

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE VIRGEN DE SEMILLA DE
COCO (*Cocos nucífera L.*) PRODUCIDO EN LA REGIÓN DEL ALTO
BENI, DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

Por:

JOSELIN CAROLA MONTAÑO APARICIO

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

Diciembre de 2021
TARIJA – BOLIVIA

V°B°

.....
M.Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda

**DECANO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M.Sc. Lic. Deysi Arancibia Márquez

**VICEDECANA DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Adalid Aceituno Cáceres

.....
Ing. Jimena Durán Durán

.....
Ing. Freddy López Zamora

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.

Dedicatoria.

Dedico el presente trabajo a mis padres por creer siempre en mí y apoyarme a lo largo de la realización del mismo.

Agradecimiento.

Agradezco a cada uno de los docentes de la Carrera de Ingeniería Química -Facultad de Ciencias y Tecnología, por haberme brindado sus conocimientos durante los años de estudio.

ÍNDICE	PÁG.
Advertencia.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	xiv

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.....	1
Objetivos.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Justificación.....	3
Justificación Tecnológica para producción a pequeña escala.....	3
Justificación Social.....	3
Justificación Ambiental.....	4
Justificación Académica.....	4

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Generalidades.....	5
1.2. Descripción de la materia prima.....	7
1.2.1. Características del Cocotero.....	7
1.3. Ácidos grasos.....	13
1.4. Descripción general del Aceite Virgen de Coco.....	15
1.4.1. Aceite Virgen de Coco.....	15
1.4.2. Características del Aceite Virgen de Coco.....	16
1.4.3. Usos y aplicaciones del Aceite Virgen de Coco.....	17
1.4.4. Características de identificación del Aceite Virgen de Coco.....	24

1.4.5.	Procesamiento del Aceite Virgen de Coco.....	25
1.4.6.	Significancia socio-económica del procesamiento del Aceite Virgen de Coco.....	29
1.5.	Leyes y reglamentos que norman el uso, distribución y valor del Aceite Virgen de Coco.....	30
1.6.	Mercado.....	31
1.6.1.	Mercado mundial.....	31
1.6.2.	Mercado Nacional.....	37
1.6.3.	Mercado Proyectado.....	39
1.6.3.1.	Mercado global de Aceite Virgen de Coco proyectado por aplicación.....	40
1.6.3.2.	Mercado global del Aceite Virgen de Coco proyectado por geografía.....	40
1.6.4.	Oferta de materia prima en el área de influencia (Departamento de La Paz).....	41

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1.	Descripción y Análisis de la materia prima.....	42
2.1.1.	Ubicación del municipio del que procede la materia prima.....	42
2.1.2.	Superficie y área geográfica de cultivo de cocos.....	44
2.1.3.	Características de la materia prima.....	46
2.2.	Descripción del método de investigación.....	49
2.3.	Selección y definición del Método de Extracción del Aceite Virgen de Coco.....	50
2.3.1.	Método de Extracción del Aceite Virgen de Coco adoptado.....	57
2.4.	Diseño factorial.....	58
2.4.1.	Definición de variables.....	58
2.5.	Procedimientos y Técnicas empleados para la obtención de resultados.....	63
2.5.1.	Diagrama de Proceso Experimental.....	65
2.6.	Procedimiento Experimental.....	69
2.6.1.	Datos y Cálculos.....	83

2.6.1.1.	Determinación de la humedad final de la muestra.....	84
2.6.1.2.	Determinación de la Humedad extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 3%) en función del tiempo.....	86
2.6.1.3.	Determinación de la Humedad extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 10%) en función del tiempo.....	88
2.6.1.4.	Determinación de la Humedad final de la muestra.....	90
2.6.1.5.	Determinación del rendimiento del Aceite Virgen de Coco para cada ensayo realizado.....	91
2.6.2.	Balance de materia y energía.....	98
2.6.2.1.	Balance de materia.....	98
2.6.3.	Balance de energía.....	102
2.6.4.	Análisis estadístico del diseño experimental.....	103
2.7.	Análisis del producto obtenido.....	106
2.8.	Control de Calidad del producto obtenido.....	111

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.	Resultados de la Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco obtenido.....	112
3.2.	Resultados de los balances de materia realizados.....	113
3.3.	Resultados del balance de energía realizado.....	115

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1.	Conclusiones.....	119
4.2.	Recomendaciones.....	121
BIBLIOGRAFÍA.....		122

