

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**EXTRACCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE VIRGEN DE  
PULPA DE PALTA (*Persea americana mill Hass*) PRODUCIDAS  
EN LA LOCALIDAD DE SAN TELMO - CERCADO POR EL  
MÉTODO DE PRESIÓN HIDRÁULICA**

**Por:**

**GALARZA MARTINEZ CAROL JHOANA**

**Modalidad de graduación: Proyecto de Grado Investigación Aplicada presentado  
a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL  
SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en  
Ingeniería Química.**

**OCTUBRE 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

V°B°

---

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia

**DECANO**

Facultad de Ciencias y Tecnología

---

M.Sc. Ing. Gustavo Succi

**VICEDECANO**

Facultad de Ciencias y Tecnología

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Adalid Aceituno Cáceres

---

Ing. Erick Ramírez Ruiz

---

Ing. Eyver Ortiz Flores

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicado a Dios, a mi familia y con mucho cariño especialmente a mi madre, por el apoyo incondicional en todo momento en esta etapa de mi vida.

El agradecimiento va dirigido a Dios, a mi Familia y especialmente a mi madre Viagney Martinez.

A mi tío Miguel Angel Martinez por enseñarme, aconsejarme y guiarme en las primeras etapas del transcurso de mi carrera.

A mi estimado docente Ing. José Ernesto Auad por guiarme y motivarme, al Ing. Pablo Herbas por ayudarme, aconsejarme y guiarme al Ing. Gustavo Moreno por aconsejarme y al Ing. Ignacio Velásquez por ayudarme, les agradezco de corazón por apoyarme en mi proyecto de grado.

A mis amigas que me enseñaron a que no debo rendirme.

Un sueño no se hace realidad por arte de magia; necesita sudor, determinación y trabajo duro. **Colin Powell**

**ABREVIATURAS, UNIDADES Y SIMBOLOGÍA**

<b>ANOVA</b>	Análisis de Varianza
<b>Sig.</b>	Significancia
<b>CEANID</b>	Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo
<b>LOU</b>	Laboratorio de Operaciones Unitarias
<b>gl.</b>	Grados de Libertad
<b>SPSS</b>	Statistical Package for the Social Sciences
<b>NB</b>	Norma Boliviana
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>AGT</b>	Ácidos Grasos Trans
<b>LDL</b>	Lipoproteína de baja densidad
<b>m</b>	metros
<b>cm</b>	centímetro
<b>h</b>	hora
<b>s</b>	segundo
<b>mg</b>	miligramo
<b>g</b>	gramo
<b>ml</b>	mililitros
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Psi</b>	$\text{Kg/cm}^2$
<b>KJ</b>	Kilo Joule
<b>KW</b>	Kilowatts

<b>KWh</b>	Kilowatts por hora
<b>W</b>	Watts
<b>t</b>	Tonelada
<b>Bs</b>	bolivianos
<b>meqO<sub>2</sub></b>	Miliequivalentes de oxígeno
<b>Max</b>	Máximo
<b>Min</b>	Mínimo
<b>F calculado</b>	Valor de F-fisher calculado
<b>F de Tablas</b>	Valor de F-fisher de Tablas
<b>tst</b>	Valor de t-student
<b>atm</b>	atmósfera



## **INTRODUCCIÓN**

ANTECEDENTES.....	1
Generalidades.....	1
Conceptualización de la idea del proyecto.....	2
Aspectos del mercado del aceite de pulpa de palta.....	3
Procesos tecnológicos empleados para el aceite de palta.....	5
Materia prima (Palta) .....	5
Identificación del problema.....	9
Causa y efecto directo.....	9
Planteamiento técnico propuesto.....	9
OBJETIVOS .....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	11
Justificación económica .....	11
Justificación científico - tecnológico .....	11
Justificación social .....	11
Justificación ambiental.....	12

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

1.1. ACEITE.....	13
1.1.1. DEFINICIÓN .....	13
1.2. LÍPIDOS .....	13
1.2.1. DEFINICIÓN .....	13
1.2.2. CLASIFICACIÓN BIOLÓGICA DE LOS LÍPIDOS .....	15
1.2.2.1. Lípidos saponificables .....	15

1.3.	ACEITE VEGETAL .....	16
1.3.1.	DEFINICIÓN .....	16
1.3.2.	MÉTODOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS .....	16
1.3.2.1.	Propiedades físicas.....	17
1.3.2.2.	Propiedades químicas .....	17
1.3.3.	TIPOS DE ACEITES VEGETALES .....	18
1.4.	PALTA O AGUACATE .....	18
1.4.1.	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA Y ECOGEOGRÁFICA DE LA PALTA.....	18
1.4.1.1.	Taxonomía de la palta.....	19
1.4.1.2.	La Raíz.....	20
1.4.1.3.	El tallo.....	20
1.4.1.4.	Las hojas .....	21
1.4.1.5.	Las flores.....	22
1.4.1.6.	El fruto .....	23
1.4.1.7.	La semilla de la palta .....	24
1.4.1.8.	Época de maduración .....	25
1.4.2.	VARIETADES DE PALTAS O AGUACATES .....	25
1.4.3.	ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA DE LA PALTA HASS..	30
1.4.4.	PULPA DE LA PALTA HASS.....	30
1.4.4.1.	Factores que afectan la conservación de la pulpa de palta .....	31
1.5.	ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA .....	32
1.5.1.	BENEFICIOS DEL ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA.....	33
1.5.2.	APLICACIONES DEL ACEITE DE PALTA .....	33
1.6.	NORMAS TÉCNICAS PARA UN ACEITE VIRGEN .....	34
1.6.1.	NORMAS INTERNACIONALES.....	34
1.7.	EL ACEITE DE PALTA COMO SUSTITUTO DEL ACEITE DE OLIVA..	35

1.8. MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LA PULPA DE LA PALTA .....	37
1.8.1. CENTRIFUGACIÓN .....	37
1.8.1.1. Termobatido .....	38
1.8.2. EXTRACCIÓN CON SOLVENTES .....	38
1.8.2.1. El tipo Bolton o Bailey-Walker .....	39
1.8.2.2. El tipo Soxhlet .....	39
1.8.3. PENSADO .....	39
1.8.3.1. Prensado en frío .....	40
1.8.3.2. Prensado en caliente.....	40
1.8.3.3. Prensado por Expeller.....	41
1.8.3.4. Prensado Hidráulico.....	42
1.8.3.5. Proceso de operación de extracción de aceite de palta por el método de presión hidráulica.....	42

## **CAPÍTULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA .....	44
2.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA (PALTA HASS) .....	44
2.2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	47
2.2.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO EXPERIMENTAL DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA .....	47
2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	50
2.3.1. SELECCIÓN DE LOS FACTORES DEL PROCESO TECNOLÓGICO .....	50
2.3.2. DISEÑO FACTORIAL 2 <sup>3</sup> .....	51
2.4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE LABORATORIO UTILIZADOS EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA .....	53
2.4.1. EQUIPOS DE LABORATORIO .....	53
2.4.1.1. Balanza digital electrónica .....	53

2.4.1.2. Estufa de flujo convectivo .....	54
2.4.1.3. Secador a infrarrojo.....	55
2.4.1.4. Prensa hidráulica.....	55
2.4.2. INSTRUMENTOS DE LABORATORIO.....	56
2.4.3. MATERIALES DE LABORATORIO .....	58
2.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA.....	59
2.5.1. RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA .....	61
2.5.2. LAVADO .....	61
2.5.3. PESADO DE FRUTA.....	62
2.5.4. DESPULPADO.....	62
2.5.5. CORTADO .....	63
2.5.6. SECADO.....	63
2.5.7. HUMEDAD DE LA PULPA DE PALTA.....	65
2.5.8. PRENSADO HIDRÁULICO .....	66
2.5.9. FILTRADO.....	67
2.5.10. ENVASADO Y ROTULADO.....	68
2.6. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA.....	69

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1. RESULTADOS DE LA MATERIA PRIMA (PALTA HASS) .....	71
3.1.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA PALTA HASS .....	71
3.2. CURVAS DE SECADO PARA DE LA PULPA DE PALTA ( <i>Persea americana mill Hass</i> ) .....	71
3.3. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE EXTRACCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA ( <i>Persea americana mill Hass</i> ) PARA CADA ENSAYO.....	77

3.4. BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA.....	82
3.5. BALANCE DE ENERGÍA DEL PROCESO TECNOLÓGICO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA.....	105
3.6. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS (HUMEDAD, PRESIÓN Y TIEMPO) SOBRE EL RENDIMIENTO DE ACEITE VIRGEN PULPA DE PALTA.....	112
3.8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE VIRGEN DE PULPA DE PALTA .....	121

#### **CAPÍTULO IV**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1. CONCLUSIONES .....	124
4.2. RECOMENDACIONES .....	126

#### **BIBLIOGRAFÍA**

BIBLIOGRAFÍA.....	123
-------------------	-----

## Índice de Cuadros y/o Tablas

Tabla 1 Demanda insatisfecha del aceite de palta a nivel mundial (expresada en t/año)	3
Tabla 2 Precios de mercado de aceite de palta a nivel mundial 2010.....	4
Tabla 3 Censo 2013, Bolivia: número de árboles de palta dispersos en el departamento de Tarija .....	9
Tabla 4 Tarija - Bolivia: superficie y producción de palta de las campañas de invierno 2012 y verano 2012 - 2013.....	9
Tabla I-1 Clasificación taxonómica de la palta Hass .....	19
Tabla I-2 Composición Bioquímica de la Palta HASS .....	30
Tabla I-3 Características fisicoquímicas del aceite de palta, por Schwartz, 2001 .....	33
Tabla I-4 Aplicaciones del aceite de palta en las industrias.....	34
Tabla I-5 Límites permisibles de la calidad de aceite virgen, según CODEX alimentario .....	35
Tabla I-6 Comparaciones de ácidos grasos entre el aceite de oliva y aceite de palta .	36
Tabla I-7 Comparaciones de las características físico-químicas entre el aceite de oliva y aceite de palta.....	36
Tabla II-1 Porcentaje de materia grasa y humedad de las paltas cultivadas en la localidad de San Telmo - Cercado .....	44
Tabla II-2 Estados de madurez de la palta ( <i>Persea americana mill Hass</i> ) según estudio de la Universidad de Guanajuato de México, 2012 .....	45
Tabla II-3 Peso de las paltas Hass.....	46
Tabla II-4 Análisis fisicoquímicos de la pulpa de la palta ( <i>Persea americana mill Hass</i> ) .....	46
Tabla II-5 Escala de calificación de los métodos aplicados en la extracción de aceite virgen.....	47
Tabla II-6 Comentario del evaluador .....	48
Tabla II-7 Selección del método experimental de extracción de aceite de pulpa de palta .....	49
Tabla II-8 Niveles y factores que intervienen (en notación geométrica).....	52
Tabla II-9 Niveles y factores que intervienen .....	52
Tabla II-10 Diseño Factorial, algoritmo de yates.....	53
Tabla II-11 Instrumentos de laboratorio .....	57
Tabla II-12 Materiales de laboratorio A.....	58

Tabla II-13 Materiales de laboratorio B.....	59
Tabla II-14 Análisis fisicoquímicos del producto final (aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta deshidratada al 0,17%.....	69
Tabla II-15 Análisis fisicoquímicos del producto final (aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta deshidratada al 10%.....	70
Tabla III-1 Comparación de análisis fisicoquímicos de la materia prima (palta Hass) específicamente de la pulpa de palta (mesocarpio).....	71
Tabla III-2 Determinación de la humedad inicial, final y extraída de la pulpa de palta ( <i>Persea americana mill Hass</i> ).....	72
Tabla III-3 Determinación de la curva de secado de pulpa de palta Hass por el secador infrarrojo a 0,55% .....	73
Tabla III-4 Determinación de la curva de secado de pulpa de palta Hass por el secador infrarrojo a 10,11% .....	75
Tabla III-5 Determinación del porcentaje del aceite de pulpa de palta a partir de pulpa de palta seca .....	77
Tabla III-6 Porcentaje de aceite total y humedad de la pulpa de palta para los dos niveles de maduración.....	78
Tabla III-7 Determinación del Rendimiento del proceso para la extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	81
Tabla III-8 Descripción de los flujos másicos proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	83
Tabla III-9 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de lavado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	84
Tabla III-10 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de despulpado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	84
Tabla III-11 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de cortado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	85
Tabla III-12 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de secado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	85
Tabla III-13 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de prensado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	86
Tabla III-14 Descripción de las fracciones de los flujos másicos en la etapa de cortado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	86
Tabla III-15 Descripción otros valores del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta .....	87

Tabla III-16 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de lavado .....	89
Tabla III-17 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de lavado .....	89
Tabla III-18 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de despulpado.....	91
Tabla III-19 Datos determinados experimentalmente para la palta en la etapa de cortado .....	93
Tabla III-20 Propiedades psicrométricas del flujo de aire .....	98
Tabla III-21 Descripción de las variables en la etapa de secado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta.....	105
Tabla III-22 Descripción de las variables en la etapa de prensado del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta.....	106
Tabla III-23 Propiedades psicrométricas del flujo de aire .....	108
Tabla III-24 Porcentaje de rendimiento de réplica I - II y promedio de las dos repeticiones del aceite virgen de pulpa de palta para el diseño experimental 2 <sup>3</sup> .....	113
Tabla III-25 Datos experimentales a presión constante 5000 Psi del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta para réplica I y réplica II.....	114
Tabla III-26 Datos experimentales a presión constante 6000 Psi del proceso de extracción de aceite virgen de pulpa de palta para réplica I y réplica II.....	114
Tabla III-27 Datos respectivos para el cálculo del análisis estadístico .....	116
Tabla III-28 Análisis de varianza para cada variable (tiempo, presión y humedad). 117	
Tabla III-29 Variables entradas/eliminadas .....	118
Tabla III-30 Resumen del ajuste del modelo .....	118
Tabla III-31 Análisis de varianza general .....	118
Tabla III-32 Coeficientes de la ecuación del modelo matemático .....	119
Tabla III-33 Error del ajuste del modelo a los resultados experimentales .....	120
Tabla III-34 Comparación de los análisis fisicoquímicos del producto final (aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta al 0,17% de humedad y 10% de humedad.....	122
Tabla III-35 Comparación de análisis fisicoquímicos del producto final (Aceite virgen de pulpa de palta) a partir de pulpa de palta al 0,17% de humedad, con los datos bibliográficos de Gutarra, 2018.....	123



## Índice de Figuras

Figura 1 Gráfica de la demanda y oferta del aceite de palta a nivel mundial (expresada en t/año).....	4
Figura 2 Ubicación de plantaciones de palta en el departamento de Tarija.....	7
Figura 3 Plantaciones de palta en San Telmo - Cercado.....	8
Figura 1-1 Ácidos Grasos.....	14
Figura 1-2 Triacilglicéridos: Con tres moléculas de ácidos grasos.....	14
Figura I-3 Plantaciones de palta (Persea americana mill Hass) .....	19
Figura I-4 La raíz .....	20
Figura I-5 El tallo.....	21
Figura I-6 Las hojas .....	22
Figura I-7 Las flores.....	23
Figura I-8 El fruto (Palta Hass).....	24
Figura I-9 La semilla.....	25
Figura 1-10 Palta Hass .....	26
Figura 1-11 Palta Fuerte.....	26
Figura 1-12 Palta Edranol .....	27
Figura 1-13 Palta Bacon.....	28
Figura 1-14 Palta Negra de la Cruz.....	28
Figura 1-15 Palta Santana .....	29
Figura 1-16 Palta Torres.....	29
Figura 1-17 Pulpa de palta Hass.....	30
Figura 1-18 Presentación de los aceites de palta.....	32
Figura 1-19 Flujo de los líquidos y sólidos en una Tecnología Flottweg .....	38
Figura 1-20 Partes de la prensa hidráulica .....	41
Figura 2-1 Balanza digital electrónica .....	54
Figura 2-2 Estufa de flujo convectivo.....	54
Figura 2-3 Secador a infrarroja .....	55
Figura 2-4 Prensa hidráulica mecánica de operación manual .....	56
Figura 2-5 Diagrama de bloques del proceso de extracción del aceite de la pulpa de la palta.....	60

Figura 2-6 Paltas ( <i>Persea americana</i> mill Hass) de la localidad de San Telmo – Cercado .....	61
Figura 2-7 Lavado de las paltas ( <i>Persea americana</i> mill Hass) con agua potable.....	61
Figura 2-8 Pesado de las paltas ( <i>Persea americana</i> mill Hass) .....	62
Figura 2-9 Pelado y deshuesado de las paltas ( <i>Persea americana</i> mill Hass) .....	62
Figura 2-10 Cortado en rodajas de la pulpa de palta ( <i>Persea americana</i> mill Hass)...	63
Figura 2-11 Rebanadas de pulpa de paltas introducidas a la estufa de flujo convectivo .....	64
Figura 2-12 Pulpa de paltas deshidratadas .....	64
Figura 2-13 Control de humedad de la pulpa de palta en el secador a infrarrojo al 0,19% .....	65
Figura 2-14 Control de humedad de la pulpa de palta en el secador a infrarrojo al 10,07% .....	65
Figura 2-15 Prensado de la pulpa de palta en la prensa hidráulica para extracción de aceite .....	66
Figura 2-16 Control de temperatura del cilindro.....	67
Figura 2-17 Filtración al vacío el aceite extraído de la pulpa de palta .....	68
Figura 2-18 Envasado y rotulado el producto final (aceite virgen de pulpa de palta)	68
Figura 3-1 Gráfica de la curva de secado de pulpa de palta ( <i>Persea americana</i> mill Hass) por el secador infrarrojo hasta alcanzar 0,55% .....	74
Figura 3-2 Gráfica de la curva de secado de pulpa de palta ( <i>Persea americana</i> mill Hass) por el secador infrarrojo hasta alcanzar 10% .....	76
Figura 3-3 Gráfica del porcentaje de aceite de palta total en función de porcentaje de humedad.....	79
Figura 3-4 Diagrama de balance de materia del proceso tecnológico experimental de aceite virgen de pulpa de palta .....	88
Figura 3-5 Balance de materia en la etapa de lavado.....	90
Figura 3-6 Balance de materia en la etapa de despulpado .....	92
Figura 3-7 Balance de materia en la etapa de cortado .....	94
Figura 3-8 Balance de materia en la etapa de secado.....	95
Figura 3-9 Balance de materia en la etapa de prensado .....	100
Figura 3-10 Balance de materia en la etapa de filtrado.....	102
Figura 3-11 Resumen General del Balance de materia del proceso tecnológico experimental de obtención de aceite virgen de pulpa de palta.....	104

Figura 3-12 Balance de energía en la etapa de secado.....	107
Figura 3-13 Balance de energía en la etapa de prensado .....	110
Figura 3-14 Gráfica del rendimiento del aceite de pulpa de palta a presión constante a 5000 Psi y 6000 Psi .....	115
Figura 3-15 Gráfica de comparación entre el rendimiento del modelo vs el experimental .....	121