes de protección
- 9) Guantes de Nitrilo
- 10) Bolas de cristal

b) Equipos

- 1) Equipo Soxhlet
- 2) Baño María
- 3) Campana extractora

c) Reactivos e Insumos

- 1) n – Hexano
- 2) Semillas de papaya secas a una temperatura de 55°C

PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE SEMILLA DE PAPAYA CON n-HEXANO EN UN EQUIPO SOXHLET

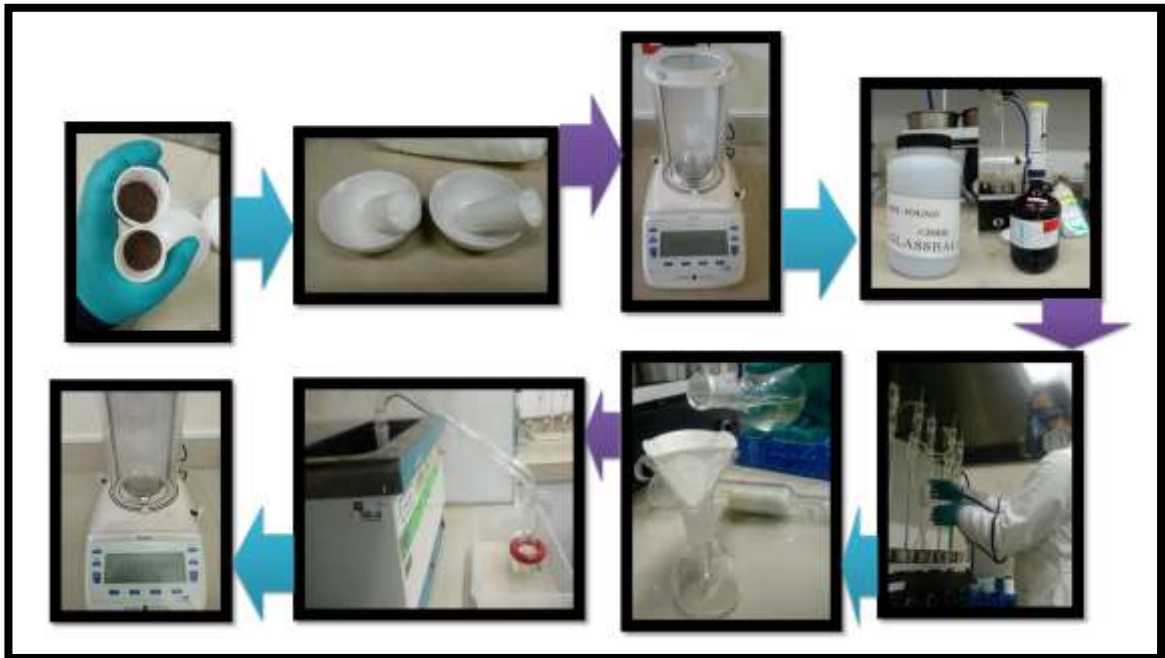


Figura N°2: Proceso de extracción de aceite de semillas de papaya
Fuente: Elaboración propia

CÁLCULOS:

Cálculo la concentración de HEM (n – hexano material extraíble) en la muestra de la siguiente manera según el EPA 9071B

$$HEM \left(\frac{mg}{Kg \text{ de peso húmedo}} \right) = \frac{Ganancia \text{ de peso del balón (mg)} * 1\ 000}{Peso \text{ del sólido húmedo (g)}}$$

En donde:

Ganancia del peso del balón (mg) = 65 992,14 – 63 244 = 2 748,14 mg

Peso sólido húmedo = 83 g de semillas de papaya

Reemplazando los datos obtenidos experimentalmente, se tiene:

$$\text{Concentración del material extraíble} = 30,19 \frac{mg}{L}$$