ÍNDICE DE TABLAS	PÁG.
Tabla I- 1 Composición proximal de la pulpa de Coco.....	11
Tabla I- 2 Cuantificación de los componentes del coco en función a su estado de madurez.....	11
Tabla I- 3 Rango de composición de ácidos grasos del Aceite Virgen de Coco obtenido por Cromatografía Gas - Líquido.....	24
Tabla I- 4 Propiedades del Aceite Virgen de Coco requeridas.....	25
Tabla I- 5 Tabla comparativa de los métodos de obtención del Aceite Virgen de Coco a media y pequeña escala.....	27
Tabla I- 6 Distribución y Suministro de los principales Aceites Vegetales del Mundo (millones de toneladas métricas.....	34
Tabla I- 7 Distribución y suministro de Aceite Virgen de Coco (millones de toneladas métricas)	36
Tabla I- 8 Países importadores de Aceite de Coco a Bolivia (miles de dólares americanos)	37
Tabla II- 1 Cultivo de Coco en Bolivia (has)	44
Tabla II- 2 Cultivo de Coco en el Departamento de La Paz (has)	45
Tabla II- 3 Análisis fisicoquímico de la Pulpa de Coco proveniente del Alto Beni.....	46
Tabla II- 4 Matriz de selección de proceso para la extracción de Aceite Virgen de Coco.....	56
Tabla II- 5 Definición de variables: Diseño factorial 2^3	62
Tabla II- 6 Dominio Experimental.....	63
Tabla II- 7 Diseño experimental.....	63
Tabla II- 8 Ensayos realizados en el Proceso Experimental.....	83
Tabla II- 9 Determinación de la humedad final de la muestra (método gravimétrico)	84
Tabla II- 10 Determinación de la Humedad Extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 3%) en función del tiempo.....	86
Tabla II- 11 Determinación de la Humedad extraída de la muestra (hasta lograr una humedad final residual igual a 10%) en función del tiempo.....	88
Tabla II- 12 Determinación de la Humedad final de la muestra.....	90

Tabla II- 13	Determinación de la masa de Aceite Virgen de Coco obtenido y Masa de bagazo producido después del proceso de prensado.....	91
Tabla II- 14	Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco después del proceso de filtrado.....	92
Tabla II- 15	Análisis fisicoquímico de Pulpa de Coco de 9 meses de edad.....	93
Tabla II- 16	Análisis fisicoquímico de Pulpa de Coco de 12 meses de edad.....	93
Tabla II- 17	Porcentaje de Aceite y Humedad Total de las muestras de Pulpa de Coco para dos estados de madurez.....	94
Tabla II- 18	Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco extraído.....	96
Tabla II- 19	Rendimiento del Aceite Virgen de Coco para cada ensayo realizado en función al Diámetro de Partícula, Humedad y Temperatura de Prensado.....	97
Tabla II- 20	Determinación de la Cantidad de Agua evaporada de la muestra.....	98
Tabla II- 21	Determinación de la Cantidad de Agua evaporada de la muestra.....	99
Tabla II-22	Determinación de la masa de bagazo y masa de Aceite Virgen de Coco+impurezas.....	100
Tabla II- 23	Determinación de las pérdidas en el proceso de filtrado de Aceite Virgen de Coco.....	101
Tabla II- 24	Determinación del flujo de calor transferido al cilindro en la etapa de prensado.....	103
Tabla II- 25	Datos para el análisis de varianza.....	103
Tabla II- 26	Factores inter - sujetos.....	104
Tabla II- 27	Pruebas de los efectos inter - sujetos.....	104
Tabla II- 28	Variables introducidas/eliminadas ^a	105
Tabla II- 29	Coeficientes ^a	105
Tabla II- 30	Análisis Cromatográfico: Perfil de Ácidos Grasos y Análisis Químico: Índice de Yodo del Aceite de Coco obtenido.....	108
Tabla II- 31	Análisis de la Composición Fisicoquímica de Aceite Virgen de Coco a partir de pulpa de coco a 3% de humedad.....	109
Tabla II- 32	Análisis de la Composición Fisicoquímica de Aceite Virgen de Coco a partir de pulpa de coco al 10% de humedad.....	109

Tabla II- 33	Cuadro comparativo de las normas reglamentarias para Aceite Virgen de Coco.....	111
Tabla III- 1	Determinación del Rendimiento del Aceite Virgen de Coco obtenido.....	112
Tabla III- 2	Determinación de la masa de agua evaporada de la muestra de pulpa de coco durante el proceso de secado previo al tamizado.....	113
Tabla III- 3	Determinación de la masa de Agua evaporada de la muestra de pulpa de coco durante el proceso de secado posterior al tamizado y previo al prensado.....	113
Tabla III- 4	Determinación de la masa de pérdidas durante el proceso de prensado.....	114
Tabla III- 5	Determinación de la masa de pérdidas durante el proceso de filtrado.....	114
Tabla III- 6	Flujo de calor transferido por la pistola de aire caliente en el proceso de prensado.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS	PÁG.
Figura 1- 1 Partes del Coco.....	10
Figura 1- 2 Estructura microscópica de una partícula de pulpa de coco seca.....	12
Figura 1- 3 Micrografía electrónica de barrido de coco seco congelado	13
Figura 1- 4 Ácido graso saturado.....	14
Figura 1- 5 Ácido graso insaturado.....	15
Figura 1- 6 Gráfico comparativo del perfil de ácidos grasos de aceites y grasas comunes.....	17
Figura 1- 7 Cuadro comparativo de la pérdida de proteína en el cabello con y sin la aplicación de aceite virgen de coco, aceite mineral y aceite de girasol.....	23
Figura 1- 8 Métodos de procesamiento del Aceite Virgen de Coco.....	26
Figura 1- 9 Producción de Coco mundial desde el año 2000 al 2019 (millones de toneladas métricas)	31
Figura 1- 10 Producción de Coco a nivel mundial en 2019, por países productores (millones de toneladas métricas)	32
Figura 1- 11 Producción mundial de Aceite de Coco por país (1000 toneladas métricas)	33
Figura 1- 12 Mapa de la producción mundial de Aceite de Coco por país (1000 toneladas métricas)	33
Figura 1- 13 Mercado global del Aceite Virgen de Coco proyectado en base a la tasa de crecimiento anual compuesto (2020 – 2027)	39
Figura 1- 14 Mercado global del Aceite Virgen de Coco proyectado por aplicación (2020 – 2027)	40
Figura 1- 15 Mercado Global de Aceite Virgen de Coco proyectado por geografía (2020 – 2027)	41
Figura 2- 1 Ubicación geográfica del municipio de Alto Beni.....	42
Figura 2- 2 Mapa Orográfico del Municipio de Alto Beni.....	43
Figura 2- 3 Composición de la Pulpa de Coco.....	47
Figura 2- 4 Cocoteros en el lugar de origen.....	47
Figura 2- 5 Cosecha de cocos.....	48

Figura 2- 6	Cocos cosechados.....	48
Figura 2- 7	Coco pelado.....	49
Figura 2- 8	Pulpa de Coco.....	49
Figura 2- 9	Descripción del método de extracción de Aceite Virgen de Coco a alta presión.....	51
Figura 2- 10	Descripción del método de extracción de Aceite Virgen de Coco a baja presión.....	53
Figura 2- 11	Prensa hidráulica.....	55
Figura 2- 12	Eficiencia de recuperación de aceite en función a la Temperatura.....	61
Figura 2- 13	Proceso de Obtención de Aceite Virgen de Coco en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU - UAJMS)	64
Figura 2- 14	Proceso de Extracción de Aceite Virgen de Coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad = 3% : Temperatura de prensado = 30°C)	65
Figura 2- 15	Proceso de Extracción de Aceite Virgen de Coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad = 3 % ; Temperatura de prensado = 40°C)	66
Figura 2- 16	Proceso de Extracción de Aceite de Coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad = 10% ; Temperatura de prensado = 30°C)	67
Figura 2- 17	Proceso de Extracción de Aceite Virgen de coco (Diámetro de partícula = 2 y 5 mm ; Humedad =10% ; Temperatura de prensado = 40°C.....	68
Figura 2- 18	Tiempo vs Humedad extraída.....	87
Figura 2- 19	Tiempo vs Humedad extraída.....	89
Figura 2- 20	Contenido de Aceite en función al Contenido de Humedad de muestras de pulpa de coco a dos estados de madurez.....	94
Figura 3- 1	Rendimiento del Aceite Virgen de Coco en función a la Humedad de muestra y Diámetro de Partícula a 30°C de Temperatura de Prensado.....	116
Figura 3- 2	Rendimiento del Aceite Virgen de Coco en función a la Humedad de muestra y Diámetro de Partícula a 40°C de Temperatura de Prensado.....	117
Figura 3- 3	Rendimiento del Aceite Virgen de Coco en función al Diámetro de Partícula, Humedad de la muestra y Temperatura de Prensado.....	118

ÍNDICE DE ANEXOS	PÁG.
Anexo 1: Materiales y equipos utilizados en el procedimiento de extracción experimental de Aceite Virgen de Coco en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.....	125
Anexo 2: Taxonomía del Coco – Certificado por el Herbario Universitario (T.B.) de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales.....	133
Anexo 3: Análisis de pulpa de Coco de 9 meses de edad (CEANID)	134
Anexo 4: Análisis de pulpa de Coco de 12 meses de edad (CEANID)	135
Anexo 5: Análisis Aceite Virgen de Coco extraído a partir de pulpa al 3% de humedad.....	136

NOMENCLATURA, ABREVIATURA Y SIMBOLOGÍA

H	Humedad (%)
T _{pr}	Temperatura de prensado (°C)
D _p	Diámetro de partícula (mm)
\dot{Q}	Flujo de calor (Watts)
m/m	masa/masa
meq	miliequivalente
has	hectáreas
n.d.	no detectado
MCFA	Ácidos grasos de cadena media
LDL	Lipoproteínas de baja densidad
PNS/BAFPS	Estándar Nacional de Filipinas/Oficina de Normas para Productos Agrícolas y Pesqueros
APCC	Comunidad del Coco para Asia y el Pacífico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimenticia