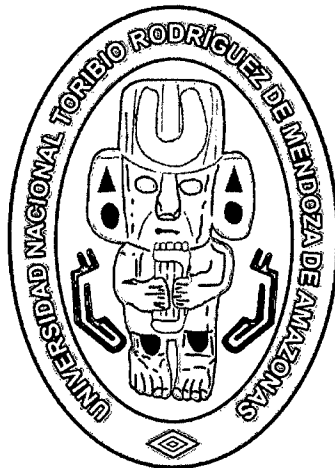


**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

**“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EXTRACCIÓN DE ACEITE DE
PLUKENETIA HUAYLLABAMBANA BUSSMANN, C. TÉLLEZ & A. GLENN
(SACHA INCHI) DE LA PROVINCIA DE RODRÍGUEZ DE MENDOZA - REGIÓN
AMAZONAS”**

Tesis para obtener el título profesional de:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

Presentada por:
Br. ROBERT JACKSON PÉREZ TORRES
Br. JEIMIS ROYLER YALTA MEZA

Asesor:
Ms.C. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Co-asesor:
Blog. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Amazonas – Perú
2010

DEDICATORIA

A mis padres HILMA MEZA y ANTONIO YALTA por su afecto, sacrificio, apoyo y la confianza depositada en mi persona.

A Asunta y Harmys por su apoyo, cariño y aliento.

A Javier y Marly, por su amor y ser mi estímulo constante.

Royler

A mis padres OLGA TORRESALVIS y RODOLFO PÉREZ VARGAS por su apoyo, confianza, amor y cariño que me brindan día a día

A mis hermanos por la alegría que me brindan.

A Toda mi familia por ese apoyo emocional que me han brindado

Robert Jackson

AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminarnos y guiarnos por el buen camino, la salud y la sabiduría brindada para el desarrollo de la presente tesis.

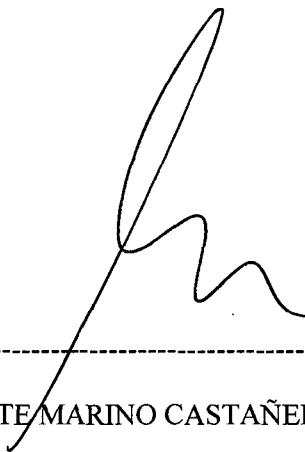
A nuestros padres por su apoyo incondicional y la confianza depositada en nosotros, por el cual se pudo realizar el presente.

Al Ing. Miguel Ángel Barrena Gurbillón y al Blgo. Oscar Andrés Gamarra Torres por su permanente apoyo y colaboración durante la realización y culminación del presente trabajo.

Al Ing. Fernando Santillán Meza por su colaboración, interés y confianza depositada en nosotros.

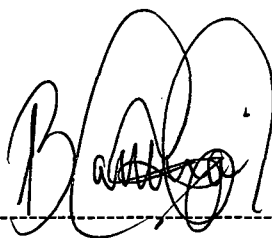
Y a todos aquellos que hicieron posible de una u otra manera la culminación del presente.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS



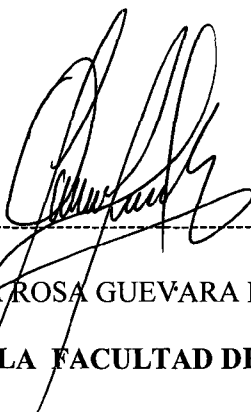
Ph.D. Dr.Hab. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ

RECTOR



Ms.C. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

VICERRECTOR ACADÉMICO



Blga. ZOILA ROSA GUEVARA MUÑOZ

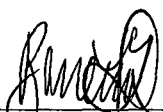
DECANO (E) DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la UNTRM que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada **“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EXTRACCIÓN DE ACEITE DE *Plukenetia huayllabambana* BUSSMANN, C. TÉLLEZ & A. GLENN (SACHA INCHI) DE LA PROVINCIA DE RODRÍGUEZ DE MENDOZA - REGIÓN AMAZONAS”** presentada por los tesisistas **Br. ROBERT JACKSON PÉREZ TORRES** y **Br. JEIMIS ROYLER YALTA MEZA**, egresados de la Facultad de Ingeniería de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM, dando el visto bueno comprometiéndose a orientarlos en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

Se expide la presente, a solicitud de los interesados, para los fines que estimen convenientes.

Chachapoyas, 17 de diciembre del 2010



Ms.C. Miguel Angel Barrena Gurbillón
Profesor Principal de la UNTRM - Amazonas

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR

El docente de la UNTRM que suscribe, hace constar que ha asesorado el proyecto y la realización de la tesis titulada **“CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y EXTRACCIÓN DE ACEITE DE *Plukenetia huayllabambana* BUSSMANN, C. TÉLLEZ & A. GLENN (SACHA INCHI) DE LA PROVINCIA DE RODRÍGUEZ DE MENDOZA - REGIÓN AMAZONAS”** presentada por los tesistas **Br. ROBERT JACKSON PÉREZ TORRES** y **Br. JEIMIS ROYLER YALTA MEZA**, egresados de la Facultad de Ingeniería de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial de la UNTRM, dando el visto bueno comprometiéndose a orientarlos en el levantamiento de observaciones y en la sustentación de la tesis.

Se expide la presente, a solicitud de los interesados, para los fines que estimen convenientes.

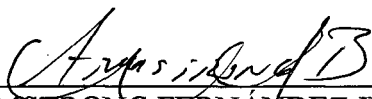
Chachapoyas, 17 de diciembre del 2010



Blog. Oscar Andrés Gamarra Torres

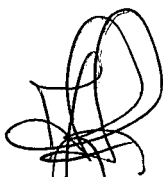
Profesor Auxiliar T.C. de la UNTRM - Amazonas

MIEMBROS DEL JURADO EVALUADOR



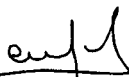
Ing. ARMSTRONG-FERNÁNDEZ JERI

PRESIDENTE



Ing. ERICK A. AUQUÍNIVÍN SILVA

SECRETARIO



Ing. OSCAR M. JARA ALARCÓN

VOCAL

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR	iv
JURADO EVALUADOR	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN -----	01
1.1. <i>Plukenetia huayllabambana</i> -----	02
1.1.1. Taxonomía de <i>Plukenetia huayllabambana</i> -----	02
1.1.2. Descripción botánica de <i>Plukenetia huayllabambana</i> -----	03
1.1.3. Distribución de <i>Plukenetia huayllabambana</i> -----	04
1.1.4. Productos derivados de <i>Plukenetia huayllabambana</i> -----	04
1.2. <i>Plukenetia volubilis</i> -----	04
1.2.1. Taxonomía de <i>Plukenetia volubilis</i> -----	04
1.2.2. Fenología y periodo vegetativo de <i>Plukenetia volubilis</i> -----	05
1.2.3. Nemátodos y enfermedades que afectan a <i>Plukenetia volubilis</i> -----	06
1.2.4. Componentes de <i>Plukenetia volubilis</i> -----	06

1.2.5. Productos derivados de <i>Plukenetia volubilis</i> -----	07
1.3. Contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales del sachá inchi y otras semillas de oleaginosas -----	07
1.4. Exportaciones de sachá inchi -----	10
1.5. Ácidos grasos -----	11
1.5.1. Propiedades físicas y químicas de los ácidos grasos -----	11
1.5.2. Los aceites omega (ω) -----	12
1.6. Proceso de extracción de aceite comestibles -----	13
1.6.1. Métodos de extracción de aceites comestibles -----	14
1.6.1.1. Extracción por prensado en frío -----	14
1.6.1.2. Extracción por disolvente -----	14
1.6.1.3. Extracción por fusión -----	15
1.6.2. Normas recomendadas para los aceites vegetales comestibles -----	15
1.6.3. Características que se evalúan en aceites comestibles -----	16
1.6.3.1. Índice de yodo -----	16
1.6.3.2. Índice de peróxidos -----	16
1.6.3.3. Acidez -----	16
1.6.3.4. Impurezas -----	17
1.6.3.5. Humedad -----	17
1.6.3.6. Densidad -----	17
1.6.3.7. Viscosidad -----	17
1.6.3.8. Punto de inflamabilidad -----	18
II. MATERIAL Y MÉTODOS -----	19
2.1. Materia prima -----	19
2.2. Métodos -----	19

2.2.1. Caracterización biométrica y física de sachá inchi -----	19
2.2.2. Características del aceite de semillas frescas de <i>Plukenetia sp.</i> -----	19
2.2.3. Determinación de ácidos grasos de aceite de <i>Plukenetia huayllabambana</i> por cromatografía -----	19
2.2.4. Flujograma de extracción de aceite -----	20
2.2.5. Metodología de extracción de aceite por prensado en frío -----	22
2.2.6. Acondicionamiento de sachá inchi -----	24
2.2.7. Extracción de aceite por prensado en frío -----	24
2.2.8. Extracción de aceite de torta de sachá inchi -----	24
2.2.9. Determinación del índice de peróxidos -----	26
2.2.10. Determinación del índice de yodo -----	27
2.2.11. Determinación de acidez -----	29
2.2.12. Determinación del porcentaje de impurezas -----	29
2.2.13. Determinación del porcentaje de humedad -----	30
2.2.14. Determinación de la densidad del aceite -----	30
2.2.15. Determinación de viscosidad del aceite -----	32
2.2.16. Determinación del punto de inflamabilidad del aceite -----	32
2.2.17. Determinación del porcentaje de cenizas del aceite -----	32
 III. RESULTADOS -----	 33
3.1. Características biométricas y físicas de <i>Plukenetia huayllabambana</i> y <i>Plukenetia volubilis</i> -----	33
3.2. Características del aceite de semilla fresca de <i>Plukenetia huayllabambana</i> -----	33
3.3. Características del aceite de la semilla fresca de <i>Plukenetia volubilis</i> -----	34
3.4. Ácidos grasos de aceite de <i>Plukenetia huayllabambana</i> determinados por cromatografía -----	34

3.5. Resultados promedios de variables respuestas entré <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> -----	35
3.6. Porcentaje de extracción de aceite de semilla -----	36
3.7. Extracción de aceite de torta de sacha inchi con el método Soxhlet -----	37
3.8. Índice de peróxidos -----	39
3.9. Índice de yodo -----	40
3.10. Índice de acidez -----	42
3.11. Porcentaje de impurezas -----	43
3.12. Porcentaje de humedad -----	45
3.13. Densidad del aceite -----	46
3.14. Viscosidad del aceite -----	47
3.15. Punto de inflamabilidad del aceite-----	49
3.16. Porcentaje de cenizas del aceite -----	50
IV. DISCUSIÓN -----	52
V. CONCLUSIONES -----	56
VI. RECOMENDACIONES -----	57
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	58
ANEXOS -----	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nemátodos y hongos que afectan al cultivo de sachá inchi-----	06
Tabla 2. Contenido de proteínas y ácidos grasos en sachá inchi y otras oleaginosas--	08
Tabla 3. Contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en sachá inchi y semillas de otras oleaginosas-----	08
Tabla 4. Perfil de aminoácidos de la proteína del sachá inchi comparada con otras oleaginosas-----	09
Tabla 5. Exportaciones del producto de sachá inchi según sus principales mercados en el 2008-----	10
Tabla 6. Contenidos de aceites en porcentaje de semillas oleaginosas y mesocarpios	14
Tabla 7. Normas que recomienda el codex para los aceite vegetales comestibles ----	15
Tabla 8. Aleatorización del diseño -----	24
Tabla 9. Cantidad de muestra propuesta según el índice de peróxido previsto-----	26
Tabla 10. Cantidad de muestra propuesta según el índice de yodo previsto-----	27
Tabla 11. Densidad absoluta del agua en función de la temperatura, usando como unidad la masa en gramos de 1 mL de agua a 4 °C -----	31
Tabla 12. Datos biométrico y físicos de <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i> -----	33
Tabla 13. Características del aceite de la semilla fresca de <i>P. huayllabambana</i> --	33
Tabla 14. Características del aceite de la semilla fresca de <i>P. volubilis</i> -----	34
Tabla 15. Resumen de la composición de ácidos grasos aceite de <i>Plukenetia huayllabambana</i> -----	34
Tabla 16. Composición de ácidos grasos aceite de <i>Plukenetia huayllabambana</i> --	35
Tabla 17. Resumen de resultados obtenidos entre <i>P. huayllabambana</i> y <i>P. volubilis</i>	35
Tabla 18. Límites y óptimos para la extracción de aceite -----	36

Tabla 19.Limites y óptimos para extracción de aceite de la torta -----	38
Tabla 20.Limites y óptimos para índice de peróxido -----	39
Tabla 21.Limites y óptimos para la índice de yodo -----	41
Tabla 22.Limites y óptimos para la índice de acidez -----	42
Tabla 23.Limites y óptimos para el porcentaje de impurezas -----	44
Tabla 24.Limites y óptimos para el porcentaje de humedad -----	45
Tabla 25.Limites y óptimos para la densidad del aceite -----	46
Tabla 26.Limites y óptimos para la viscosidad -----	48
Tabla 27.Limites y óptimos para el punto de inflamabilidad -----	49
Tabla 28.Limites y óptimos para el porcentaje de impurezas -----	51
Tabla 29. Porcentaje de aceite extraído según tratamientos -----	61
Tabla 30. Porcentaje de aceite en la torta del aceite según tratamientos -----	61
Tabla 31. Índice peróxidos en meq. oxígeno activo / 1000 g grasa del aceite según tratamientos -----	62
Tabla 32. Índice yodo en g de I / 100 g grasa del aceite según tratamientos -----	62
Tabla 33. Índice acidez en g KOH / g grasa del aceite según tratamientos -----	63
Tabla 34. Porcentaje de impurezas según tratamientos -----	63
Tabla 35. Porcentaje de humedad del aceite según tratamientos -----	64
Tabla 36. Densidad en g / ml del aceite según tratamientos -----	64
Tabla 37. Viscosidad a 19 °C en cP del aceite según tratamientos -----	65
Tabla 38. Punto del inflamabilidad en °C del aceite según tratamientos -----	65
Tabla 39. Porcentaje de cenizas del aceite según tratamientos -----	66
Tabla 40. Datos biométricos y físicos de las semillas de sachá inchi -----	67
Tabla 41. Análisis de la varianza para porcentaje de aceite extraído de sachá inchi-	68
Tabla 42. Prueba t para porcentaje de aceite extraído según especie -----	68

Tabla 43. Análisis de la varianza para porcentaje de aceite en la torta de sachá inchi	69
Tabla 44. Análisis de la varianza para índice de peróxido de sachá inchi -----	69
Tabla 45. Prueba t para índice de peróxido según especie -----	70
Tabla 46. Análisis de la varianza para índice de yodo de sachá inchi -----	70
Tabla 47. Prueba t para índice de yodo según especie -----	71
Tabla 48. Análisis de la varianza para índice de acidez de sachá inchi -----	71
Tabla 49. Prueba t para índice acidez según especie -----	72
Tabla 50. Análisis de la varianza para porcentaje de impurezas -----	72
Tabla 51. Prueba t para porcentaje de impurezas según especies -----	73
Tabla 52. Análisis de la varianza para porcentaje de humedad del aceite de sachá inchi -----	73
Tabla 53. Análisis de la varianza para densidad del aceite -----	74
Tabla 54. Análisis de la varianza para viscosidad del aceite de sachá inchi -----	74
Tabla 55. Prueba t para viscosidad a 19 °C según especie -----	75
Tabla 56. Análisis de la varianza para punto de inflamabilidad de sachá inchi -----	75
Tabla 57. Análisis de la varianza para porcentaje de cenizas del aceite de sachá inchi -----	76
Tabla 58. Prueba t para porcentaje de cenizas según especie -----	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma de extracción de aceite de sachá inchi -----	20
Figura 2. Metodología de extracción de aceite, con los diferentes factores -----	22
Figura 3. Superficie de respuesta estimada de extracción de aceite -----	37
Figura 4. Superficie de respuesta estimada de extracción de aceite de la torta -----	38
Figura 5. Superficie de respuesta estimada de índice de peróxido -----	40
Figura 6. Superficie de respuesta estimada de índice de yodo -----	41
Figura 7. Superficie de respuesta estimada de índice de acidez (mg de KOH / g de aceite) -----	43
Figura 8. Superficie de respuesta estimada de porcentaje de impurezas -----	44
Figura 9. Superficie de respuesta estimada de porcentaje de humedad -----	45
Figura 10. Superficie de respuesta estimada de densidad -----	47
Figura 11. Superficie de respuesta estimada de viscosidad del aceite -----	48
Figura 12. Superficie de respuesta estimada de punto de inflamabilidad -----	50
Figura 13. Superficie de respuesta estimada de porcentaje de cenizas -----	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla 29. Porcentaje de aceite extraído según tratamientos -----	61
Tabla 30. Porcentaje de aceite en la torta del aceite según tratamientos -----	61
Tabla 31. Índice peróxidos en meq. oxígeno activo / 1000 g grasa del aceite según tratamientos -----	62
Tabla 32. Índice yodo en g de I / 100 g grasa del aceite según tratamientos -----	62
Tabla 33. Índice acidez en g KOH / g grasa del aceite según tratamientos -----	63
Tabla 34. Porcentaje de impurezas según tratamientos -----	63
Tabla 35. Porcentaje de humedad del aceite según tratamientos -----	64
Tabla 36. Densidad en g / ml del aceite según tratamientos -----	64
Tabla 37. Viscosidad a 19 °C en cP del aceite según tratamientos -----	65
Tabla 38. Punto del inflamabilidad en °C del aceite según tratamientos -----	65
Tabla 39. Porcentaje de cenizas del aceite según tratamientos -----	66
Tabla 40. Datos biométricos y físicos de las semillas de sachá inchi -----	67
Tabla 41. Análisis de la varianza para porcentaje de aceite extraído de sachá inchi	68
Tabla 42. Prueba t para porcentaje de aceite extraído según especie -----	68
Tabla 43. Análisis de la varianza para porcentaje de aceite en la torta de sachá inchi	69
Tabla 44. Análisis de la varianza para índice de peróxido de sachá inchi -----	69
Tabla 45. Prueba t para índice de peróxido según especie -----	70
Tabla 46. Análisis de la varianza para índice de yodo de sachá inchi -----	70
Tabla 47. Prueba t para índice de yodo según especie -----	71
Tabla 48. Análisis de la varianza para índice de acidez de sachá inchi -----	71
Tabla 49. Prueba t para índice acidez según especie -----	72
Tabla 50. Análisis de la varianza para porcentaje de impurezas -----	72

Tabla 51. Prueba t para porcentaje de impurezas según especies -----	73
Tabla 52. Análisis de la varianza para porcentaje de humedad del aceite de sach	
inchi -----	73
Tabla 53. Análisis de la varianza para densidad del aceite -----	74
Tabla 54. Análisis de la varianza para viscosidad del aceite de sach inchi -----	74
Tabla 55. Prueba t para viscosidad a 19 °C según especie -----	75
Tabla 56. Análisis de la varianza para punto de inflamabilidad de sach inchi -----	75
Tabla 57. Análisis de la varianza para porcentaje de cenizas del aceite de sach	
inchi -----	76
Tabla 58. Prueba t para porcentaje de cenizas según especie -----	76
ANEXO-Método GC-FID. Metodología de análisis de ácidos grasos por	
cromatografía -----	77
Fotografía 1. de derecha a izquierda, <i>Plukenetia huayllabambana</i> y <i>Plukenetia</i>	
<i>volubilis</i> . -----	79
Fotografía 2. Secado de semilla de <i>Plukenetia huayllabambana</i> en estufa -----	79
Fotografía 3. semilla de <i>Plukenetia huayllabambana</i> en cilindro de acero	
inoxidable. -----	80
Fotografía 4. Aceite colectado en bandeja de acero inoxidable, al centro cilindro de	
acero inoxidable con ranuras -----	80
Fotografía 5. Envases clora mbar con muestras de aceite, rotuladas y tapadas. -----	81
Fotografía 6. Pesado de picnómetro en balanza analítica para determinar densidad.-	81
Fotografía 7. Análisis de índice de peróxido.-----	82
Fotografía 8. Análisis del índice de peróxido. -----	82
Fotografía 9. Análisis del índice de yodo.-----	83
Fotografía 10. Muestras en análisis del índice de yodo -----	83

Fotografía 11. Titulación de etanol para determinar la acidez del aceite -----	84
Fotografía 12. Muestras para el índice de acidez.-----	84
Fotografía 13. Análisis del porcentaje de impurezas -----	85
Fotografía 14. Crisoles con aceite para determinar punto de humo e inflamabilidad	85
Fotografía 15. Horno mufla determinado en el punto de inflamabilidad -----	86
Fotografía 16. Horno mufla determinado en el porcentaje de cenizas -----	86

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la finalidad de evaluar los parámetros de extracción y caracterizar fisicoquímicamente el aceite de *Plukenetia huayllabambana* Bussmann, C. Téllez & A. Glenn, proveniente de la provincia de Rodríguez de Mendoza.

El diseño experimental utilizado fue de optimización 2^k con 2 bloques y dos repeticiones, con dieciséis unidades experimentales, y un análisis de varianza con un nivel de significancia de 5%, con comparaciones de medias utilizando el método t de student. La evaluación de parámetros de extracción, consistió en realizar una comparación de *Plukenetia huayllabambana* con *Plukenetia volubilis*, este último proveniente de la Región San Martín; evaluando rendimiento de extracción influenciado por parámetros de temperatura de acondicionamiento de semilla (secado en estufa a 30°C y 50°C por 48 horas) y presiones de extracción en prensado en frío (1600 psia y 2000 psia). Para la caracterización del aceite *Plukenetia huayllabambana* se realizó la determinación de ácidos grasos realizado en los laboratorios del Instituto Tecnológico Pesquero del Perú (ITP), y además se determinó el índice de peróxidos, índice de yodo, índice de acidez, impurezas, humedad, densidad, viscosidad, punto de inflamabilidad y cenizas. El procedimiento para la extracción del aceite fue: recepción de las semillas de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*, selección y limpieza, acondicionamiento, prensado, sedimentación, filtrado y finalmente envasado al ras, para posteriormente proceder a evaluar y caracterizar los aceites obtenidos. Los resultados promedios del análisis realizado a los aceites de las dos especies fueron: en *Plukenetia huayllabambana*, 27,52% de aceite en semilla, 24,95% de aceite en torta, haciendo un total de 52,47% de aceite extraído, índice de peróxido de 0,96 meq de oxígeno activo/1000 g de aceite, índice yodo de 215,72 g de I/ 100 g de grasa, índice de acidez 0,11 mg de KOH / g de grasa, 2,46% de impurezas, 2,12% de humedad en base húmeda, densidad del aceite 0,9236 g/ml, viscosidad del aceite 30123,13 cP, punto de inflamabilidad de aceite 446,75 °C y 1,82% de cenizas del aceite, y los resultados de la determinación de ácidos grasos fueron: Palmítico 5,16%, Esteárico 2,28%, Oleico 9,36%, Linoleico 29,53%, α -Linolénico 52,68%, Eicosaenoico 0,24%, demostrando ser más insaturado que *Plukenetia volubilis*, los resultados obtenidos para este último fueron: 26,93% de aceite en semilla, 24,19% de aceite en torta, haciendo un total de 51,12% aceite extraído.

Palabras claves: *Plukenetia huayllabambana*, *Plukenetia volubilis*, caracterización fisicoquímica, ácidos grasos, presión de extracción, temperatura de secado.

ABSTRACT

This research work was carried out in order to evaluate the extraction parameters and characterize oil *Plukenetia huayllabambana* Bussmann, C. Tellez & A. Glenn, from the province of Rodríguez de Mendoza.

The experimental design was optimized 2k with 2 blocks and two repetitions, with sixteen experimental units, and an analysis of variance with a significance level of 5%, with comparisons of means using the Student t method. Evaluation of extraction parameters, was to conduct a comparison between *Plukenetia huayllabambana* and *Plukenetia volubilis*, the latter coming from the San Martín region, evaluating the extraction yield influenced by parameters of conditioning temperature seed (dried in an oven at 30 ° C and 50 ° C 48 hours) and pressures of cold-pressed extraction (1600 psia and 2000 psia). For *Plukenetia huayllabambana* oil characterization, it was performed the determination of fatty acids made in the laboratories of the Instituto Tecnológico Pesquero del Perú (ITP), and also the peroxide value, iodine value, acid value, dirt, moisture, density, viscosity and flash point and ash was determined. The procedure for the extraction of oil was: receiving seeds of *Plukenetia huayllabambana* and *Plukenetia volubilis*, sorting and cleaning, packing, pressing, sedimenting, filtrating and finally flush packaging, and later proceeding to evaluate and characterize the oils obtained. The average results of the analysis to the oils of the two species were: *Plukenetia huayllabambana*, 27.52% in seed oil, 24.95% oil cake, making a total of 52.47% of oil extracted, index 0.96 meq peroxide oxygen activo/1000 g of oil, iodine index R 215.72 g / 100 g of fat, acid number 0.11 mg KOH / g fat, 2.46% of impurities, 2.12% moisture, wet basis, oil density of 0.9236 g / ml, 30123.13 cP viscosity oil, oil flash point 446.75 ° C and 1.82% ash, oil and the results of the determination of fatty acids were: palmitic 5.16%, stearic 2.28%, 9.36% oleic, linoleic 29.53% -Linolenic, Eicosaenoico 0.24%, proving α 52.68% *Plukenetia volubilis* more unsaturated, the results for the latter were: 26.93% in seed oil, 24.19% oil cake, making a total of 51.12% extracted oil.

Key words: *Plukenetia huayllabambana*, *Plukenetia volubilis*, physicochemical characterization, fatty acids, extraction pressure, drying temperature.

I. INTRODUCCIÓN

La gran biodiversidad que posee el Perú se sustenta en la diversidad de climas y pisos ecológicos; pero la tala indiscriminada para expansión de la frontera agrícola, sobrepastoreo, entre otros factores está generando la pérdida de dicha biodiversidad.

Según el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), nuestro país posee la ventaja de tener una alta diversidad de climas, pisos ecológicos, zonas de producción y ecosistemas productivos. Se conoce que de las 117 Zonas reconocidas en el mundo, 84 se encuentran en el Perú, donde vegetan cerca de 4400 especies de plantas nativas de usos conocidos, destacando entre ellas, aquellas que poseen propiedades alimenticias, medicinales, ornamentales, colorantes, aromáticas, cosméticas, entre otras (García y Mostacero, 2009) sin embargo estos recursos son mal aprovechados por desconocimiento de sus propiedades y por la escasa investigación sobre estos.

El Perú destaca por la diversidad de recursos fitogenéticos con propiedades nutraceuticas, dentro de los cuales se tiene al cultivo de sacha inchi, por lo que es necesario realizar las investigaciones en manejo agronómico, mejoramiento genético, manejo integrado de plagas y enfermedades y procesamiento agroindustrial, a fin de seleccionar los recursos genéticos con buenos rendimientos y altos contenidos de aceites, de manera que se pueda desarrollar una actividad agroindustrial relacionada con los aceites de alto contenido de ácidos grasos esenciales, tales como el linoleico, oleico y linolénico; para competir en la industria de aceites en el mercado nacional e internacional.

Según García y Mostacero (2009), es necesario elaborar una estrategia concreta de integración de la cadena de valor relacionada con la producción e industrialización de las plantas, empezando por la producción agrícola de estas plantas para pasar a la industrialización primaria y luego secundaria elaborando diversidad de productos para llegar a la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria, generando con ello que la producción de plantas resulte rentable.

La *Plukenetia sp.* es una planta semileñosa, perenne y trepadora; tiene hojas alternas de forma acorazonada; trinervadas, inflorescencia en racimo con las flores femeninas en la base en un número de 2-3 y las masculinas de color blanco en la parte superior en un número de 25-40. Fruto capsular, dehiscencia septicida, usualmente formados por 5-7 lóbulos. Semillas de color beige con nervios sobresalientes, 25 mm de diámetro, abultadas en el centro y aplastadas hacia los bordes (Millones, 2007).

El sacha inchi está distribuido en el trópico latinoamericano, desde el sur de México, Indias occidentales, la Amazonía y el Acre en Bolivia. En nuestro país, se ha recolectado en Madre de Dios, Huánuco, Oxapampa, San Martín, Amazonas (Rodríguez de Mendoza), Ucayali (Pucallpa, Contamana y Requena), Iquitos (Putumayo, Caballococha y áreas del estrecho). Crece de los 100 hasta los 1500 m.s.n.m. y comúnmente se le encuentra en bordes de bosques secundarios (purmas), en cañaverales, sobre cercos vivos, alambradas y como maleza en platanales y cultivos permanentes. En San Martín se la encuentra en toda la cuenca del Huallaga hasta Yurimaguas, en el Alto y Bajo Mayo, en el valle de Sisa y áreas de la cuenca de Lamas, Shanusi y Pongo de Cainarachi (Valles, 1990).

1.1. *Plukenetia huayllabambana*

1.1.1. Taxonomía de *Plukenetia huayllabambana*

Identificación taxonómica de sacha inchi (Bussmann *et al*, 2009):

Nombre Científico:	<i>Plukenetia huayllabambana</i> Bussmann, C. Téllez & A. Glenn
División	: Magnoliophyta Cronquist, Takht. & W. Zimm. ex Reveal
Clase	: Magnoliopsida Brongn.
Subclase	: Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden	: Rosanae Takht.
Orden	: Malpighiales Juss. ex Bercht. & J. Presl
Familia	: Euphorbiaceae Juss.
Género	: <i>Plukenetia</i> L.
Especie	: <i>huayllabambana</i> Bussmann, C. Téllez & A. Glenn

1.1.2. Descripción botánica de *Plukenetia huayllabambana*

Liana monoica o trepadora voluble, ramas delgadas, puberulosas. Hojas alternas, simples, estípulas pequeñas, persistentes; pecíolo de 2 – 9 cm de largo, puberulosas; láminas grandes, 4 – 10 x 7 – 14 cm, elípticas a ovado – elípticas, delgadas acuminadas con ápice de 1 – 2 cm de largo y 0,3 – 0,7 cm de ancho, cuneado a ligeramente cordado, serrulado, glabrescente con unos pocos pelos sin ramificar, escasamente puberulosas por debajo de las venas principales. Con 3 venas primarias, 3 – 4 venas secundarias a cada lado de la vena central primaria y 4 – 5 en la parte baja de las venas primarias; 2 glándulas basilaminares, estrechamente transversas 2 – 5 mm de largo, 0,3 – 1,0 mm de ancho, marginales, adaxial, glándulas en las láminas ausentes; par de pequeñas estípulas en el ápice del pecíolo entre las glándulas basilaminares, cónicas, 0,2 – 1,2 mm de largo, redondeadas hacia el ápice, sin protuberancia glandular.

Inflorescencias delgadas, racimosas, (3) 4 – 12 cm de largo, bisexuales, axilar, eje puberuloso, flores pistiladas 1 – 4 mayormente en la base del nudo; flores estaminadas numerosas, eje de la cima de 1 – 3 mm de largo, brácteas triangulares, 0,2 – 1,0 mm de largo. Pedicelo estaminado de 0,1 – 0,7 mm de largo, puberuloso; yema elíptica, 1 – 2 mm de largo; sépalos 5 (raramente 4), ovado, 2,5 – 3,5 mm de largo, 2,0 – 2,5 mm de ancho, corola y disco ausente; estambres 10 – 14, 0,2 – 0,4 mm de diámetro; filamentos aplanados, anchos, 0,1 – 0,3 mm de largo. Pedicelo pistilado de 1 – 3 mm de largo, puberuloso, 4 sépalos, ovario 4 locular, 2 – 5 mm de ancho, 2 – 3 mm de longitud, puberuloso, 4-alado; estilos puberulosos en columna cilíndrica, 8 – 12 mm de longitud, 1 – 2 mm de ancho; estilo con 4 brazos libres de 4 – 5 mm de longitud, formando una cruz cuando maduran. Pedicelo de la infrutescencia de 1-3 cm de largo, cápsula 4-lobada, 3-4 x 4-6 cm; glabrosa, en cada lóbulo con un pequeño cuerno alado.

Semillas muy largas, lenticular, comprimida lateralmente, 3-4 cm de largo, 3-4 cm de ancho, 1,5 – 2,5 cm de espesor, con aristas largas y corrugadas. (Busmann *et al*, 2009)

1.1.3. Distribución de *Plukenetia huayllabambana*

Conocida sólo en la Región Amazonas - Perú, provincias de Rodríguez de Mendoza, Bongará y Chachapoyas, en la vertiente oriental de los Andes del norte peruano, quebradas profundas, en el bosque nublado en altitudes entre 1300 y los 2200 m.s.n.m. La especie fue encontrada en los distritos de Chirimoto, San Nicolás, Longar, Cochamal, Milpuc, Huambo, Mariscal Benavides, Yambrasbamba y Leymebamba (Los Chilchos). El norte de Perú parece ser un centro de diversidad de *Plukenetia*, se necesita realizar más colecciones (Bussmann *et al*, 2009)

1.1.4. Productos derivados de *Plukenetia huayllabambana*

Plukenetia huayllabambana tiene semillas muy grandes con un alto contenido de ácidos grasos. Podría ofrecer una buena cantidad de proteína adicional y fuente de nutrición para la población local, especialmente a los niños. La especie no sólo es interesante desde una perspectiva nutricional, medicinal y cultural, sino también podría ser una interesante alternativa económica a los cultivos ilegales. La especie sólo se conoce en el hábitat natural del bosque nuboso. Si se desarrollan métodos de siembra y recolección sostenibles, la especie podría convertirse en una nueva fuente de ingresos para las comunidades marginadas de Amazonas (Vega, 2008 citado por Bussmann *et al*, 2009).

1.2. *Plukenetia volubilis*

1.2.1. Taxonomía de *Plukenetia volubilis*

Identificación taxonómica de sacha inchi (Manco, 2006):

Nombre Científico	: <i>Plukenetia volubilis</i> L.
División	: Magnoliophyta Cronquist, Takht. & W. Zimm. ex Reveal
Clase	: Magnoliopsida Brongn.
Subclase	: Magnoliidae Novák ex Takht.
Superorden	: Rosanae Takht.
Orden	: Malpighiales Juss. ex Bercht. & J. Presl
Familia	: Euphorbiaceae Juss.
Género	: <i>Plukenetia</i> L.
Especie	: <i>volubilis</i> L.
Nombre Común	: sacha inchi, maní del monte, maní del inca.

1.2.2. Fenología y periodo vegetativo de *Plukenetia volubilis*

Investigaciones en el Porvenir-Tarapoto, indican la fenología y periodo vegetativo de *Plukenetia volubilis* (Manco, 2006).

❖ Siembra indirecta:

➤ En almácigo :

- Días a germinación : 11 a 14 d.d.a.
 - Días a emergencia de hojas verdaderas:
 - 1er. par : Entre 16 y 20 d.d.a.
 - 2do.par : Entre 28 y 42 d.d.a.
 - 3er. par : Entre 45 y 59 d.d.a.
- * d.d.a. Días después del almacigado

➤ Después del trasplante

- Emisión de guía : Entre 20 y 41 d.d.t.
 - Inicio de floración : Entre 86 y 139 d.d.t.
 - Inicio de fructificación : Entre 119 y 182 d.d.t.
 - Inicio de cosecha : Entre 202 a 249 d.d.t.
- * d.d.t. Días después del trasplante

❖ Siembra directa

- Días a germinación : 14 a 16 d.d.s.
 - Emisión de guía : Entre 48 y 50 d.d.s.
 - Inicio de floración : Entre 88 y 135 d.d.s.
 - Inicio de fructificación : Entre 122 y 168 d.d.s.
 - Inicio de cosecha : Entre 180 y 220 d.d.s.
- * d.d.s. Días después de la siembra

1.2.3. Nemátodos y enfermedades que afectan a *Plukenetia volubilis*

Se han reportado algunos nemátodos y enfermedades que vienen afectando al cultivo de sacha inchi en la Región San Martín los cuales se mencionan en la Tabla 1 (Arévalo G, 1999).

Tabla 1. Nemátodos y hongos que afectan al cultivo de sacha inchi

Plagas	Nombres Científico	Parte Afectada
Nemátodos	<i>Meloidogyne sp.</i>	Suelo
	<i>Meloidogyne incognita</i>	Raíces y suelo
	<i>Aphelenchus sp.</i>	Raíces
	<i>Helicotylenchus sp.</i>	Raíces y suelo
	<i>Tylenchus sp.</i>	Suelo
	<i>Trichodorus sp.</i>	Raíces
	<i>Xiphinema sp.</i>	Suelo
Hongos	<i>Stagonospora sp.</i>	Rama
	<i>Leptosphaeria sp.</i>	Rama
	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Cuello de la planta
	<i>Rhizoctonia sp.</i>	Cuello de la planta
	<i>Cronartium sp.</i>	Tallo

Fuente: Arévalo G., 1999

1.2.4. Componentes de *Plukenetia volubilis*

Dentro de sus componentes de *Plukenetia volubilis* L. se encuentran principalmente: proteínas, aminoácidos, ácidos grasos esenciales (omegas 3, 6, y 9) y vitamina E (tocoferoles y tocotrienoles) en contenidos significativamente elevados con respecto a semillas de otras oleaginosas (maní, palma, soya, maíz, colza y girasol). Investigaciones recientes realizadas con aceites omegas y vitamina E indican la importancia nutricional y terapéutica de su consumo para el control de radicales libres y una serie de enfermedades que estos originan en el organismo humano (Manco, 2006).

Se tienen reportes de análisis realizados en la Universidad de Cornell (USA) que indican que la almendra de las semillas tiene 48,6 % de aceite y 29,0 % de proteína; además se señala que el aceite de sachá inchi tiene un alto contenido de ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y linolénico) por lo que se le considera como un aceite de bajo contenido de ácidos saturados (Hazen y Stoewesand, 1980; citado por Manco, 2006).

1.2.5. Productos derivados de *Plukenetia volubilis*

Dependiendo de las características varietales, en cuanto a contenido y calidad de grasas (54%) y proteína (29%), el sachá inchi constituye un cultivo nativo con posibilidades de industrialización y con potencial de rendimiento económico para reemplazar en alguna medida al cultivo de coca, pero es indispensable implementar las investigaciones en mejoramiento genético, principalmente en aspectos de biología floral, resistencia a plagas y enfermedades (*Meloidogyne sp.* y *Fusarium sp.*), resistencia a la humedad y al stress hídrico; a su vez se deben implementar también las investigaciones en agroindustria (Manco, 2006).

1.3. Contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales del sachá inchi y otras semillas de oleaginosas

Hazen y Stoewesand, citado en Manco (2006), refieren que las concentraciones de aceite total de sachá inchi están sobre las concentraciones de algunas semillas oleaginosas de consumo cotidiano como la soya, oliva, entre otros. El ácido graso linolénico y linoleico presentan 48,61% y 36,80 % respectivamente referido al 100% de aceite total en el sachá inchi (Tabla 2).

Tabla 2. Contenido de proteínas y ácidos grasos en sachá inchi y otras oleaginosas

Nutriente (%)	Semillas de oleaginosas							
	Sachá inchi	Soya	Maíz	Maní	Girasol	Algodón	Palma	Oliva
Proteínas	29,00	28,00	---	23,00	24,00	32,90	---	---
Aceite total	54,00	19,00	---	45,00	48,00	16,00	---	---
Palmítico	3,85	10,5	11,00	12,00	7,50	18,40	45,00	13,00
Estearico	2,54	3,20	2,00	2,20	5,30	2,40	4,00	3,00
Oleico	8,28	22,30	28,00	43,30	29,30	18,70	40,00	71,00
Linoleico	36,80	54,50	58,00	36,80	57,90	57,70	10,00	10,00
Linolénico	48,61	8,30	1,00	---	---	0,50	---	1,00

Fuente: Hazen y Stoewesand, 1980, citado en Manco (2006)

Tabla 3. Contenido de ácidos grasos saturados en sachá inchi y semillas de otras oleaginosas

Ácidos grasos	Semilla				
	Sachá inchi	Soya	Maní	Algodón	Girasol
Total (%)	54,00	19,00	45,00	16,00	48,00
Saturados					
C16:0 Palmítico	4,50	10,50	12,00	18,70	7,50
C18:0 Estearico	3,20	3,20	2,20	2,40	5,30

Fuente: Hammacker *et al*; citado por Manco (2006).

Tabla 4. Perfil de aminoácidos de la proteína del sachá inchi comparada con otras oleaginosas.

Proteína y sus aminoácidos	Oleaginosas Semilla					FAO, WHO y ONU
	Sachá inchi	Soya	Maní	Algodón	Girasol	
Proteína (%)	27	28	23	23	24	---
Aminoácidos esenciales						
Histidina	26	25	24	27	23	19
Isoleucina	50	45	34	33	43	28
Leucina	64	78	64	59	64	66
Lisina	43	54	35	44	36	58
Metionina	12	13	12	13	15	---
Cisteína	25	13	13	16	15	---
Fenilalanina	24	49	50	52	45	---
Tirosina	55	31	39	29	19	---
Treonina	43	39	26	33	37	34
Triptófano	29	13	10	13	14	11
Valina	40	48	42	46	51	35
Aminoácidos no esenciales						
Alanina	36	43	39	41	42	---
Arginina	55	72	112	112	80	---
Asparagina	111	117	114	94	93	---
Glutamina	133	187	183	200	218	---
Glicina	118	42	56	42	54	---
Prolina	48	55	44	38	45	---
Serina	64	51	48	44	43	---
TEAA	411	418	349	365	368	---
TAA	976	985	945	936	941	---

Fuente: Hammacker, *et. al.*, 1992; citado por Manco (2006).

Donde:

TEAA: Total de aminoácidos esenciales

TAA: Total de aminoácidos

- Los valores están indicados en mg/g de proteína.
- Información de soya, maní, algodón y girasol obtenida de Bodwell y Hopking (1985).
- Niveles recomendados para niños (2-5 años), (Reunión consultora, Conjunto de expertos, FAO - WHO, 1990).

Comparando el contenido de sus aminoácidos esenciales y no esenciales de las proteínas del sachu inchi y otras semillas de oleaginosas recomendadas por la FAO (Food and Agriculture Organization), WHO (World health Organization) y ONU (Organización de las Naciones Unidas) para la alimentación; se observa que las proteínas y los aminoácidos del sachu inchi, superan en algunos casos a las otras semillas (Tabla 3), (Westmorland *et al*; citado por Manco, 2006).

1.4. Exportaciones de sachu inchi

En relación a las exportaciones de aceite de sachu inchi los principales mercados se encuentran en las economías del primer mundo, destacando con destino exportador a los Estados Unidos de Norteamérica (Tabla 5).

Tabla 5. Exportaciones de aceite de sachu inchi según sus principales mercados en el 2008.

PAIS	% de exportación
Estados Unidos	30,41
Francia	24,82
Japón	18,56
México	9,44
Canadá	5,48
Taiwán	2,91
España	2,78
Suiza	1,59
Reino Unido	1,37
Otros Mercados	2,63

Fuente: SUNAT, elaborado por PROMPERU

1.5. Ácidos grasos

Los ácidos grasos se presentan en grandes cantidades como componentes estructurales de los lípidos saponificables y solo ocurre en pequeñas cantidades al estado libre (no esterificado). Todos tienen una cadena larga hidrocarbonada y un grupo carboxilo terminal. Los átomos de carbono se numeran a partir del extremo del carboxilo, los carbonos 2 y 3 a menudo se designan como α y β , respectivamente, y al átomo de carbono metilado del extremo distal se llama carbono omega (ω). En las plantas superiores y los animales, los ácidos grasos predominantes son de 16 a 18 carbonos, los ácidos palmítico, esteárico y linoleico. Son poco comunes los ácidos grasos con menos de 14 y con más de 20 carbonos. Los ácidos grasos no saturados predominan sobre los saturados en las plantas superiores y en los animales que viven a bajas temperaturas. Los ácidos grasos no saturados tienen un punto de fusión más bajo que los saturados de la misma longitud de cadena. Los mamíferos pueden sintetizar ácidos grasos saturados y monoinsaturados a partir de otros precursores, pero son incapaces de sintetizar ácido linoleico y ácido linolénico, que abundan en las plantas, y de los cuales deben ser obtenidos. Estos ácidos requieren ser suministrados con la dieta y se llaman ácidos grasos esenciales. El ácido linoleico es un precursor necesario para la síntesis del ácido araquidónico en los mamíferos. Hoy en día se sabe que los ácidos grasos esenciales son necesarios para la biosíntesis de las prostaglandinas, sustancias parecidas a las hormonas y que desempeñan importantes funciones fisiológicas (Villavicencio, 1996).

1.5.1. Propiedades físicas y químicas de los ácidos grasos

Una de las propiedades más importantes de los ácidos grasos es la insolubilidad en agua. El punto de fusión de los ácidos grasos aumenta con la longitud de la cadena. Los ácidos grasos no saturados experimentan reacciones de adición a nivel de sus dobles enlaces. La titulación cuantitativa con halógenos como Br y I, pueden ofrecer información acerca del número de dobles enlaces.

1.5.2. Los aceites omega (ω)

Los aceites omega son los ácidos grasos oleicos (ω 9), linoleico (ω 6) y alfa linolénico los (ω 3), eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA). Los aceites ω 9 y ω 6, se encuentran en abundancia en muchos alimentos que el hombre consume en su dieta, tanto de origen animal como vegetal.

Los aceites ω 3 son muy escasos en la naturaleza y son indispensables para la vida y la salud, por lo que siempre deben estar presentes en la dieta, sobretodo el ω 3 alfa linolénico, debido a que el organismo no puede sintetizarlo a partir de los alimentos que ingiere, se le denomina ácido graso esencial linolénico. Los ω 3, EPA y DHA se encuentran en las algas, algunos peces de aguas frías y el organismo humano sintetiza por procesos de elongación los ácidos grasos EPA y DHA a partir de los ácidos grasos esenciales linoleico y linolénico. El organismo al asimilar los ácidos grasos esenciales linoleico y alfa linolénico los elonga, convirtiendo la cadena del linoleico de 18 átomos de carbono con dos dobles enlaces a 20 átomos con 5 dobles enlaces y produce el ácido graso eicosapentaenoico (EPA) y la cadena del alfa linolénico la elonga de 18 átomos de carbono con 3 dobles enlaces a 22 átomos con 6 dobles enlaces y produce el ácido graso docosahexaenoico (DHA); estos ácidos grasos son denominados omega 3 (Villavicencio, 1996).

El aceite de sacha inchi es rica fuente natural de omega 3, omega 6 y omega 9, incomparables para el fortalecimiento de las funciones cerebrales, su consumo resulta ideal para personas de toda edad, contribuye a fortificar el corazón y a mantener estable la presión arterial, favorece la reducción del nivel del colesterol malo en la sangre y facilita el transporte de nutrientes por todo el organismo, es el alimento funcional ideal para madres gestantes pues favorece el adecuado desarrollo cerebral del feto, brinda energía y estimula un correcto metabolismo, previene y mantiene en buen estado la salud, estimula la reducción de colesterol malo en la sangre, ayuda a transportar los nutrientes por el torrente sanguíneo y contribuye a mantener el equilibrio del metabolismo.

1.6. Proceso de extracción de aceite comestibles

Algunas materias primas deben ser pre-tratadas antes de extraer el aceite, los tratamientos térmicos a los que se someten las semillas de oleaginosas, así como el grado de humedad que poseen antes de la extracción determinan el rendimiento de extracción y calidad de aceite (Kochen *et al*, 1999).

De acuerdo con algunas investigaciones en la Región San Martín, los parámetros más adecuados para obtener mayor rendimiento en la extracción de aceite de sachá inchi con el método de prensado hidráulico son: tamaño de partícula de 2,19 mm, 6% de humedad, y calentado a 60°C en estufa durante una hora. El rendimiento de extracción de aceite de sachá inchi es de 22%; el máximo rendimiento de extracción de aceite neto es de 37% y la eficiencia neta de extracción es de 75%. El calentamiento rompe las células de las semillas que contienen el aceite, permitiendo que fluya fácilmente (Vela, 1995).

Los ensayos de orientación para la extracción de aceites comestibles realizados en la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, con métodos simples de cocción, molienda y separación por decantación, lograron 30% de aceite y 60% de torta. Los objetivos a largo plazo de los estudios en sachá inchi son: encontrar nuevas formas y modos de empleo de la semilla para el consumo humano como aceite de cocina, concentrado de proteínas para lactantes, de harina desengrasada con elevado contenido de proteínas, etc. Estimaciones técnicas provenientes de pruebas a nivel industrial, señalan la posibilidad de obtener del sachá inchi 1 tonelada de torta/ha/año y 1 tonelada/ha/año de aceite crudo (Vela, 1995).

Tabla 6. Contenidos de aceites en porcentaje de semillas oleaginosas y mesocarpios.

Materia prima	Contenido de aceite (%)
Semillas oleaginosas	
Algodón	15-25%
Linaza	35-44%
Mostaza	40-45%
Ajonjolí	35-50%
Girasol	25-40%
Mesocarpio	
Palma oleaginosa	56%

Fuente: UNIFEM, 1999

1.6.1. Métodos de extracción de aceites comestibles

Hay tres métodos principales de extracción de aceites: prensado, extracción por disolventes y fusión (Kirchembauer, 1954).

1.6.1.1. Extracción por prensado en frío

Para la extracción por presión primeramente se cuecen las semillas, con el objeto de romper parcialmente su estructura celular y permitir que suelten el aceite, este propósito también puede alcanzarse por trituración en molinos. La temperatura de cocción a la que se trabaja no debe ser excesiva para que no se oscurezca el color del aceite. El aceite obtenido pasa a un proceso de filtración, impulsándolo por bombeo a través de filtros de tela o bien mediante centrifugación (Potter y Hotckiss, 1999).

1.6.1.2. Extracción por disolvente

En la extracción por disolvente conocida como sólido-líquido, el soluto contenido en fase sólida se separa por contacto con el disolvente líquido (Brennan, 1970). Los disolventes más comunes son el éter de petróleo, sulfuro de carbono (este último presenta el peligro de inflamabilidad), y los hidrocarburos clorinados como el tetracloruro de carbono (Bernardini, 1981). Cuando un disolvente es usado en la extracción, puede recuperarse por evaporación o por destilación, según sea su volatilidad y la del soluto contenido (Vian y Ocon, 1972).

1.6.1.3. Extracción por fusión

En el procedimiento por fusión, la grasa es obtenida por calentamiento del tejido adiposo. La fusión se emplea, casi exclusivamente, para la producción de grasas animales (SISIB, 2010).

1.6.2. Normas recomendadas para los aceites vegetales comestibles

Los aceites vegetales, en la antigüedad eran comúnmente utilizados para ensaladas y en general era extendido el uso del aceite de oliva. En la actualidad la mayoría de los productos contienen otros aceites como el de semilla de algodón y de maíz. Para examinar estos aceites es necesario determinar las constantes normales que se menciona en la Tabla 7.

Tabla 7. Normas que recomienda el codex para los aceites vegetales comestibles

Aceite de:	Densidad relativa 20°C/20°C agua	Índice de yodo (g de I/ 100g de grasa)	Índice de acidez (mg KOH/ g de grasa) max.	Índice de peróxidos (meq de O ₂ / Kg) max.
Semilla de algodón	0.918 -0.926	99 -119	0.6	10
Maíz	0.917 - 0.925	103 -128	av, 4	10
Oliva (virgen)	0.910 - 0.916	75 -94	6.6	20
Colza	0.910 - 0.920	110 -126	av, 4	10
Ajonjolí	0.915 -0.923	104 -120	av, 4	10
Soya	0.919 -0.925	120 - 143	0.6	10
Girasol	0.918 - 0.923	110 - 143	av, 4	10
Semilla de mostaza	0.910 - 0.921	92-125	av, 4	10
Nuez molida	0.914 -0.917	80 - 106	av, 4	10

av = aceite virgen.

Fuente: Kirk *et al*, 2006

Madrid y Madrid (2001), denomina aceite virgen, a aquel aceite con proceso de elaboración totalmente mecánico, no se utilizan productos químicos ni altas temperaturas que alteren lo más mínimo sus características químicas ni sensoriales: conserva por tanto inalterables todos sus componentes nutricionales y antioxidantes así como todo su aroma y sabor.

1.6.3. Características fisicoquímicas que se evalúan en aceites comestibles

1.6.3.1. Índice de yodo

Es una medida del grado de insaturación de los componentes de una grasa o aceite. Un aceite con un índice de yodo (IY) igual a cero es totalmente saturado, mientras que a mayor cantidad de insaturaciones se fijara en ellos una cantidad proporcional de yodo, incrementándose este índice, (el índice de yodo del ácido oleico es 90, del ácido linoleico es 181, y del ácido linolénico 274). Se Expresa convencionalmente por el peso de yodo absorbido por cien partes en peso de materia grasa. Un alto índice de yodo puede indicar un punto menor de fusión y mejores propiedades de flujo en frío (Castro *et al*, 2007).

1.6.3.2. Índice de peróxidos

Mide el grado de oxidación primaria que ha sufrido el aceite. Los peróxidos son los productos de descomposición primaria de la oxidación de grasas y aceites, cualquiera sea su composición. Se forman en los puntos de insaturación de cadenas de carbonos de los ácidos grasos. El índice de peróxido indica la cantidad de miliequivalentes de oxígeno activo presente en cada gramo de aceite (Purizaca y Guevara, 2009).

1.6.3.3. Acidez

Se determina mediante titulación o valoración del aceite disuelto en alcohol expresado como índice de acidez el número de mg de KOH necesario para neutralizar los ácidos grasos libres (es decir que no se encuentran unidos a un glicérido) de 1 g de aceite, con una solución estándar de KOH. Un valor elevado de índice de acidez muestra que el aceite contiene un alto contenido de ácidos grasos libres, ya que ha sufrido un alto grado de hidrólisis (Arango, 2002).

1.6.3.4. Impurezas

Son todas aquellas sustancias insolubles en un disolvente volátil, que no hayan sido determinadas como agua y materias volátiles. Del peso total obtenido de impurezas habrá que deducir o calcular el peso de algunas de ellas. El éter de petróleo deja impurezas mecánicas (tierra, arena y residuos diversos). (Purizaca y Guevara, 2009).

1.6.3.5. Humedad

Es el contenido de agua en un compuesto, el contenido de agua en un aceite es importante porque produce las hidrólisis de los triglicéridos, que se acelera por altas temperaturas y presiones y una excesiva cantidad de agua. Durante la transesterificación, la presencia de agua puede causar la saponificación de aceite, efecto aún más negativo que la de ácidos grasos libres, debe mantenerse por debajo de un 0,06% (Osorio, 1977).

1.6.3.6. Densidad

Esta dada por la cantidad de masa por unidad de volumen, expresada en el Sistema Internacional en gramos por centímetro cúbico, a una temperatura dada. La temperatura se debe controlar exactamente puesto que la densidad de las gasas y aceites varía en un aproximado de 0,00068 por grado de temperatura (Purizaca y Guevara, 2009).

1.6.3.7. Viscosidad

Es la medida de la fricción interna entre moléculas de un líquido, o de la resistencia a fluir del líquido. En general, la viscosidad de los aceites desciende con un incremento de la insaturación y con un decrecimiento del peso molecular de sus ácidos grasos (Lawson, 1999).

1.6.3.8. Punto de inflamabilidad

Punto de inflamación (Flash Point) es la temperatura mínima bajo la cual un líquido en equilibrio con su vapor, pone una cantidad suficiente de este para que en contacto con una fuente de ignición se encienda (Felix, 2010).

En el presente trabajo de tesis se ha determinado los ácidos grasos de *Plukenetia huayllabambana* (sacha inchi) de Rodríguez de Mendoza, así como características biométricas y físicas de la almendra; además se determinó la mejor temperatura de acondicionamiento y presión de extracción, para una óptima obtención de aceite de sacha inchi, finalmente se realizó la caracterización fisicoquímica del aceite de sacha inchi.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Materia prima

Plukenetia huayllabambana

Las semillas de *Plukenetia huayllabambana*, fueron del distrito de Cochamal, provincia de Rodríguez de Mendoza, Región de Amazonas, solo se colectaron semillas que presentaron buen estado sanitario.

Plukenetia volubilis

Las semillas de *Plukenetia volubilis* fueron traídas del INIA, Porvenir- Tarapoto, en la región San Martín, solo se colectaron semillas con buen estado sanitario.

2.2. Métodos

2.2.1. Caracterización biométrica y física de semillas de sachá inchi

Se determinó las características biométricas y físicas de las semillas de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*, donde se midió con un vernier el largo y espesor de la semilla; se pesó con una balanza de precisión (NAHITA), la semilla y el endospermo.

2.2.2. Características fisicoquímicas del aceite de semillas frescas de *Plukenetia sp.*

Se evaluó porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, índice de acidez, índice de yodo, índice de peróxido a los aceites extraídos de las dos especies de sachá inchi, sin haber sufrido ningún tratamiento térmico.

2.2.3. Determinación de ácidos grasos de aceite de *Plukenetia huayllabambana* por cromatografía

El método cromatografía gaseosa (GC-FID) fue usado para determinar los ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados y ácidos grasos trans, este método está diseñado para evaluar el perfil de ácidos grasos en aceites y grasas vegetales; fue realizado en el Instituto Tecnológico Pesquero (ITP-Lima), se adjunta la metodología (ANEXO- Método GC-FID.)

2.2.4. Flujograma de extracción de aceite

La extracción de aceites de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* (sacha inchi), se realizó de acuerdo al flujograma mostrado en la Figura 1.

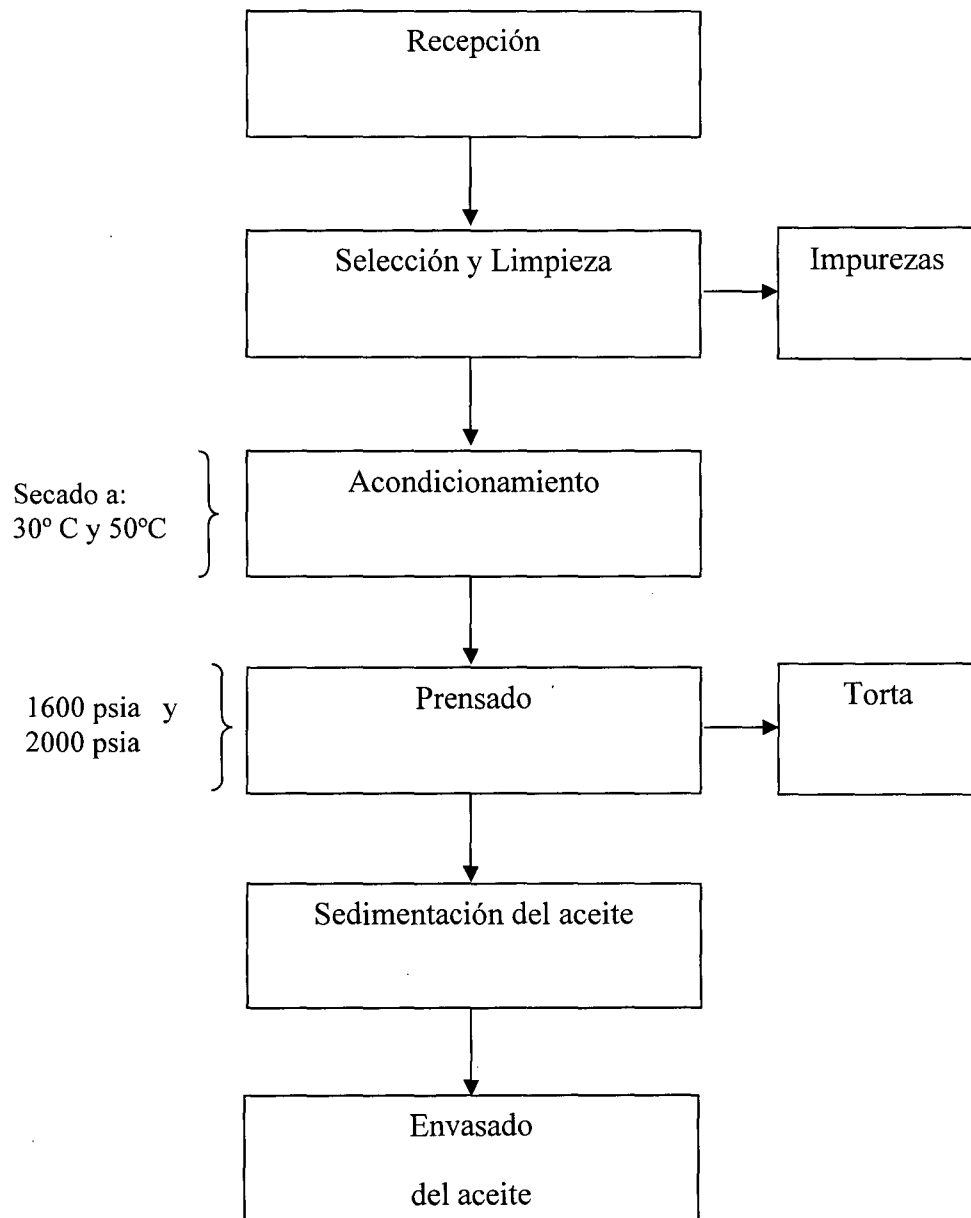


Figura 1. Flujograma de extracción de aceite de sachá inchi

Las etapas se describen a continuación:

a) Recepción

Las semillas fueron seleccionadas para pasar al proceso de extracción, escogiendo solo las de buen estado sanitario.

b) Selección y limpieza

Las semillas fueron nuevamente seleccionadas con un proceso de donde se sumergieron las semillas en agua para eliminar las banas así como impurezas.

c) Acondicionamiento

Las semillas fueron sometidas a diferentes tratamientos térmicos para una mejor extracción del aceite extra virgen.

d) Prensado

Las semillas fueron prensadas en un sistema hidráulico a 1600 y 2000 Psia, se recogió el aceite extraído previa filtración.

e) Sedimentación

El aceite extraído reposó por dos días, para separar sólidos en suspensión y obtener un aceite puro.

f) Envasado

El aceite fue envasado en envases de vidrio ámbar.

2.2.5. Metodología de extracción de aceite por prensado en frío

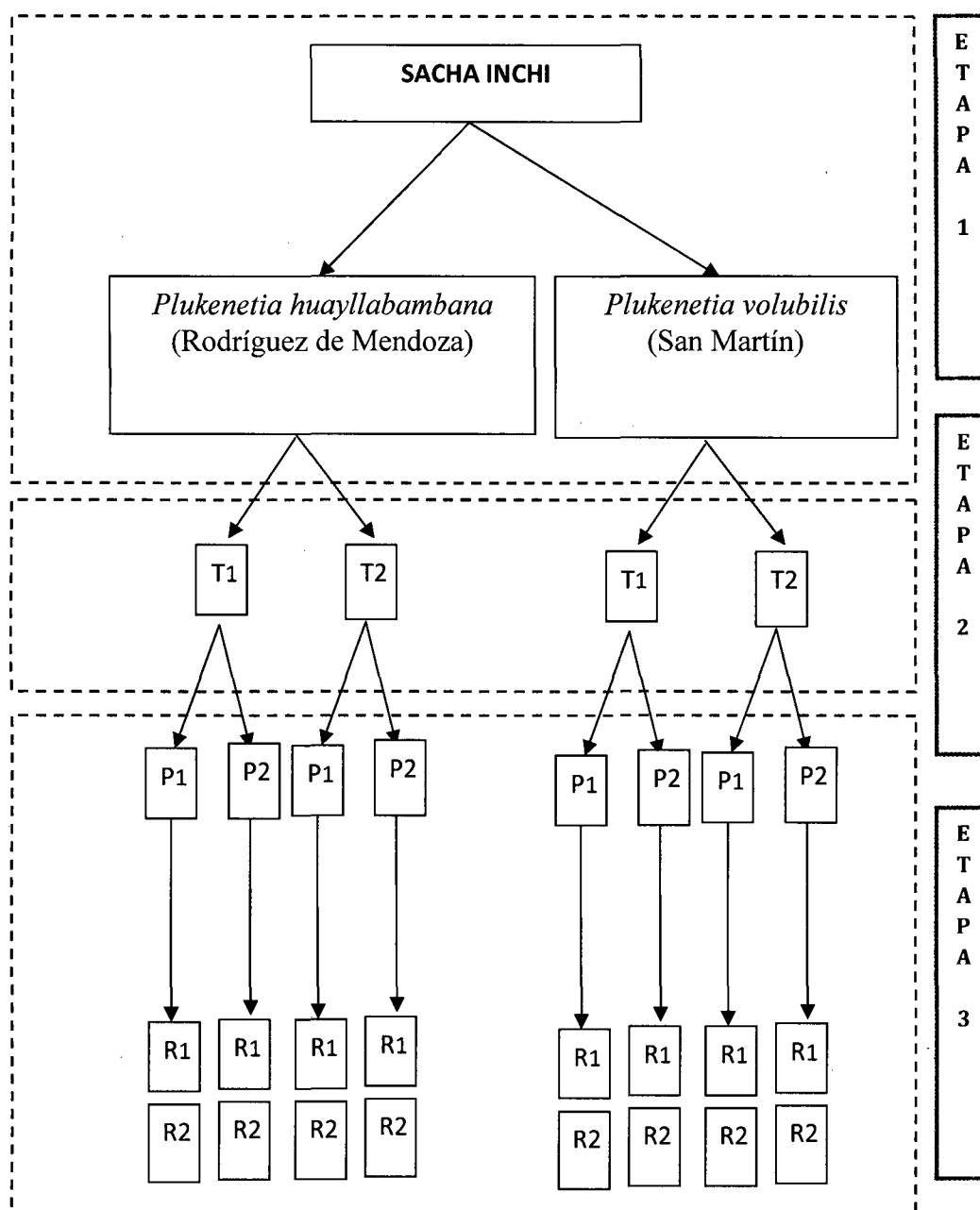


Figura 2. Metodología de extracción de aceite, con los diferentes factores:

Leyenda

°Tx: Temperatura de acondicionamiento (30°C y 50°C)

Px: Presión de extracción (1600 Psia y 2000 Psia)

Rx : Repetición.

Etapa I:

En esta etapa se determinó y comparó características biométricas y físicas (peso de la semilla, peso de endospermo, espesor de semilla y largo de semilla) entre *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*.

Etapa II:

Se realizó dos diferentes tratamientos térmicos de acondicionamiento 30 °C y 50 °C a las muestras.

Etapa III:

Se extrajo el aceite por sistema presión hidráulica, con dos presiones de 1600 Psia y 2000 Psia, seguido un decantado y filtrado de cada muestra para su posterior análisis.

❖ Diseño Estadístico:

Diseño factorial 2^k en 2 bloques

Para este diseño factorial, se realizó utilizando la técnica de confusión, la que nos permite acomodar un experimento factorial completo en bloques incompletos, donde el tamaño de cada uno de estos bloques es de 2^{k-1} , 2^{k-2} , unidades experimentales; es decir el tamaño de cada bloque es la mitad, o la cuarta parte, del bloque completo. Para el procesamiento de los datos se uso el software Statgraphics Plus V. 3.5.

El modelo estadístico de este diseño es:

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_k + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

- μ : Es el efecto de la media general.
- ρ_k : Es el efecto del bloque o especie de sachá inchi.
- A_i : Es el efecto de la i -ésima temperatura de acondicionamiento.
- B_j : Es el efecto de la j -ésima presión de extracción.
- $(AB)_{ij}$: Es el efecto de la interacción de la i -ésima temperatura de acondicionamiento con la j -ésima presión de extracción.
- ϵ_{ijk} : Error experimental.

En la Tabla 8. se muestra la aleatorización del diseño 2^k con 2 bloques, indicando los valores mínimos y máximos para los dos factores.

Tabla 8. Aleatorización del diseño

Factores	Mínimo	Máximo	Unidades
A	30	50	°C
B	1600	2000	Psia

Fuente: elaboración propia

Donde:

Factor A: Temperatura de acondicionamiento (°C)

Factor B : Presión de extracción (Psia)

Bloques : Especies de sachu inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*)

2.2.6. Acondicionamiento de sachu inchi

Se realizó dos diferentes tratamientos térmicos de acondicionamiento a 30 °C y 50 °C en la estufa por 48 horas, a 350 g de semillas de cada repetición para evaluar una mayor cantidad de extracción de aceite de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*.

2.2.7. Extracción de aceite por prensado

Se realizó la extracción de aceite en una prensa hidráulica, con un cilindro y pistón de acero inoxidable con un posterior sedimentado y filtrado para su análisis. Se evaluaron dos presiones de extracción de 1600 y 2000 Psia.

2.2.8. Extracción de aceite de torta de sachu inchi

De cada una de las tortas resultantes de la extracción de aceite de las semillas se realizó una extracción por solvente (éter de petróleo) en el equipo Soxhlet, para determinar el contenido restante de aceite en la torta, que no pudo ser extraído en la prensa.

❖ Procedimiento de extracción en equipo Soxhlet:

1. Se pesó 5 g de torta de Sacha Inchi (P1), se envolvió con papel de filtro (15x15 cm) a manera de un tamal y amarrándola con pavilo.
2. En el balón del equipo Soxhlet se depositó 200 mL de éter de petróleo.
3. En el extractor del equipo Soxhlet se colocó el paquete con la muestra de Sacha Inchi.
4. Se ensambló el equipo Soxhlet.
5. Se encendió la cocina eléctrica para calentar el éter de petróleo contenido en el balón del equipo Soxhlet y vaporizarlo. Este vapor se condensó y cayó sobre el paquete de muestra y se fue acumulando en el extractor del equipo Soxhlet, realizando la extracción del aceite contenido en la muestra, una vez lleno el extractor la mezcla aceite – éter retornó al balón por diferencias de presión generada por diferencia de temperatura (ciclo de extracción).
6. Dejamos en operación durante tres horas, en este tiempo ocurrió en promedio 50 ciclos de extracción.

❖ Recuperación del solvente en equipo de destilación simple

1. Se pesó el balón del equipo de destilación simple (P2).
2. Se trasvazó la mezcla aceite-éter de petróleo al balón del equipo de destilación.
3. Se ensambló el equipo de destilación simple.
4. Cuando el éter de petróleo tuvo un rango de ebullición entre 30 a 60°C, este se evaporó y se dió por terminada la destilación.
5. Se pesó el balón del equipo de destilación con el aceite que contiene (P3).

❖ Cálculo del porcentaje de aceite contenido en la muestra

$$\% \text{ Aceite} = \frac{P2 - P3}{P1} \times 100$$

2.2.9. Determinación del índice de peróxidos

A los aceites extraídos de cada una de las repeticiones, se les realizó la determinación de índice de peróxidos; una sub-muestra de aproximadamente 25 mL fueron filtrados y envasados al abrigo de la luz y mantenidos en refrigeración en envases color ámbar enrasados, con tapones, para luego ser analizados.

Tabla 9. Cantidad de muestra propuesta según el índice de peróxido previsto

Índice de peróxidos que se supone (meq de O ₂ / Kg)	Peso de la muestra problema (g)
de 0 a 12	de 5,0 a 2,0
de 12 a 20	de 2,0 a 1,2
de 20 a 30	de 1,2 a 0,8
de 30 a 50	de 0,8 a 0,5
de 50 a 90	De 0,5 a 0,3

Fuente: Espinola y Moya, 2009

- ❖ Procedimiento para la determinación de índice peróxidos
 7. Se colocó 4 g de aceite en un matraz de 250 mL limpio y seco.
 8. Se colocó 10 mL de cloroformo
 9. Se procedió a agitar.
 10. Se colocó 15 mL de ácido acético glacial.
 11. Se colocó 1 mL de yoduro de potasio saturado.
 12. Se tapó con un tapón de jebe previamente humedecido con yoduro de potasio saturado.
 13. Se agitó durante un minuto.
 14. Se mantuvo la muestra en un cajón oscuro durante 5 minutos.
 15. Se agregó 75 mL de agua destilada lavando los residuos de yoduro de potasio del tapón de jebe.
 16. Se tituló con tiosulfato de sodio al 0,01N hasta obtener un color amarillo pálido
 17. Se agregó 2 mL de almidón saturado como indicador

18. Se titulo hasta que el viraje del color se complete.
19. Se realizó simultáneamente un ensayo en blanco. (todo el proceso sin muestra de aceite).
20. Se expreso el índice de peróxidos, expresado en miliequivalentes de oxígeno activo por Kg de grasa o aceite mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de peróxido} = (V_o - V) \frac{N}{P} \times 100$$

Donde:

V_o = es el volumen en mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01 N utilizado para titular en blanco.

V = es el volumen en mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01 N utilizado para titular con la muestra.

P = es el peso de la muestra de aceite

N = es la normalidad de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

2.2.10. Determinación del índice de yodo

Para la determinación del índice de yodo se utilizó el método Wijs. El índice de yodo de un cuerpo graso en función de su grado de instauración se determinó añadiendo a la muestra un exceso de reactivo halogenado, valorando el reactivo que no reacciona. Se expresó convencionalmente por el peso de yodo absorbido por cien partes en peso de la materia grasa.

Tabla 10. Cantidad de muestra propuesta según el índice de yodo previsto

Índice de yodo que se supone	Peso de la muestra problema (g)
< 5	3,00
5 a 20	1,00
21 a 50	0,60
51 a 100	0,30
101 a 150	0,20
151 a 200	0,15

Fuente: Espinola y Moya, 2009

❖ Procedimiento para la determinación de índice yodo

1. Se colocó 4 g de aceite en un matraz de 250 mL limpio y seco.
2. Se colocó 10 mL de tetracloruro de carbono (CCl_4)
3. Se procedió a agitar.
4. Se colocó 20 mL de reactivo de Wijs.
5. Se tapó con un tapón de jebe previamente humedecido con yoduro de potasio.
6. Se agitó.
7. Se mantuvo la muestra en un cajón oscuro durante 30 minutos tapado con papel negro.
8. Se agregó 15 mL de yoduro de potasio (KI) al 10%
9. Se agregó 100 mL de agua destilada lavando los residuos de yoduro de potasio del tapón de jebe.
10. Se tituló con tiosulfato de sodio al 0,1N hasta obtener un color amarillo pálido
11. Se agregó 2 mL de almidón saturado como indicador
12. Se tituló hasta que el viraje del color se complete.
13. Se realizó simultáneamente un ensayo en blanco. (todo el proceso sin muestra de aceite).
14. Se expresó el índice de yodo, mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de yodo} = (V_o - V) \frac{2,69 \times N}{P}$$

Donde:

V_o = es el volumen en mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,1 N utilizado para titular en blanco.

V = es el volumen en mL de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,01 N utilizado para titular con la muestra.

P = es el peso de la muestra de aceite

N = es la normalidad de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

2.2.11. Determinación de acidez

Para la determinación de acidez de los aceites se utilizó el método recomendado por la A.O.C.S, mediante la titulación del aceite.

❖ Procedimiento para la determinación de acidez de aceite

1. Neutralización de etanol
 - a. Se colocó 50 mL de etanol en un vaso de precipitados de 100 mL
 - b. Se agregó 3 gotas de fenolftaleína (indicador)
 - c. Se tituló con KOH al 0,1 N, con agitación constante hasta un color grosella pálido
2. Se colocó 20 g de aceite en un matraz de 250 mL
3. Se agregó los 50 mL de etanol neutralizado
4. Se agregó 3 gotas de indicador (fenolftaleína)
5. Se tituló con KOH al 0,1 N, con agitación constante hasta recuperar color grosella pálido
6. Se expresó el índice de acidez (IA) según la siguiente fórmula.

$$\text{Índice de acidez} = \frac{V \times N \times 56,11}{P}$$

Donde:

V = es el volumen en mL de KOH 0,1 N utilizado para titular.

P = es el peso de la muestra de aceite

N = es la normalidad de KOH

2.2.12. Determinación del porcentaje de impurezas

Para la determinación de impurezas presentes en el aceite se usó éter de petróleo para disolver partículas extrañas para luego ser retenidas en un filtro, y por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de impurezas.

❖ Procedimiento para la determinación de porcentaje de impurezas

1. Se colocó 10 g de aceite en matraz de 200 mL
2. Se agregó 100 mL de éter de petróleo
3. Se agitó, tapó con tapón de jebe
4. Se dejó reposar durante 30 minutos
5. Se filtró en un papel filtro previamente pesado

6. Se lavó el papel para eliminar restos de materia grasa presente en el papel
7. Se retiró el papel y se dejó evaporar el disolvente al ambiente
8. Se terminó la evaporación en la estufa a 65 °C hasta peso constante
9. Se recuperó el éter de petróleo por destilación simple
10. Se calculó el % de impurezas mediante la siguiente fórmula

$$\% \text{ de Impurezas} = \frac{(P3 - P2)}{P1} \times 100$$

Donde:

$P1$ = es el peso de la muestra en g

$P2$ = es el peso del papel filtro seco y limpio en g

$P3$ = es el peso del papel filtro más impurezas en g

2.2.13. Determinación del porcentaje de humedad

Para la determinación del Porcentaje de humedad de las muestras de aceite se utilizó el analizador de humedad automático (AMB MOISTURE BALANCE-AMB 50) del Laboratorio de Tecnología Agroindustrial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Se colocó una muestra de 1 mL ($\pm 0,1$) de aceite en el modo 01 del equipo y se registró el % de humedad que reportó.

2.2.14. Determinación de la densidad del aceite

La densidad de un aceite está basada en la relación que existe entre su masa y su volumen, afectada por la temperatura del ambiente. Debido a esto se determinó la densidad del aceite referente a la densidad del agua a las mismas condiciones, usando la Tabla 11, como medio de referencia de la densidad absoluta del agua a diferentes temperaturas, y se corrigió el efecto de empuje del aire recomendado por la A.O.C.S.

Tabla 11. Densidad absoluta del agua en función de la temperatura, usando como unidad la masa en gramos de 1 mL de agua a 4 °C

Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)	Temperatura (°C)	Densidad (g/mL)
2°	0,999968	17°	0,998801
3°	0,999992	18°	0,998622
4°	1,000000	19°	0,998432
5°	0,999992	20°	0,998230
6°	0,999968	23°	0,997565
7°	0,999929	24°	0,997323
8°	0,999876	25°	0,997071
9°	0,999808	26°	0,996810
10°	0,999728	27°	0,996539
13°	0,999404	28°	0,996259
14°	0,999271	29°	0,995971
15°	0,999126	30°	0,995673
16°	0,998970		

Fuente: Métodos oficiales de la A.O.C.S.

❖ Procedimiento para la determinación de densidad del aceite

1. Se pesó el picnómetro vacío, limpio y seco
2. Se pesó el picnómetro con agua destilada al ras
3. Se limpió y secó el picnómetro en estufa y campana de desecación
4. Se pesó el picnómetro con aceite al ras

$$Densidad = \frac{(P3 - P1)}{(P2 - P1)} \times D \quad ; \quad g/cm^3$$

Donde:

$P1$ = es el peso en g del picnómetro

$P2$ = es el peso del en g del picnómetro con agua destilada

$P3$ = es el peso del en g del picnómetro con aceite

D = densidad del agua a temperatura de determinación
(consultando el cuadro anterior)

- ❖ La corrección del efecto de empuje del aire sobre el aceite que afecta la densidad se corrigió con la fórmula recomendada por la A.O.C.S. :

$$\text{Densidad corregida} = d + 0,0012(1 - d)$$

Donde:

d = densidad obtenida sin corregir

2.2.15. Determinación de viscosidad del aceite

Para la determinación de la viscosidad del aceite, se utilizó un viscosímetro rotatorio (Brookfield RVDVE230) y el spin N° 21, adecuado para aceites, usando una muestra de 8 mL; obteniéndose valores de confiabilidad entre 90 y 100% y RPM de 2, obteniéndose valores de viscosidad en cP.

2.2.16. Determinación del punto de inflamabilidad del aceite

La determinación del punto de inflamabilidad se realizó en el horno mufla, colocando una muestra de 5 mL de aceite en un crisol, se observó el incremento de calor y se anotó la temperatura a la cual la muestra comenzó a incendiarse con una llama color amarillo intenso.

2.2.17. Determinación del porcentaje de cenizas del aceite

La determinación de cenizas se realizó en el horno mufla, colocando una muestra de 10 ml de aceite en un crisol, pesando en primer lugar el crisol limpio y seco, luego el peso de la muestra, se colocó en la horno mufla a una temperatura de 700 °C por 5 horas, luego se pesó el crisol más la muestra incinerada y se calculó el porcentaje de cenizas.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{Pf - Pc}{Pm}$$

Donde:

Pf = Peso final en g

Pc = Peso crisol limpio y seco en g

Pm = Peso de la muestra en g

III. RESULTADOS

3.1. Características biométricas y físicas de la semilla *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*

Del análisis biométrico y físico realizado se deduce que *Plukenetia huayllabambana*, tiene un peso de almendra de aproximadamente 3,04 g, mucho mayor al de *Plukenetia volubilis* que presentó un peso de 1,18 g (Tabla 12).

Tabla 12. Datos biométrico y físicos de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*

Característica	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Peso de almendra (g)	3,04 ± 0,3	1,18 ± 0,2g
Espesor de almendra (mm)	1,35 ± 0,09	0,62 ± 0,07
Distancia longitudinal (mm)	2,18 ± 0,1	1,69 ± 0,14
Peso de endospermo (g)	2,03 ± 0,22	0,79 ± 0,15

Fuente: Elaboración propia

3.2. Características del aceite de semilla fresca de *Plukenetia huayllabambana*

La semilla de *Plukenetia huayllabambana* presenta un índice de yodo (g de I/ 100g de grasa) de aproximadamente 220,32 y un índice de peróxido (meq. oxígeno activo/1000 g de grasa) de 1,04 en promedio (Tabla 13).

Tabla 13. Características del aceite de la semilla fresca de *P. huayllabambana*

Característica	<i>P. huayllabambana</i>
Porcentaje de humedad en base húmeda	6,35
Porcentaje de cenizas	1,8
Índice de acidez (mg KOH/ g de grasa)	0,08
Índice de yodo (g de I/ 100g de grasa)	218,32
Índice de peróxido (meq. oxígeno activo/1000 g de grasa)	0,82

Fuente: Elaboración propia

3.3. Características del aceite de la semilla fresca de *Plukenetia volubilis*

La semilla de *Plukenetia volubilis* presenta un índice de yodo (g de I/ 100g de grasa) de aproximadamente $172,14 \pm 0,5$ y un índice de peróxido (meq. oxígeno activo/1000 g de grasa) de 2,01 en promedio (Tabla 14).

Tabla 14. Características del aceite de la semilla fresca de *P. volubilis*

Característica	<i>P. volubilis</i>
Porcentaje de humedad en base húmeda	5,07
Porcentaje de cenizas	3,2
Índice de acidez (mg KOH/ g de grasa)	1,1
Índice de yodo (g de I/ 100g de grasa)	201,14
Índice de peróxido (meq. oxígeno activo/1000 g de grasa)	2,01

Fuente: Elaboración propia

3.4. Ácidos grasos de aceite de *Plukenetia huayllabambana* determinados por cromatografía

Análisis realizado en laboratorios de Instituto Tecnológico Pesquero del Perú, utilizando el método de cromatografía gaseosa.

Tabla 15. Resumen de la composición de ácidos grasos aceite de *Plukenetia huayllabambana*

ACIDOS GRASOS	%
Saturados	7,44
Monoinsaturados	10,35
Poliinsaturados	82,21
TOTAL	100.00

Fuente: Laboratorios de análisis del ITP

Tabla 16. Composición de ácidos grasos aceite de *Plukenetia huayllabambana*

Ácidos grasos	Cn:m	%
Palmítico	16:0	5,16
Estearico	18:0	2,28
Oleico	18:1 ω -9	9,36
Vaccenico	18:1 ω -7	0,75
Linoleico	18:2 ω -6	29,53
α -Linolénico	18:3 ω -3	52,68
Eicosaenoico	20:1 ω -9	0,24

Fuente: Laboratorios de análisis de ITP

3.5. Resultados promedios de variables respuestas entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis*

Tabla 17. Resumen de resultados obtenidos entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis*

Variable respuesta	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Extracción de aceite en semilla (%)	27,52	26,93
Extracción de aceite en torta (%)	24,95	24,19
Total de aceite extraído (%)	52,47	51,12
Índice de peróxido (meq de oxígeno activo/1000 g de aceite)	0,96	2,42
Índice yodo (g de I/ 100 g de grasa)	215,72	184,52
Índice de acidez (mg de KOH / g de grasa)	0,11	1,1
Impurezas (%)	2,46	3,4
Humedad en base húmeda (%)	2,12	1,98
Densidad del aceite (g/ml)	0,9236	0,9220
Viscosidad del aceite (cP)	30123,13	44469
Punto de inflamabilidad de aceite (°C)	446,75	448,38
Cenizas en el aceite (%)	1,82	3,92

Fuente: Elaboración propia

3.6. Porcentaje de extracción de aceite de semilla

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 41, anexos, el porcentaje de aceite extraído de las muestras fue afectado tanto por la presión (1600 Psia y 2000 Psia) como la especie de sachá inchi (*Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis*) con 0,05 % de significancia.

➤ Prueba t para extracción de aceite según especies

De la Tabla 42, anexos, el porcentaje promedio de *P. huayllabambana* fue de 27,515% de aceite extraído, el cual no presentó significancia con el porcentaje de aceite extraído por *P. volubilis* que fue del 26,9275%, esto al 95% de confianza

➤ Superficie de respuesta

❖ Coeficiente de regresión para porcentaje de aceite extraído

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$PAE = 20.4912 + 0.029875*A + 0.003825*B - 0.00001875*A*B$$

Donde:

PAE : Porcentaje de aceite extraído de sachá inchi (ml)

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para porcentaje de aceite extraído

Meta: maximizar Porcentaje de aceite extraído

Valor optimo = 27,9125

Tabla 18.Limites y óptimos para la extracción de aceite

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	30,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	2000,0

Fuente: Elaboración propia

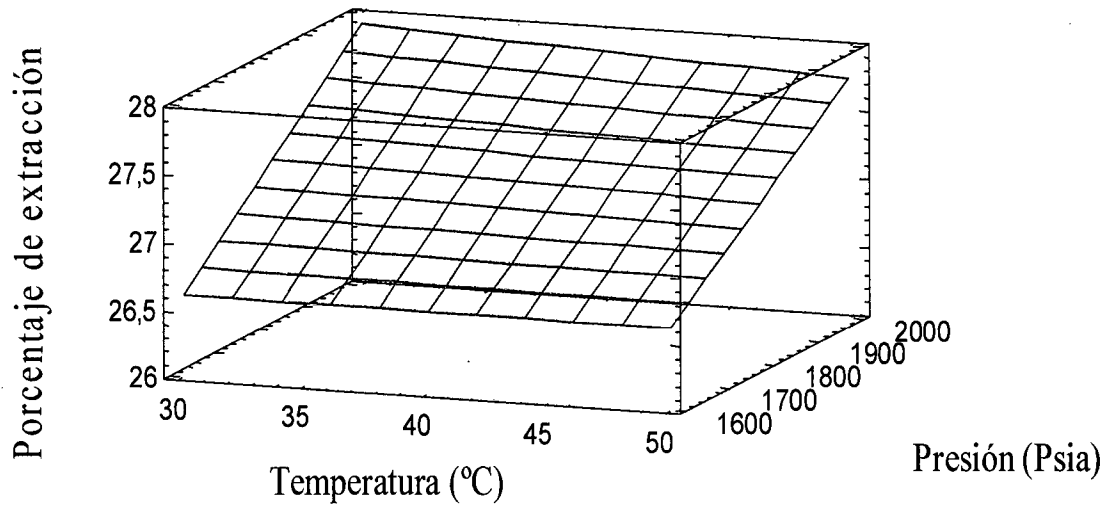


Figura 3. Superficie de respuesta estimada de extracción de aceite

Fuente: Elaboración propia

3.7. Extracción de aceite de torta de sachu inchi con el método Soxhlet

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 43, anexos, el porcentaje de aceite extraído en la torta por el proceso de Soxhlet solo fue afectado por la presión de extracción (1600 Psia y 2000 Psia) de forma significativa, al 95 % de confianza.

➤ Superficie de respuesta

❖ Coeficiente de regresión para porcentaje de aceite en la torta

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$PAT = 34.2225 + 0.37225*A - 0.00572188*B - 0.000197812*A*B$$

Donde:

PAT : Porcentaje de aceite en la torta

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para porcentaje de aceite en la torta

Meta: minimizar porcentaje de aceite en la torta

Valor optimo = 21.61

Tabla 19.Limites y óptimos para extracción de aceite de la torta

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30.0	50.0	50.0
Presión (Psia)	1600.0	2000.0	2000.0

Fuente: Elaboración propia

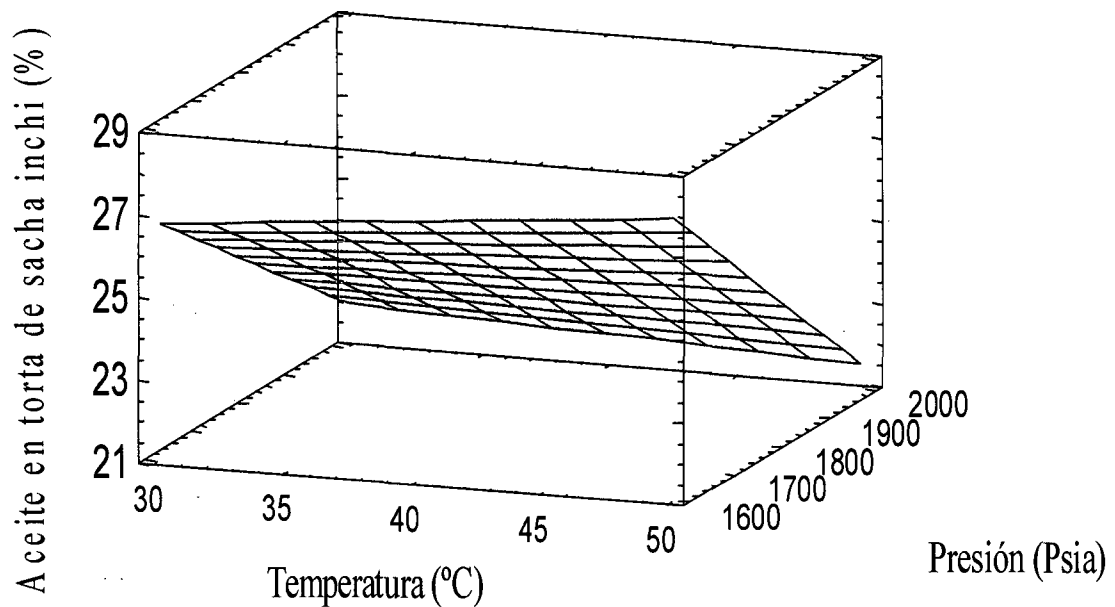


Figura 4. Superficie de respuesta estimada de extracción de aceite de la torta

Fuente: Elaboración propia

3.8. Índice de peróxidos

➤ **Análisis de varianza**

De la Tabla 44, anexos, el índice de peróxidos fue afectado significativa por las especies *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, mas no por la temperatura de acondicionamiento y la presión de extracción, con el 95 % de confianza.

➤ **Prueba t para índice de peróxido según especies**

De la Tabla 45, anexos, dentro de las especies en estudio *P. volubilis* presento significancia en un mayor índice de peróxidos en promedio de 2,41625 meq. Oxigeno activo/ 1000g de grasa que *P. huayllabambana* que solo presento 0,9625 meq. Oxigeno activo/ 1000g de grasa, al 0,05 de significancia.

➤ **Superficie de respuesta**

❖ **Coefficiente de regresión para índice de peróxido**

➤ **Ecuación del modelo ajustado:**

$$IP = 16,7838 + 3,02012 * A + 0,104263 * B - 0,00127187 * A * B$$

Donde:

IP : Índice de peróxido (meq de oxigeno activo/ 1000 g de grasa)

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ **Respuesta optimizada para índice de peróxido**

Meta: minimizar índice de peróxido

Valor optimo = 1.485

Tabla 20.Limites y óptimos para índice de peróxido

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	50,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	1600,0

Fuente: Elaboración propia

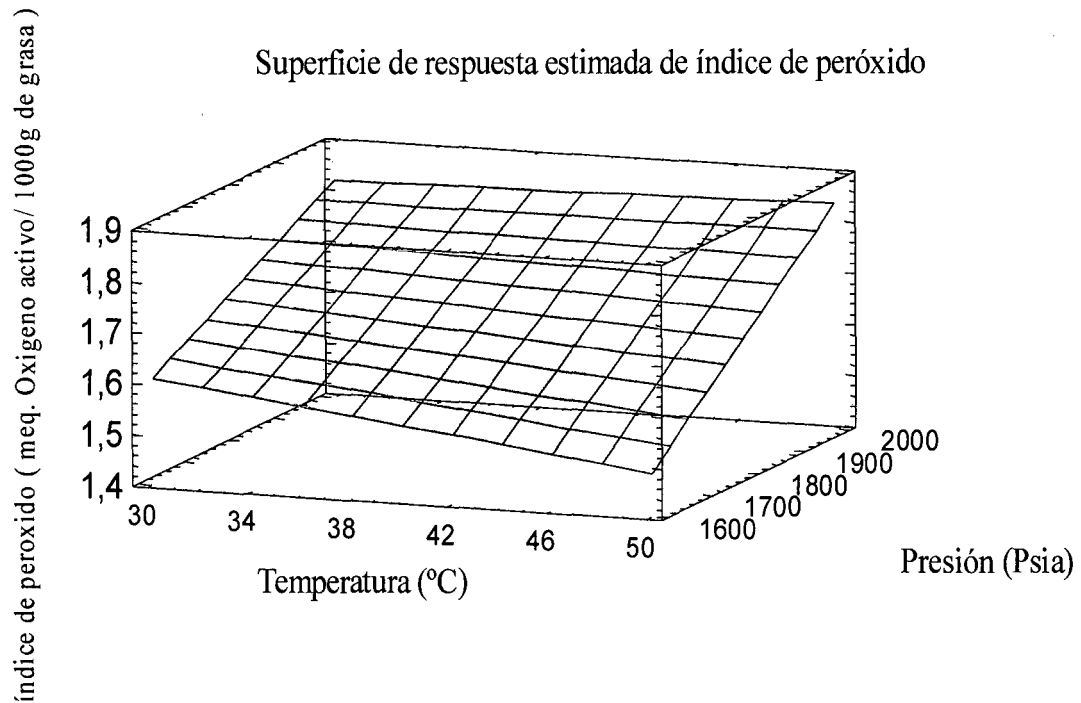


Figura 5. Superficie de respuesta estimada de índice de peróxido

Fuente: Elaboración propia

3.9. Índice de yodo

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 46, anexos, al 0,05 de significancia el índice de yodo fue afectado por las especies de sacha inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* así como las presiones de extracción de 1600 y 2000 Psia, la temperatura no efecto de forma significativa el índice de yodo.

➤ Prueba t para índice de yodo según especies

Para el índice de yodo según especie, en la Tabla 47, anexos, *P. huayllabambana* presento un diferencia significativamente mayor de 215,72 g de I/100g de grasa que *P. volubilis* que solo presento 184,52 g de I/100g de grasa, con una confianza del 95%.

➤ Superficie de respuesta

❖ Coeficiente de regresión para índice de yodo

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$IY = 16,7838 + 3,02012*A + 0,104263*B - 0,00127187*A*B$$

Donde:

IY : Índice de yodo (g de I / 100 g de grasa)

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para índice de yodo

Meta: maximizar índice de yodo

Valor optimo = 215,56

Tabla 21.Limites y óptimos para la índice de yodo

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	50,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	2000,0

Fuente: Elaboración propia

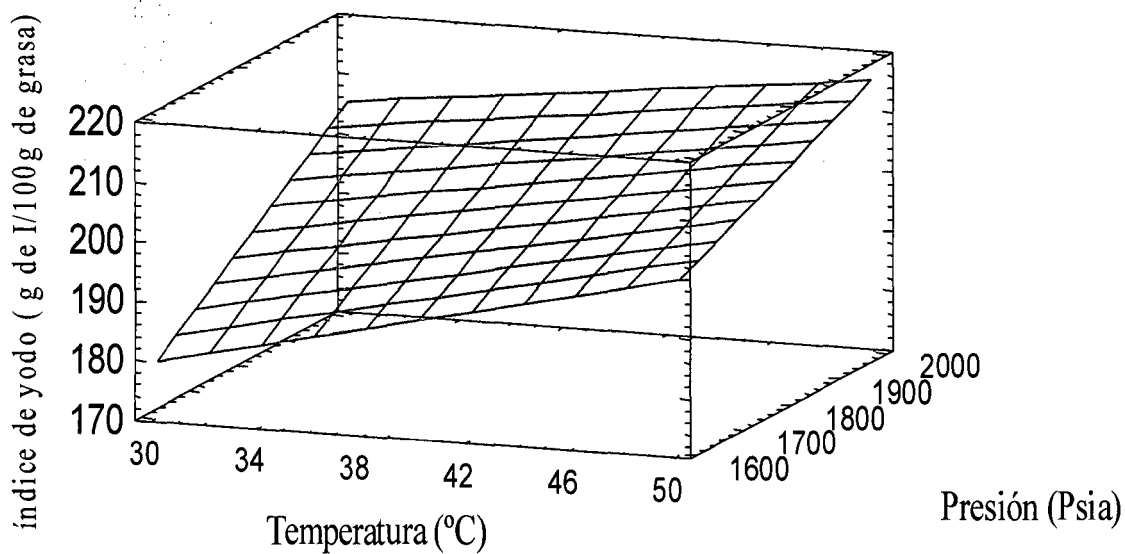


Figura 6. Superficie de respuesta estimada de índice de yodo

Fuente: Elaboración propia

3.10. Índice de acidez

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 48, anexos, en la determinación del índice de acidez solo fue influenciado por las especies de sachá inchi *P. huayllabambana* y *P. volubilis* más no fue influenciada por la temperatura en los tratamientos térmicos y presión de extracción con una confianza del 95%.

➤ Prueba t para índice de acidez según especies

En la Tabla 49, anexos, con una confianza del 95% se afirma que *P. huayllabambana* ha reportado un mayor índice de acidez, con una diferencia promedio con *P. volubilis* del 1 mg de KOH / g de grasa más.

➤ Superficie de respuesta

❖ Coeficiente de regresión para índice de acidez

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$IA = 1,87 - 0,02375*A - 0,00065*B + 0,000011875*A*B$$

Donde:

IA : Índice de acidez (mg de KOH / g de aceite)

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para viscosidad del aceite

Meta: minimizar índice de acidez

Valor optimo = 0,57

Tabla 22.Limites y óptimos para la índice de acidez

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	30,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	2000,0

Fuente: Elaboración propia

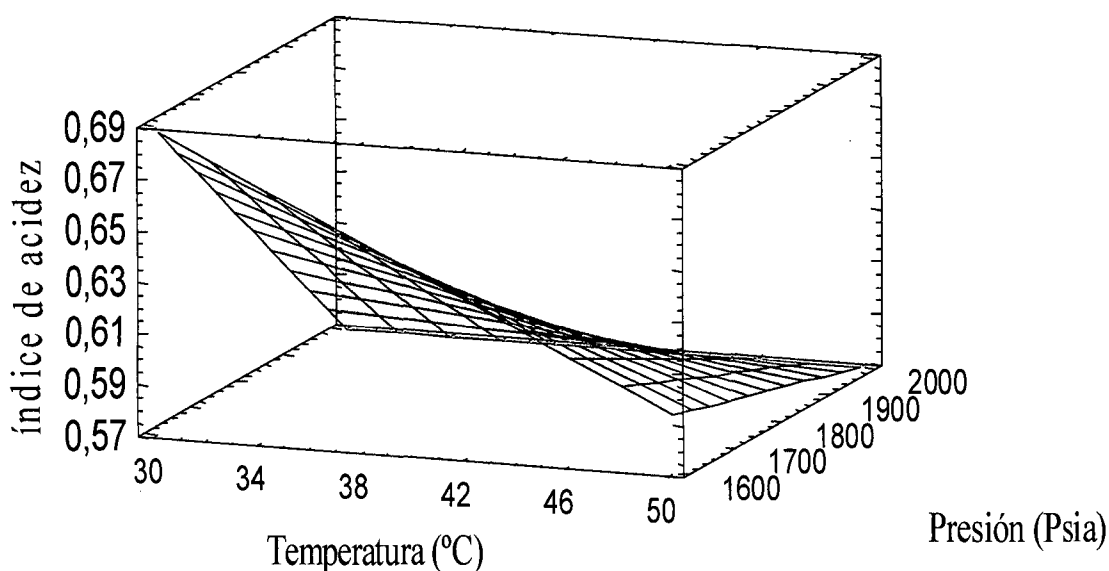


Figura 7. Superficie de respuesta estimada de índice de acidez (mg de KOH / g de aceite)

Fuente: Elaboración propia

3.11. Porcentaje de impurezas

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 50, anexos, el análisis estadístico refiere que las especies de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) afectan el porcentaje de impurezas de forma significativa y que el factor temperatura y presión no incidencia significativamente al 95% de confianza.

➤ Prueba t para índice de yodo según especies

En la prueba t para porcentaje de impurezas según especies, en la Tabla 51, anexos, se aprecia que *P. volubilis* tiene una relación significativamente mayor con el porcentaje de impurezas del aceite que *P. huayllabambana*, con una diferencia promedio entre ambos de 0,95% en impurezas del aceite al 5 % de significancia.

➤ **Superficie de respuesta**

❖ Coeficiente de regresión para porcentaje de impurezas

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$PIM = -0,2375 + 0,0565*A + 0,00144063*B - 0,0000234375*A*B$$

Donde:

PIM : Porcentaje de impurezas

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para porcentaje de impurezas

Meta: minimizar porcentaje de impurezas

Valor optimo = 2,6375

Tabla 23.Limites y óptimos para el porcentaje de impurezas

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	30,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	1600,0

Fuente: Elaboración propia

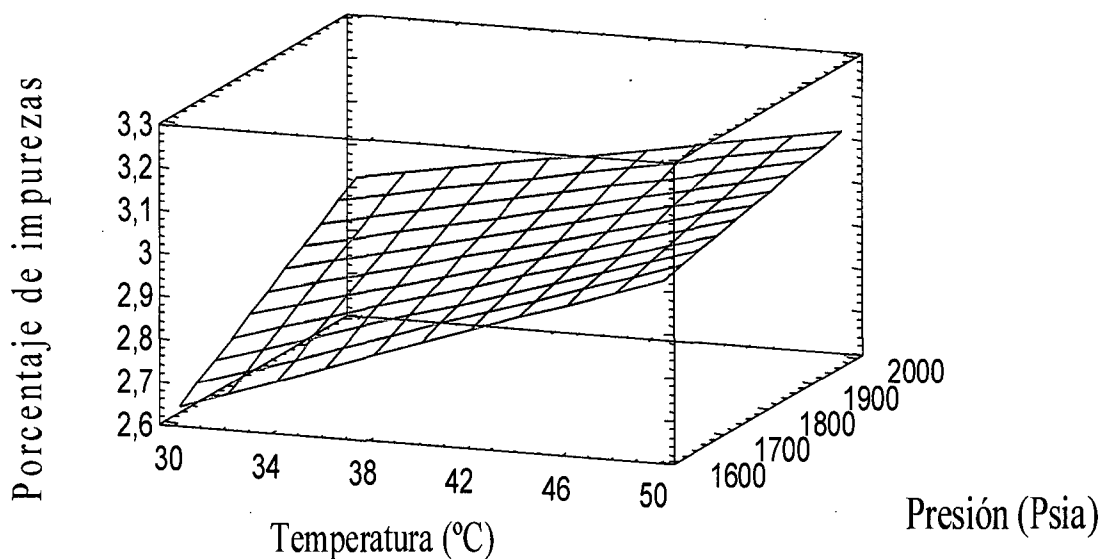


Figura 8. Superficie de respuesta estimada de porcentaje de impurezas

Fuente: Elaboración propia

3.12. Porcentaje de humedad

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 52, anexos, los tratamientos térmicos a las cuales fueron sometidas las muestras, han influido significativamente en la humedad del aceite extraído en las diferentes repeticiones con una significancia del 5%.

➤ Superficie de respuesta

❖ Coeficiente de regresión para porcentaje de humedad del aceite

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$PH = 3,25 - 0,019*A - 0,00019375*B - 0,00000125*A*B$$

Donde:

PH : Porcentaje de humedad

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para porcentaje de humedad de aceite

Meta: minimizar porcentaje de humedad de aceite

Valor optimo = 1,7875

Tabla 24.Limites y óptimos para el porcentaje de humedad

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	50,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	2000,0

Fuente: Elaboración propia

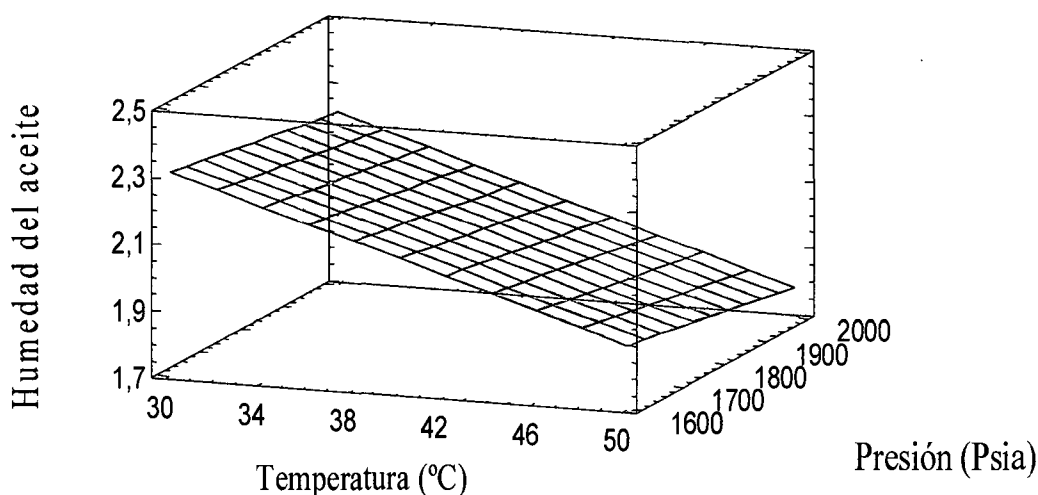


Figura 9. Superficie de respuesta estimada de porcentaje de humedad

Fuente: Elaboración propia

3.13. Densidad del aceite

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 53, anexos, los reportes de densidad fueron afectados por la temperatura de acondicionamiento, la especie de sachá inchi y presión de extracción no incidieron significativamente sobre esta, con una confianza del 95%.

➤ Superficie de respuesta

❖ Coeficiente de regresión para densidad del aceite

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$De = 0,815 + 0,003*A + 0,00004375*B - 0,00000125*A*B$$

Donde:

De : Densidad del aceite (g/ml)

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para densidad del aceite

Meta: minimizar densidad del aceite

Valor optimo = 0,915

Tabla 25. Límites y óptimos para la densidad del aceite

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	30,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	1600,0

Fuente: Elaboración propia

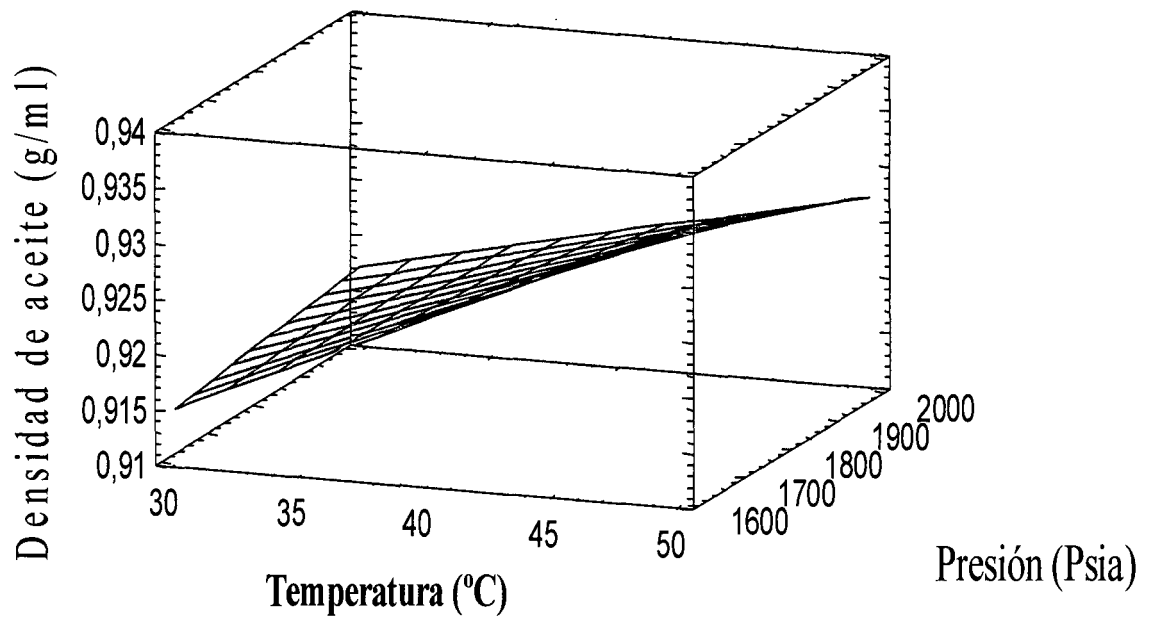


Figura 10. Superficie de respuesta estimada de densidad
Fuente: Elaboración propia

3.14. Viscosidad del aceite

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 54, anexos, la viscosidad del aceite a 19 °C (temperatura de toma de dato), fue afectada por las especies de sachá inchi (*P. huayllabambana* y *P. volubilis*) y por los tratamientos térmicos (30°C y 50°C), con una confianza del 95%.

➤ Prueba t para la viscosidad del aceite según especies

La prueba t para porcentaje de cenizas según especie, en la Tabla 55, anexos, *P. volubilis* ha reportado un mayor rango de viscosidad que *P. huayllabambana*, con una diferencia promedio de 14345,88 cP, al 95% confianza.

➤ **Superficie de respuesta**

❖ Coeficiente de regresión para viscosidad del aceite

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$V_c = 35266,3 + 55,625*A + 7,88281*B - 0,199781*A*B$$

Donde:

V_c: Viscosidad del aceite

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para viscosidad del aceite

Meta: minimizar viscosidad del aceite

Valor optimo = 33835,0

Tabla 26.Limites y óptimos para la viscosidad

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30,0	50,0	50,0
Presión (Psia)	1600,0	2000,0	2000,0

Fuente: Elaboración propia

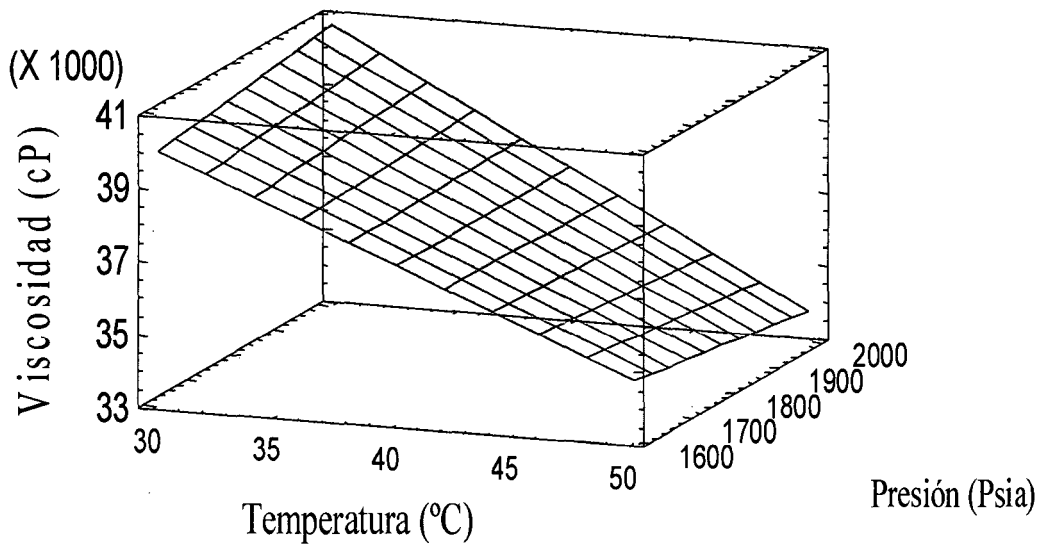


Figura 11. Superficie de respuesta estimada de viscosidad del aceite

Fuente: Elaboración propia

3.15. Punto de inflamabilidad del aceite

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 56, anexos, con el 0,05 % de significancia, los tratamientos térmicos de acondicionamiento y las presiones de extracción y la acción conjunta de ambos han influenciado significativamente en el punto de inflamabilidad.

➤ Superficie de respuesta

- ❖ Coeficiente de regresión para punto de inflamabilidad

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$P \text{ Inf} = 12.125 + 7.6375*A + 0.308438*B - 0.00590625*A*B$$

Donde:

P Inf : Punto de inflamabilidad (°C)

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

- ❖ Respuesta optimizada para punto de inflamabilidad

Meta: minimizar punto de inflamabilidad

Valor optimo = 415

Tabla 27.Limites y óptimos para el punto de inflamabilidad

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30.0	50.0	50.0
Presión (Psia)	1600.0	2000.0	1600.0

Fuente: Elaboración propia

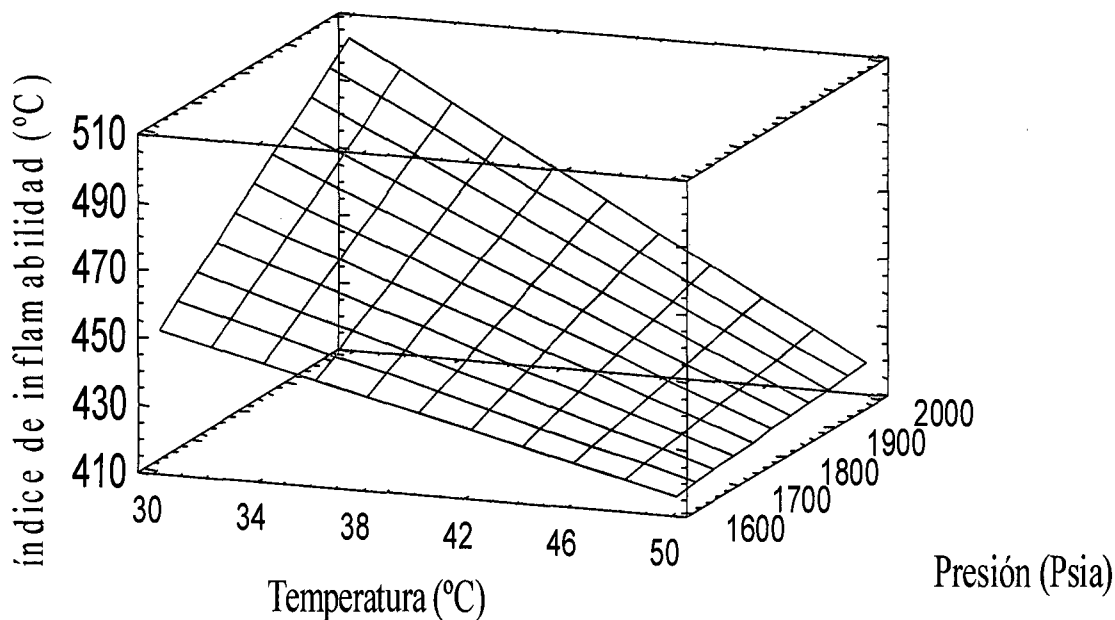


Figura 12. Superficie de respuesta estimada de punto de inflamabilidad

Fuente: Elaboración propia

3.16. Porcentaje de cenizas del aceite

➤ Análisis de varianza

De la Tabla 57, anexos, el porcentaje de cenizas fue afectado significativamente por el factor especie, los tratamientos térmicos y la presión de extracción no ha incidido en el porcentaje de cenizas de forma significativa, con un 0,05 de confianza.

➤ Prueba t para porcentaje de cenizas según especies

La prueba t para porcentaje de cenizas según especie, en la Tabla 58, anexos, refiere que *P. volubilis* ha presentado una mayor cantidad de porcentaje de cenizas de 3,92% a diferencia que *P. huayllabambana* que solo presento 1,82%, con el 95% de confianza.

➤ **Superficie de respuesta**

❖ Coeficiente de regresión para porcentaje de cenizas

➤ Ecuación del modelo ajustado:

$$PCnz = 0.94375 + 0.049625*A + 0.00102813*B - 0.0000265625*A*B$$

Donde:

PCnz: Porcentaje de cenizas

A : Temperatura de acondicionamiento (°C)

B : Presión de extracción (Psia)

❖ Respuesta optimizada para porcentaje de cenizas

Meta: minimizar porcentaje de cenizas

Valor optimo = 2.8025

Tabla 28.Limites y óptimos para el porcentaje de impurezas

Factor	Inferior	Mayor	Optimo
Temperatura (°C)	30.0	50.0	30.0
Presión (Psia)	1600.0	2000.0	1600.0

Fuente: Elaboración propia

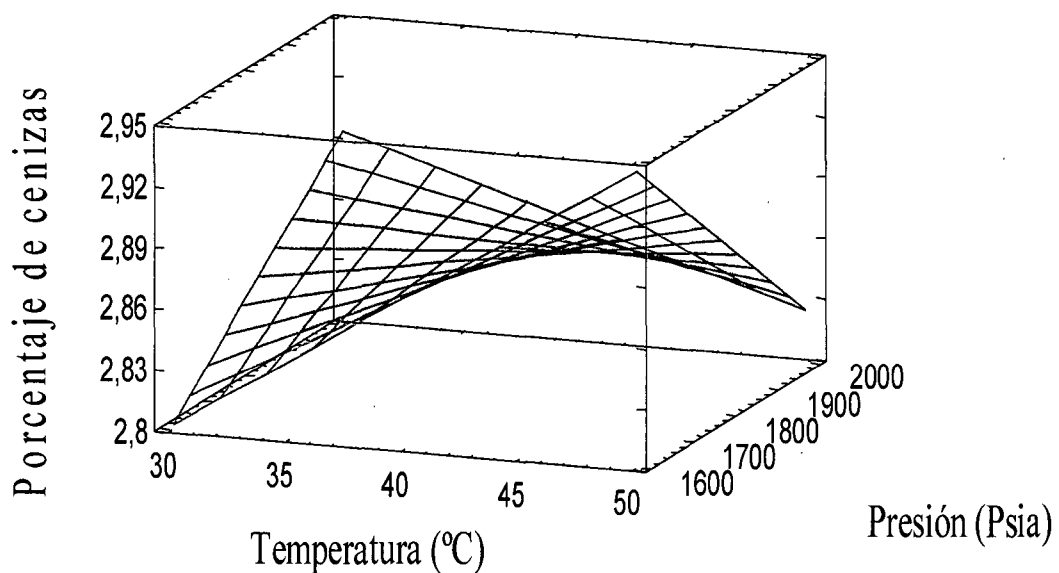


Figura 13. Superficie de respuesta estimada de porcentaje de cenizas

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

Del análisis biométrico y físico realizado a las semillas de *Plukenetia huayllabambana* y *Plukenetia volubilis* (Tabla 12) se aprecia que los resultados de *Plukenetia huayllabambana* se aproximan con los obtenidos por Bussmann (2009) en la descripción botánica que realizó. Según Pascual y Mejía (2008) la almendra de *Plukenetia volubilis*, tiene un peso variable entre 0,771 y 0,774 gramos, espesor entre 7,7 y 8,3 mm, y una longitud ente 14,8 y 15,2mm; con ello demostramos que existe un aproximamiento con los resultados obtenidos en la presente investigación. Además Fantastico citado por Pascual y Mejía (2008) deduce que el tamaño de la semilla de los frutos es muy variable y característico de cada variedad, clima, suelo, labores culturales entre otros, corroborando la variabilidad de los resultados obtenidos par ambas especies.

De las Tablas 14 y 15, determinación de ácidos grasos por cromatografía gaseosa del aceite de *Plukenetia huayllabambana*, el total de ácidos grasos insaturados es de 92.56% del cual destaca el ácido linolénico con el 52,68%. Demostramos el alto grado de instauración del aceite de *Plukenetia huayllabambana* el cual le permitiría ser industrializado como fuente potencial para aceite comestible al ser líquido a temperatura ambiente. Estos resultados fueron contrastados con los obtenidos por Pascual y Mejía (2008) en el estudio que realizaron a la semilla de *Plukenetia volubilis*, donde el total de ácidos grasos saturados asciende a solo el 9,08 % destacándose el ácido palmítico con un 5,6%. El total de ácidos grasos insaturados es de 90,34%, destacando el ácido linolénico con un 43,75%, demostrando que es menos insaturado que el aceite de *Plukenetia huayllabambana*. Según Ziller(1996), en los aceites vegetales el ácido oleico está asociado al ácido linoleico, en aceites poco insaturados como soja, maíz, linaza, etc., hay más ácido linoleico que oleico. Villavicencio (1999), resalta la importancia de estos ácidos grasos esenciales al no poder ser sintetizados por el cuerpo, por lo que recomienda ser suministrados mediante los alimentos.

Según Manco, 2006 indica un 48,61%, 36,8% y 8,28% de ácidos grasos linoleico, linolénico y oleico respectivamente referido al 100% de aceite total, comparado a los análisis realizados *P. huayllabambana* en el presente informe fue superior en oleico y linolénico del 9,36% y 52,68% respectivamente e inferior en linoleico del 29,53%.

El 52,68% de ácidos grasos linolénico de *P. huayllabambana* en el presente trabajo es superior a los citados por Hazen y Stoewesand, 1980, citado en Manco (2006) en la Tabla 2. a la soya, aceite de oliva, algodón de 8,30%, 1,00% y 0,5% respectivamente. El alto contenido de $\omega 3$ en *P. huayllabambana* es de mucha importancia por lo citado por Villavicencio, 1996 quien afirma que $\omega 3$ son muy escasos en la naturaleza y son indispensables para la vida y salud.

Los 7,44% de ácidos grasos saturados de *P. huayllabambana* reportados en el trabajo son inferiores a *P. volubilis* con un 7,7% reportado por Hammacker *et al*; citado por Manco (2006) en la tabla 3; así como muy inferior a los 18,7% y 13,5% del algodón y la soya respectivamente reportados por el mismo autor.

En cuanto al porcentaje de extracción de aceite de aceite total de la Tabla 17. *P. huayllabambana* reporto un 52,47% mayor que *P. volubilis* que reporto un 51,25% pero esta diferencia no fue significativa como lo indica la Tabla 42, estos resultados fueron inferiores a los reportados por Hazen y Stoewesand, 1980, citado en Manco (2006); que indica que *P. volubilis* tiene un 54% de aceite.

De la Tabla 18 con el modelo de optimización obtuvimos que el mejor tratamiento de extracción por prensado en frio es a 30°C y 2000 psia con un porcentaje de extracción del 27,91%; pese a esta optimización Brennan *et. Al* (1970) afirma que la extracción por presión no es el mejor método para la extracción de aceite de semillas por el alto contenido de aceite residual en la torta recomendando la extracción por solvente para mayor eficiencia, los datos obtenidos en la extracción de aceite por solvente de la torta de sachá inchi lo confirman, obteniéndose un promedio para ambas especies de 24,95% y 24,19%.

Las temperaturas de acondicionamiento usadas fueron de 30 y 50 °C, menores a la temperatura de 60°C reportada por Vela (1995), el calentamiento rompe las células de la semilla permitiendo que el aceite fluya fácilmente, lo mismo afirma Potter & Hochtckiss, (1999), con el objeto de romper parcialmente su estructura celular y permitir que el aceite salga se cuecen las semillas.

El índice de peróxidos máximo permitido para el aceite de oliva es de 20 meq de oxígeno activo / 1000 g de aceite (Kirk *et al*, 2006), superior al indicado para *P. huayllabambana*, que solo fue del 0,96 20 meq de oxígeno activo / 1000 g de aceite, esto indica que los resultados están dentro del rango permitido en comparación con el

índice de peróxidos del aceite de oliva. Por otra parte Lawson (1999) afirma que el índice de peróxidos es de gran importancia para el reconocimiento de la descomposición autooxidativa y con ello, realizar tratamientos para la conservación de aceites.

El índice de yodo para la soya y el girasol es de 120 y 110 g de I por g de grasa, reportados por Kirk *et al*, 2006 y los de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* fueron de 215,72 y 184,52 respectivamente, lo cual indica que para el aceite el aceite de sacha inchi tiene un mayor grado de insaturación, contrarrestado por el análisis de ácidos grasos insaturados realizado en el presente trabajo.

El índice de acidez de 6,6 mg de KOH / 100 g de grasa máximo permitido para el oliva (Kirk *et al*, 2006) es mucho mayor al índice de acidez de *P. huayllabambana* y *P. volubilis*, que fue de 0,11 y 1,1 respectivamente lo cual indica que los resultados obtenidos están dentro del rango de aceptación según la norma codex, citado por el autor antes mencionado.

El porcentaje de impurezas en promedio para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* es de 2,46% y 3,4% respectivamente reportado en la tabla 17, siendo mayor en *P. volubilis* contrastado con la prueba t en la tabla 50, donde reporta significancia para la influencia de la variedad de sacha inchi; esto se debe a que *P. volubilis* posee mayor cantidad de epismerno lo cual incrementa el porcentaje de impurezas. De la tabla 23, la optimización para el menor porcentaje de impurezas recomienda la extracción a 30°C y 1600 psia, donde se concluye que a menor temperatura de secado menor será el resquebrajamiento de la semilla, el cual se disminuirá a una menor presión de extracción, disminuyendo el porcentaje de impurezas.

El porcentaje de humedad promedio para *P. huayllabambana* y *P. volubilis* es de 2,12% y 1,98%, datos que no coinciden con lo recomendado por Lawson (1999), el que debe mantenerse entre 0,06% y 0,3%. Esta variabilidad en la humedad puede deberse por efectos de precisión de la balanza de humedad utilizada, temperatura de secado de semilla y presión de extracción, ya que según Pascual y Mejía (2008) reporta una humedad en el aceite de *P. volubilis* de 0,024% extraídos a 1450 psia de presión y una temperatura de secado de 105°C por 30 minutos. Del modelo de optimización de la

Tabla 25, para minimizar la humedad del aceite reporta como óptimo la temperatura de acondicionamiento de semilla de 50°C y una presión de 2000 psia.

La densidad promedio de *P. huayllabambana* y *P. volubilis* fue de 0,9336 y de 0,9220 respectivamente, superior a la densidad del aceite de oliva, soya y girasol reportados por Kirk *et al*, 2006. Este resultado posiblemente sea mayor debido a que aun existían sólidos suspendidos en el aceite que no se pudo retirar por medio del decantado.

Lawson, (1999), en general, la viscosidad de los aceites desciende con un incremento de la insaturación y con un decrecimiento del peso molecular de sus ácidos grasos, sin embargo el primer doble enlace disminuye mucho más la viscosidad que los subsiguientes. En este caso la viscosidad estuvo afectada por las especies, ya que *Plukenetia volubilis* es mas viscoso en un promedio de 14345.9 cP por tener menor grado de insaturación que *Plukenetia huayllabambana*. La viscosidad desciende con un incremento en la insaturación, sin embargo el primer doble enlace disminuye mucho más la viscosidad que los subsiguientes.

La diferencia del punto de inflamabilidad entre *P. huayllabambana* y *P. volubilis* indicado en el presente trabajo es de 446,75 y 448,38 °C, esta diferencia se justifica por lo mencionado por Villavicencio (1996), quien afirma que entre más ácidos grasos no saturados se tenga el punto de fusión así como el punto de inflamabilidad será más bajo; todo contrastado con el índice de yodo reportado en la investigación que indica que el índice de yodo de *P. huayllabambana* superior a *P. volubilis*. De la Tabla 27, reporta el tratamiento optimo a una temperatura de 50°C y una presión de 1600 para minimizar el punto de inflamabilidad, el cual es de 415°C para ambas especies, deduciendo que a mayor temperatura de secado hay menor presencia de humedad en el aceite; esta humedad influye en el punto de inflamabilidad disminuyéndolo a menor presencia de humedad y aumentándolo a mayor presencia de humedad.

V. CONCLUSIONES

- Se *P. huayllabambana* presento un 9,36% de ácido graso insaturado oleico, un 29% de Linoleico y un 52,68% de α -Linolénico.
- El optimo para la mayor cantidad de extracciones de aceite fue de 2000 Psia y 50°C, *P. huayllabambana*, tuvo mayor porcentaje que *P. volubilis*.
- El mejor rendimiento de almendra lo tuvo la especie de *Plukenetia huayllabambana* con un peso promedio de 3.04 +/- 0.3 g.
- Las características fisicoquímicas del aceite de las dos especies de *Plukenetia*, afirman que existe diferencias, existiendo así la posibilidad de la transformación de semilla de *Plukenetia huayllabambana* para la producción de aceite comestible con altos contenidos de omega 3 con esto es más atractivo para su consumo.
- Los mayores índices de acidez y de yodo fue reportado por *Plukenetia huayllabambana*, al ser más insaturado y poseer mayores concentraciones de ácidos.
- La humedad de *Plukenetia huayllabambana* para la extracción por prensado de aceite debe ser menor del 6 % y para *Plukenetia volubilis* menor del 5%, haciendo eficiente el prensado y evitando porciones de pulpa en forma de pasta en el aceite.
- La extracción por prensado en frio, es más eficiente usando semillas enteras con todo su epispermo, el cual actúa como un filtro del aceite.
- La concentración de ácidos grasos insaturados en *Plukenetia huayllabambana* es del 92,56%, destacándose el ácido ;- linolénico con 52.68 % seguido por el ácido linoleico con 29.53% y finalmente por el ácido oleico con 9.36%.
- La extracción por presando no logra extraer en su totalidad el aceite de *Plukenetia* extrayendo un porcentaje del 27,22 % aproximadamente y un sobrante aproximadamente del 24,57% que fue extraído por solvente a partir de la torta.

VI. RECOMENDACIONES

- Se debe extender el cultivo de *Plukenetia huayllabambana* por sus altos contenidos de ácidos grasos esenciales.
- Realizar pruebas de extracción con semillas de sachá inchi sin epispermo, y analizar los rendimientos y pureza.
- Diseñar e implementar un equipo de extracción continua, a pequeña escala, realizar y analizar extracción de aceite de semillas de sachá inchi y comparar los resultados con los de la investigación.
- Realizar investigación en la composición proteica y en posibles usos de la torta de *Plukenetia huayllabambana*, en diseño de maquinaria y métodos de refinación más eficientes de extracción por prensado.
- Elaborar un proyecto productivo, que enmarque el aspecto técnico y económico para el cultivo del sachá inchi *Plukenetia huayllabambana* el cual permita la producción y transformación de esta semilla, generando ingresos económicos a las familias agricultoras con la búsqueda de un mercado.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ❖ Arango, G. 2002. Metabolitos primarios de interés farmacognóstico. Universidad de Antioquia. Medellín. Colombia.
- ❖ Arévalo, G. 1999. El cultivo del sacha inchi (*Plukenetia voluvilis* L.) en la amazonia. Programa Nacional de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología – PRONARGEB, Estación experimental El Porvenir –INIA Tarapoto – Perú.. Disponible en: <http://www.congreso.gob.pe/comisiones/1999/ciencia/cd/inia/inia-i5.htm#TopOfPage>
- ❖ Bernardini, E. 1981. Tecnología de aceites y grasas. Madrid, España. Editorial Alambra S.A.
- ❖ Bussmann, R.W.; C., Téllez & A., Glenn. 2009. *Plukenetia huayllabambana* sp. nov. (Euphorbiaceae) from the upper Amazon of Peru. Nordic Journal of Botany 27:313 – 315.
- ❖ Castro, P.; J., Coello & L., Castillo. 2007. Opciones para la producción y uso del biodiesel en el Perú. Soluciones prácticas – ITDG. Lima, Perú. Impreso por Forma e Imagen.
- ❖ Clair, J. 2000. Química para Ingeniería Ambiental. 4ta edición. Contextos gráficos. Bogotá, D.C; Colombia.
- ❖ CORPODIB. 2003. Programa estratégico para la producción de Biodiesel. Combustible Automotriz a partir de aceites vegetales en Colombia de la Corporación para el Desarrollo industrial de la biotecnología y producción Limpia.
- ❖ Espínola, F. & A., Moya. 2009. Análisis de laboratorios. Dpto. de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales. Universidad de Jaén - España. Disponible en <http://www.ujaen.es/huesped/aceite/articulos/analisis.htm>. Accesado : 02 /11/ 2009.
- ❖ García, F. & J., Mostacero. 2009. Flora Etnomedicinal de la Región Amazonas, Perú. Chachapoyas, Perú.
- ❖ Kirchembauer, M. 1994. Grasas y aceites. Química y Tecnología. México. Editorial Continental S.A

- ❖ Kirk *et al.* 2006. Composición y Análisis de los Alimentos de Pearson. 2^{da} Edición. México. Editorial Continental.
- ❖ Kochen, E. *et al.* 1999. Procesamiento de Aceite. Lima, Perú. Editorial, ITDG – Perú.
- ❖ Lawson, H. 1999. Aceites y Grasas alimentarios- Tecnología, utilización y nutrición. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
- ❖ Madrid, A & J., Madrid. 2001. Normas de Calidad de Alimentos y Bebidas. Madrid, España. Editorial Mundi Prensa.
- ❖ Manco, E. 2006. Sacha inchi. Subdirección de Recursos Genéticos y Biotecnología Estación Experimental Agraria “El Porvenir” – Tarapoto. Disponible en: www.inia.gob.pe/SIT/consPR/adjuntos/1508.pdf. Accesado el 16/05/2010
- ❖ Matissek, R., Schnepel, F. y Steiner, G. 1998. Análisis de los alimentos, Fundamentos, métodos, aplicaciones. 2da edición. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
- ❖ Millones, C & E., Vásquez. 2007. Micropropagación de las plantas de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) proveniente de la provincia de Rodríguez de Mendoza, región Amazonas. Investigaciones Amazonenses 2(1): 7 – 11.
- ❖ Osorio. 1977. Métodos oficiales de análisis de grasas y aceites. CDTA. Madrid-España. Disponible en: www.observatorioalimentario.org/métodos_oficiales/aceites/aceites.pdf. Accesado el 16/05/2010
- ❖ Pascual, G. & M., Mejía. 2008. Extracción y Caracterización del Aceite de Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Facultad de Industrias alimentarias, Universidad Agraria La Molina. Informe de investigación.
- ❖ Purizaca, S. & V., Guevara. 2009. Caracterización fisicoquímica de cuatro ecotipos de piñón (*Jatropha curcas* L.) con potencial para biodiesel de la provincia de Utcubamba- Región Amazonas. Informe de Tesis.
- ❖ Potter, N. & J., Hotchkiss. 1999. Ciencia de los alimentos. 5^{ta} edición. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
- ❖ Servicios de información y bibliotecas SISIB. Biblioteca digital de la universidad de Chile. Alimentos grasos. Disponible en:

http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/schmidh/aenergeticos2/grasos/01.html. Accesado: 02/11/2009.

- ❖ UNIFEM, 1999. Procesamiento de aceite. Lima- Perú. Impreso por Asociación Gráfica Educativa.
- ❖ Vela, L. 1995. Ensayo para la extracción y caracterización del aceite en San Martín. Tesis para obtener el título profesional de agroindustrial en la Universidad Nacional de San Martín – UNSM –Tarapoto – Perú.
- ❖ Vian, A. & T., Ocon. 1972. Elementos de Ingeniería Química. 5^{ta} Edición. Madrid, España. Editorial Aguilar.
- ❖ Valles, C. 1990. El “sacha inchi”, planta nativa de importancia proteica y aceitera promisor para la selva alta. UNSM, Tarapoto. Separata, 2p.
- ❖ Villavicencio M., 1999. Bioquímica I. Lima- Perú. Fondo Editorial Universidad Mayor de San Marcos.
- ❖ Ziller S. 1996. Grasas y aceites alimentarios. 7ma edición. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.

ANEXOS

Tabla 29. Porcentaje de aceite extraído según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	28,63	28,32
		P2 (1600 Psia)	26,17	26,48
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	28,63	28,02
		P2 (1600 Psia)	26,78	27,09
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	27,35	27,35
		P2 (1600 Psia)	27,04	26,74
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	27,04	27,35
		P2 (1600 Psia)	26,12	26,43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Porcentaje de aceite en la torta del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	21,52	22,31
		P2 (1600 Psia)	28,24	25,91
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	20,89	22,13
		P2 (1600 Psia)	30,31	28,32
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	22,94	21,54
		P2 (1600 Psia)	25,89	26,92
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	21,31	22,11
		P2 (1600 Psia)	26,95	25,84

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Índice peróxidos en meq. oxígeno activo / 1000 g grasa del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	1,04	1,04
		P2 (1600 Psia)	0,86	0,87
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	1,08	1,08
		P2 (1600 Psia)	0,87	0,86
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	2,61	2,61
		P2 (1600 Psia)	2,35	2,35
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	3,35	1,85
		P2 (1600 Psia)	2,11	2,10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Índice yodo en g de I / 100 g grasa del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	224,35	225,42
		P2 (1600 Psia)	187,85	184,27
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	225,96	226,5
		P2 (1600 Psia)	225,96	225,42
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	186,06	188,3
		P2 (1600 Psia)	185,61	160,63
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	186,51	223,27
		P2 (1600 Psia)	160,63	185,16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Índice acidez en g KOH / g grasa del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	0,08	0,1
		P2 (1600 Psia)	0,13	0,09
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	0,12	0,13
		P2 (1600 Psia)	0,12	0,11
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	0,88	1,22
		P2 (1600 Psia)	1,32	1,21
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	0,98	1,05
		P2 (1600 Psia)	1,02	1,12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Porcentaje de impurezas según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	2,08	2,34
		P2 (1600 Psia)	1,96	2,03
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	2,97	2,56
		P2 (1600 Psia)	2,97	2,73
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	3,79	3,52
		P2 (1600 Psia)	3,36	3,2
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	3,37	3,6
		P2 (1600 Psia)	2,57	3,8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Porcentaje de humedad del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	2,44	2,03
		P2 (1600 Psia)	2,62	2,52
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	1,77	1,75
		P2 (1600 Psia)	1,98	1,86
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	2,42	1,98
		P2 (1600 Psia)	2,09	2,01
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	1,89	1,74
		P2 (1600 Psia)	1,75	1,97

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Densidad en g / ml del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	0,92552427	0,91569917
		P2 (1600 Psia)	0,91373415	0,9088216
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	0,93295604	0,92929513
		P2 (1600 Psia)	0,93185832	0,93115526
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	0,90390906	0,91668168
		P2 (1600 Psia)	0,92159423	0,91569917
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	0,9173277	0,92641015
		P2 (1600 Psia)	0,9388036	0,93538096

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37. Viscosidad a 19 °C en cP del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	36245	31130
		P2 (1600 Psia)	32630	32600
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	24140	29800
		P2 (1600 Psia)	24180	30260
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	47830	47650
		P2 (1600 Psia)	47850	46752
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	38900	42500
		P2 (1600 Psia)	41020	43250

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Punto del inflamabilidad en °C del aceite según tratamientos

Especie	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	501	501
		P2 (1600 Psia)	465	470
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	410	412
		P2 (1600 Psia)	405	410
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	511	502
		P2 (1600 Psia)	435	435
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	430	429
		P2 (1600 Psia)	425	420

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Porcentaje de cenizas del aceite según tratamientos

Espece	Temperatura	Presión	R1	R2
<i>P. huayllabambana</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	1,85	1,94
		P2 (1600 Psia)	1,89	2,01
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	1,49	1,64
		P2 (1600 Psia)	1,32	2,39
<i>P. volubilis</i>	T1 (30°C)	P1 (2000 Psia)	3,78	4,01
		P2 (1600 Psia)	3,45	3,86
	T2(50°C)	P1 (2000 Psia)	4,21	3,96
		P2 (1600 Psia)	4,02	4,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Datos biométricos y físicos de las semillas de sachu inchi

Nº	<i>Plukenetia. Huayllabambana</i>				<i>Plukenetia Volubilis</i>			
	Peso total	Espesor	Longitud	Peso de endospermo	Peso total	Espesor	Longitud	Peso de endospermo
1	2,69	1,4	2,1	1,67	1,20	0,6	1,7	0,79
2	3,19	1,4	2,3	2,14	0,99	0,5	1,5	0,64
3	2,96	1,2	2,1	1,62	1,09	0,6	1,6	0,73
4	3,35	1,4	2,3	2,11	1,01	0,6	1,5	0,72
5	2,95	1,2	2,0	1,98	1,58	0,7	1,8	1,05
6	3,05	1,3	2,3	2,00	0,93	0,5	1,6	0,61
7	3,05	1,2	2,4	2,08	1,49	0,7	1,9	0,97
8	3,03	1,4	2,2	1,93	1,07	0,6	1,6	0,71
9	2,95	1,2	2,2	1,91	1,01	0,5	1,6	0,68
10	2,94	1,3	2,2	2,02	0,74	0,5	1,3	0,48
11	3,06	1,3	2,2	1,93	1,21	0,6	1,8	0,83
12	3,21	1,5	2,2	2,04	1,18	0,7	1,8	0,76
13	2,98	1,2	2,1	2,02	1,10	0,7	1,6	0,70
14	2,91	1,2	2,3	1,85	1,25	0,7	1,7	0,85
15	3,26	1,4	2,2	2,15	1,34	0,7	1,7	0,93
16	3,13	1,4	2,3	2,01	1,03	0,6	1,6	0,70
17	2,84	1,4	2,2	1,77	1,16	0,7	1,6	0,78
18	3,12	1,3	2,1	2,06	1,17	0,5	1,8	0,79
19	3,34	1,4	2,2	2,35	1,16	0,6	1,8	0,76
20	3,11	1,3	2,3	2,15	1,31	0,7	1,8	0,88
21	2,82	1,2	2,3	1,82	0,77	0,5	1,4	0,48
22	2,80	1,3	2,1	1,88	1,33	0,7	1,7	0,93
23	2,71	1,4	2,1	1,79	1,64	0,7	1,9	1,12
24	3,21	1,3	2,3	2,20	1,25	0,6	1,8	0,84
25	3,29	1,4	2,3	2,20	1,09	0,6	1,6	0,72
26	3,28	1,5	2,3	2,05	0,98	0,5	1,6	0,64
27	3,18	1,5	2,2	2,14	1,25	0,7	1,7	0,86
28	3,54	1,4	2,3	2,44	1,22	0,6	1,6	0,86
29	3,34	1,4	2,2	2,08	1,21	0,6	1,8	0,81
30	3,00	1,4	2,2	1,98	1,23	0,7	1,7	0,89
31	2,66	1,4	2,1	1,85	1,31	0,7	1,9	0,76
32	3,09	1,3	2,2	2,05	1,21	0,7	1,7	0,84
33	3,45	1,5	2,2	2,32	1,16	0,6	1,7	0,91
34	3,17	1,4	2,2	2,14	0,79	0,6	1,6	0,45
35	2,95	1,3	2,2	1,88	1,19	0,6	1,6	0,81
36	3,53	1,4	2,3	2,39	1,39	0,6	1,9	0,90
37	3,14	1,4	2,1	2,35	1,33	0,7	1,8	0,88
38	2,90	1,3	2,0	1,93	0,72	0,6	1,6	0,42
39	3,78	1,4	2,4	2,59	1,58	0,7	1,9	1,06
40	3,11	1,4	2,1	2,02	1,38	0,6	1,9	0,93
41	3,10	1,3	2,2	2,06	1,30	0,6	1,8	0,86
42	2,85	1,3	2,0	1,91	0,98	0,6	1,5	0,65
43	2,43	1,2	2,0	1,68	1,03	0,5	1,3	0,69
44	2,42	1,3	2,1	1,58	1,23	0,6	1,6	0,83
45	3,12	1,5	2,0	2,11	1,18	0,6	1,7	0,81
46	2,91	1,4	2,3	1,90	1,07	0,7	1,7	0,66
47	2,96	1,4	2,1	2,06	1,20	0,6	1,6	0,80
48	2,44	1,2	2,0	1,67	1,40	0,6	1,8	0,93
49	2,89	1,4	2,0	1,97	1,35	0,7	1,7	0,91
50	2,58	1,4	2,2	2,42	1,17	0,5	1,8	0,79

Tabla 41. Análisis de la varianza para porcentaje de aceite extraído de sachá inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	1.380625	1	1.380625	6.359596319	0.028	*
A	0.024025	1	0.024025	0.110666764	0.746	
B	6.0516	1	6.0516	27.87558757	0.000	*
A * B	0.0225	1	0.0225	0.103642131	0.754	
Error	2.388025	11	0.217093182			
Total	9.866775	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Prueba t para porcentaje de aceite extraído según especie

	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Media	27,515	26,9275
Varianza	0,99865714	0,21365
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0,60615357	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	1,50919908	
P(T<=t) una cola	0,07674128	n.s
Valor crítico de t (una cola)	1,76131012	

n.s = no significativo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Análisis de la varianza para porcentaje de aceite en la torta de sachá inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	2.34855625	1	2.34855625	1.722938633	0.216	
A	0.41925625	1	0.41925625	0.307573127	0.590	
B	118.973556	1	118.9735563	87.2809141	0.000	*
A * B	2.50430625	1	2.50430625	1.837199337	0.202	
Error	14.9942188	11	1.363110795			
Total	139.239894	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Análisis de la varianza para índice de peróxido de sachá inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	8.45355625	1	8.45355625	78.16058943	0.000	*
A	0.01155625	1	0.01155625	0.106847732	0.750	
B	0.32775625	1	0.32775625	3.030395839	0.110	
A * B	0.01890625	1	0.01890625	0.17480497	0.684	
Error	1.18971875	11	0.10815625			
Total	10.0014938	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Prueba t para índice de peróxido según especie

	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Media	0,9625	2,41625
Varianza	0,01110714	0,21002679
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0,11056696	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-8,7439372	
P(T<=t) una cola	0,0000 *	
Valor crítico de t (una cola)	1,76131012	

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Análisis de la varianza para índice de yodo de sachá inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	3892.5121	1	3892.5121	19.13554577	0.001	*
A	854.3929	1	854.3929	4.2001859	0.065	
B	1824.1441	1	1824.1441	8.967471908	0.012	*
A * B	103.530625	1	103.530625	0.50895539	0.490	
Error	2237.59665	11	203.4178773			
Total	8912.17638	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Prueba t para índice de yodo según especie

	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Media	215,71625	184,52125
Varianza	336,345684	380,749213
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	358,547448	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	3,29489567	
P(T<=t) una cola	0,002658 *	
Valor crítico de t (una cola)	1,76131012	

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Análisis de la varianza para índice de acidez de sachá inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	3.9204	1	3.9204	385.9006711	0.000	*
A	0.009025	1	0.009025	0.88836689	0.366	
B	0.0196	1	0.0196	1.929306488	0.192	
A * B	0.009025	1	0.009025	0.88836689	0.366	
Error	0.11175	11	0.010159091			
Total	4.0698	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49. Prueba t para índice acidez según especie

	<i>P. volubilis</i>	<i>P. huayllabambana</i>
Media	0,11	1,1
Varianza	0,00034286	0,021
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0,01067143	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-19,16699	
P(T<=t) una cola	0,0000 *	
Valor crítico de t (una cola)	1,76131012	

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Análisis de la varianza para porcentaje de impurezas

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	3.58155625	1	3.58155625	22.2636836	0.001	*
A	0.32775625	1	0.32775625	2.037399649	0.181	
B	0.16200625	1	0.16200625	1.007063868	0.337	
A * B	0.03515625	1	0.03515625	0.218538415	0.649	
Error	1.76956875	11	0.160869886			
Total	5.87604375	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Prueba t para porcentaje de impurezas según especies

	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Media	2,455	3,40125
Varianza	0,17094286	0,15684107
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0,16389196	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-4,6747357	
P(T<=t) una cola	0,00017895 *	
Valor crítico de t (una cola)	1,76131012	

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52. Análisis de la varianza para porcentaje de humedad del aceite de sachu inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación
Bloques	0.0784	1	0.0784	1.997452229	0.185
A	0.7225	1	0.7225	18.40764331	0.001 *
B	0.038025	1	0.038025	0.968789809	0.346
A * B	1E-04	1	1E-04	0.002547771	0.961
Error	0.43175	11	0.03925		
Total	1.270775	15			

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Análisis de la varianza para densidad del aceite

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor	Sig.
Efectos principales						
A: Especie	0,0000109518	1	0,0000109518	0,24	0,6334	
B: Temperatura	0,000923003	1	0,000923003	20,18	0,0007	*
C: Presión	0,000053451	1	0,000053451	1,17	0,3009	
RESIDUOS	0,000548771	12	0,0000457309			
TOTAL (CORREGIDO)	0,00153618	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54. Análisis de la varianza para viscosidad del aceite de sachu inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	823216518	1	823216518.1	155.9297408	0.000	*
A	147847361	1	147847360.6	28.00454085	0.000	*
B	7525.5625	1	7525.5625	0.001425456	0.971	
A * B	2554403.06	1	2554403.063	0.483842827	0.501	
Error	58073473.7	11	5279406.699			
Total	1031699281	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Prueba t para viscosidad a 19 °C según especie

	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Media	30123,125	44469,0
Varianza	17450306,7	12332945,1
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	14891625,9	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-7,4350857	
P(T<=t) una cola	0,0000 *	
Valor crítico de t (una cola)	1,76131012	

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56. Análisis de la varianza para punto de inflamabilidad de sachá inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	10.5625	1	10.5625	0.06740636	0.800	
A	14340.0625	1	14340.0625	91.51350665	0.000	*
B	3335.0625	1	3335.0625	21.283259	0.001	*
A * B	2232.5625	1	2232.5625	14.2474709	0.003	*
Error	1723.6875	11	156.6988636			
Total	21641.9375	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Análisis de la varianza para porcentaje de cenizas del aceite de sachá inchi

	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Significación	
Bloques	17.6610063	1	17.66100625	178.8919513	0.000	*
A	0.00525625	1	0.00525625	0.053241633	0.822	
B	0.00075625	1	0.00075625	0.007660211	0.932	
A * B	0.04515625	1	0.04515625	0.457396909	0.513	
Error	1.08596875	11	0.098724432			
Total	18.7981438	15				

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Prueba t para porcentaje de cenizas según especie

	<i>P. huayllabambana</i>	<i>P. volubilis</i>
Media	1,81625	3,9175
Varianza	0,11034107	0,05210714
Observaciones	8	8
Varianza agrupada	0,08122411	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	14	
Estadístico t	-14,745695	
P(T<=t) una cola	0,0000 *	
Valor crítico de t (una cola)	1,76131012	

* indica una diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

ANEXO-Método GC-FID. Metodología de análisis de ácidos grasos por cromatografía

Método cromatografía gaseosa (GC-FID) – Instituto Tecnológico Pesquero (ITP)

Determinación de ácidos grasos saturados, monoinsaturados, poliinsaturados y ácidos grasos trans.

El método está diseñado para evaluar el perfil de ácidos grasos en aceites y grasas vegetales y animales.

Fundamento

Los ácidos grasos metilados de las muestras son separados y cuantificados por cromatografía gaseosa con detector FID en columna capilar de fase reversa.

Terminología

Ácidos grasos trans: isómeros de configuración trans de todos aquellos ácidos grasos que contienen dobles enlaces.

Materiales y equipos

- Cromatógrafo de gases equipado con detector FID, muestreador automático e hidrógeno como gas carrier.
- Balanza de precisión 0.001 g
- Agitador mecánico de tubos
- Micropipetas de 1000 L
- Viales con tapa de 2 mL para autosampler
- Columna capilar DB-23 fase reversa, 60 m, 0.25 mm i.d., 0.25 μm de film.
- Tubo de vidrio tapa rosca de 10 mL

Reactivos

- Éter de petróleo
- Solución de hidróxido de potasio en metanol 2 M
- Estándar Supelco, mezcla de 37 ésteres metílicos de ácidos grasos.

Desarrollo del proceso

- ❖ Preparación de las muestras
 - Antes de tomar la muestra, mezclar completamente. Fundir las muestras sólidas para asegurar una buena homogeneización, a no más de 60 °C.
- ❖ Preparación de los ésteres metílicos:

- Pesar 250 mg de muestra en un tubo de vidrio con tapa rosca. Agregar 500 ml de hidróxido de potasio en metanol 2 M. Agregar 5 mL de éter de petróleo.
- Agitar 2 min en vortex, reposar 1 hora.
- Trasvasijar a los viales del muestreador automático.
- Inyectar.

Determinación

- Condiciones cromatográficas
- T° detector: 250 °C T° inyector: 250 °C
- Programa de temperatura del horno: 120 °C por 5 min, aumentar la temperatura a razón de 10 °C/min hasta 180 °C, mantener por 30 min. Aumentar nuevamente a razón de 10 °C/min hasta 210 °C y mantener por 21 min. (total 65 min). Flujo gas carrier: 15 psi
- Split: 1:100
- Volumen de inyección: 1 ml

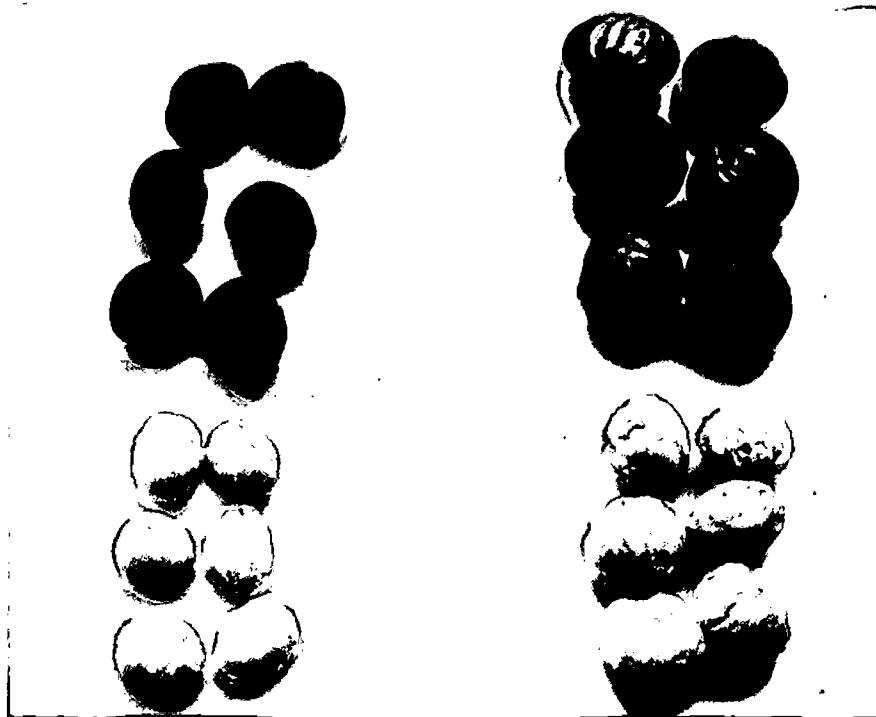
Expresión de resultados

Para cuantificar los trans, hacer zoom en la zona de los C18, entre los 26 a 38 min. Considerar una altura de 33.000 a 55.000 μ volt.

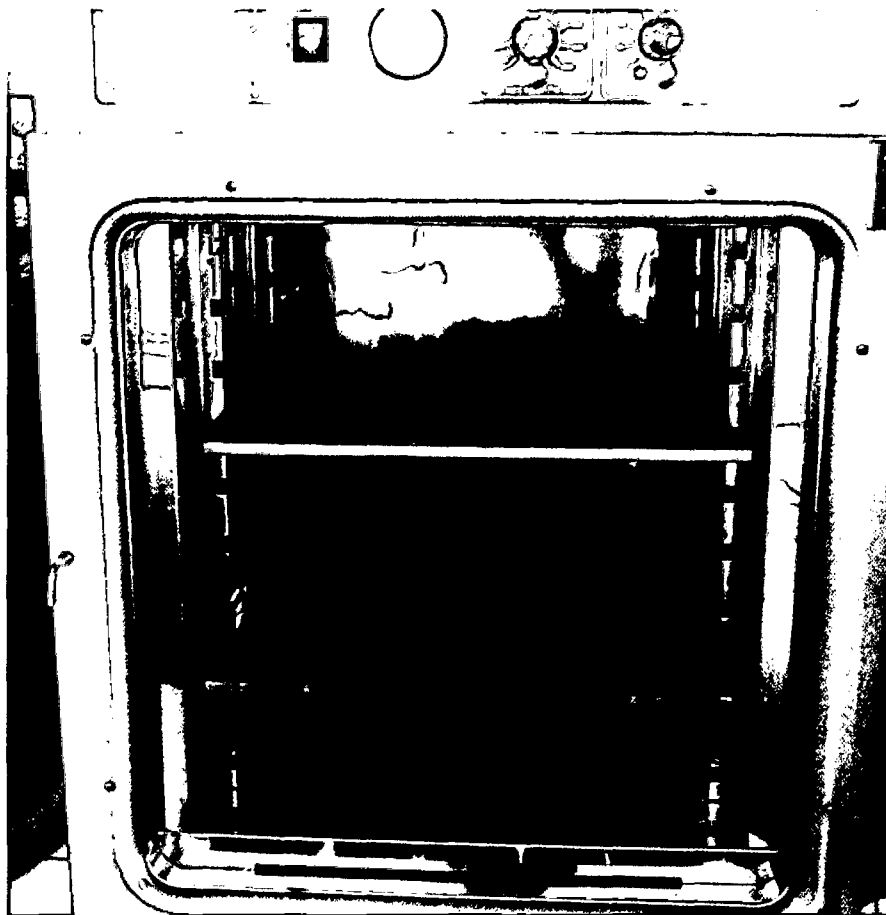
La fracción de masa relativa de cada ácido graso se calcula determinando el área corregida del peak correspondiente dividiéndola por la suma de las áreas de todos los peaks.

Aceites y grasas refinadas a alta temperatura: Calcular los isómeros trans como la suma de las fracciones de masa relativa de los ésteres metílicos de C18:1 trans, C18:2 trans y C18:3 trans, relativos a todos los ésteres metílicos de los ácidos grasos. El máximo de peaks posibles de encontrar son C18:1 trans (1 peak), C18:2 trans (2 peak) y C18:3 trans (4 peak). Se expresa con 2 decimales

Aceites y grasas parcialmente hidrogenadas: Calcular los isómeros trans como la suma de todas las fracciones de masa relativa de todos los ésteres metílicos de los ácidos grasos que contienen dobles enlaces con configuración trans, relativo a la suma de los ésteres metílicos de todos los ácidos grasos. Se expresan con 1 decimal.



Fotografía 1. *Plukenetia huayllabambana* (derecha) y *Plukenetia volubilis* (izquierda).



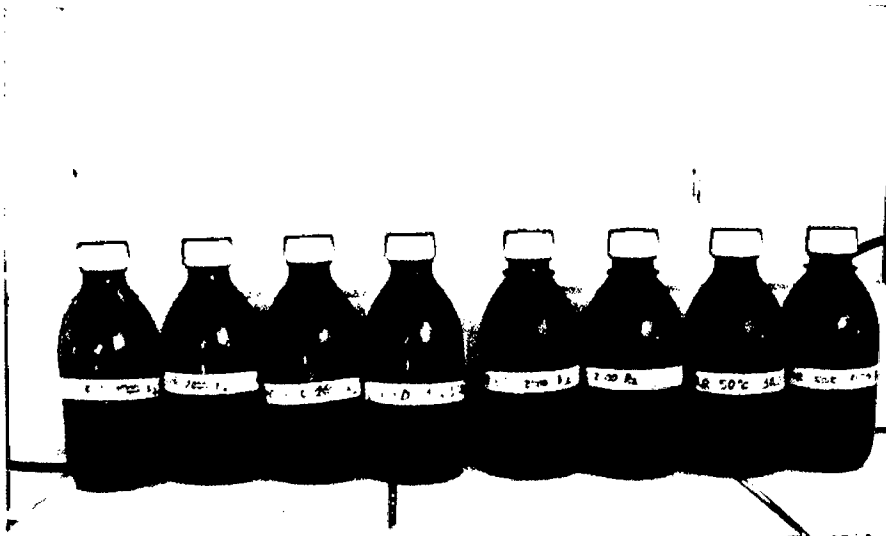
Fotografía 2. Secado de semilla de *Plukenetia huayllabambana* en estufa.



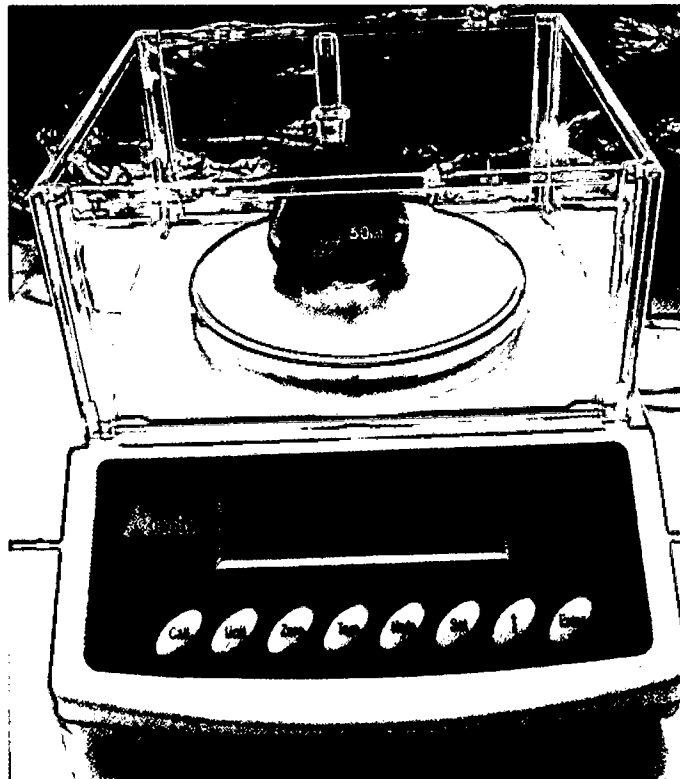
Fotografía 3. Semilla de *Plukenetia huayllabambana* en cilindro de acero inoxidable.



Fotografía 4. Aceite colectado en bandeja de acero inoxidable, cilindro de acero inoxidable con ranuras (al centro).



Fotografía 5. Envases ambar con muestras de aceite, rotuladas y tapadas.



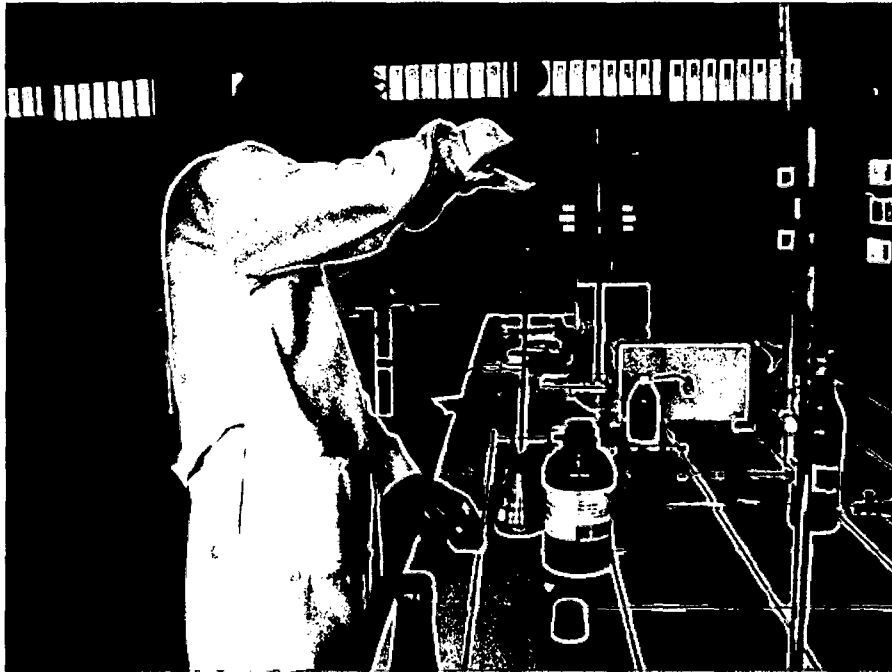
Fotografía 6. Pesado de picnómetro en balanza digital para determinar densidad.



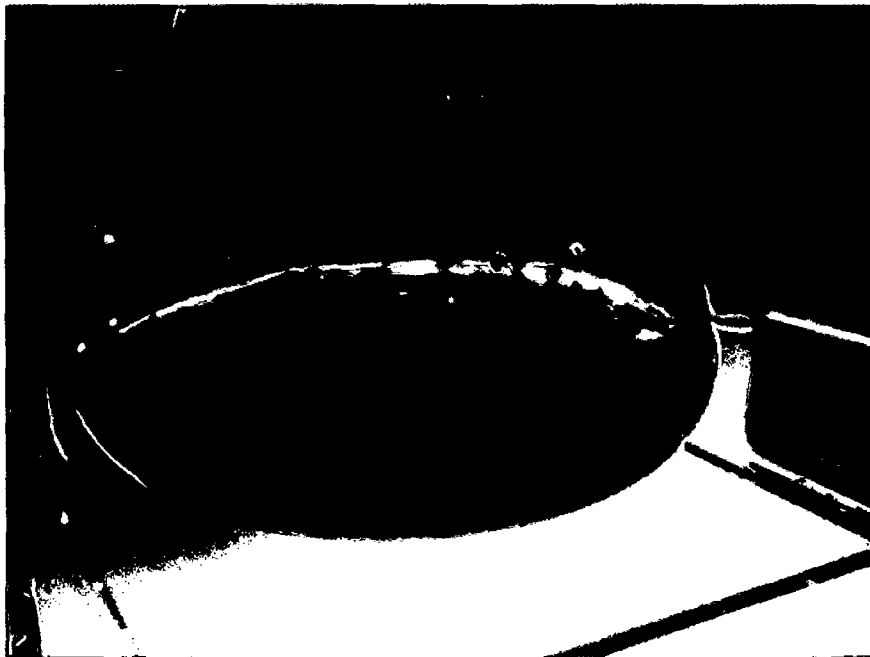
Fotografía 7. Análisis de índice de peróxido.



Fotografía 8. Análisis del índice de peróxido.



Fotografía 9. Análisis del índice de yodo.



Fotografía 10. Muestras en análisis del índice de yodo



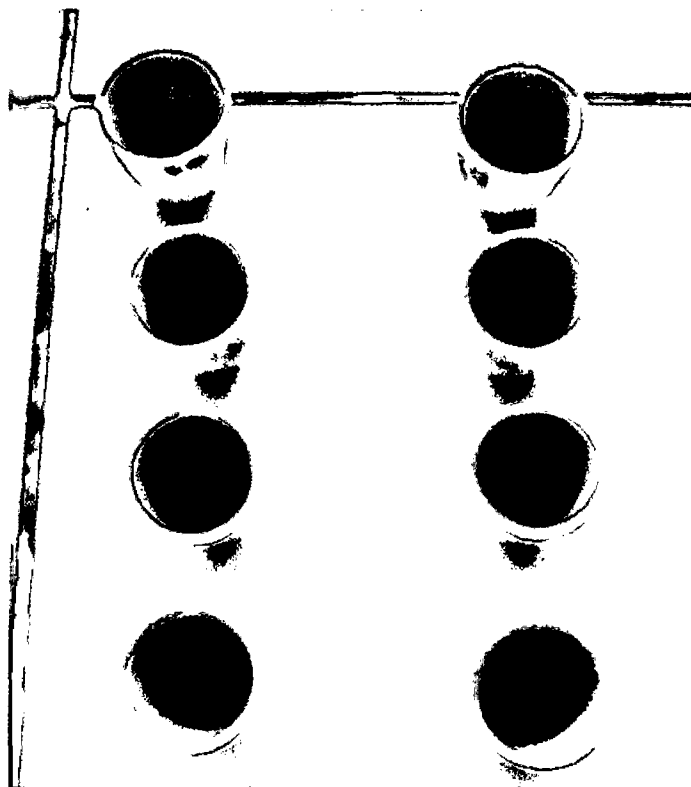
Fotografía 11. Titulación de etanol para determinar la acidez del aceite.



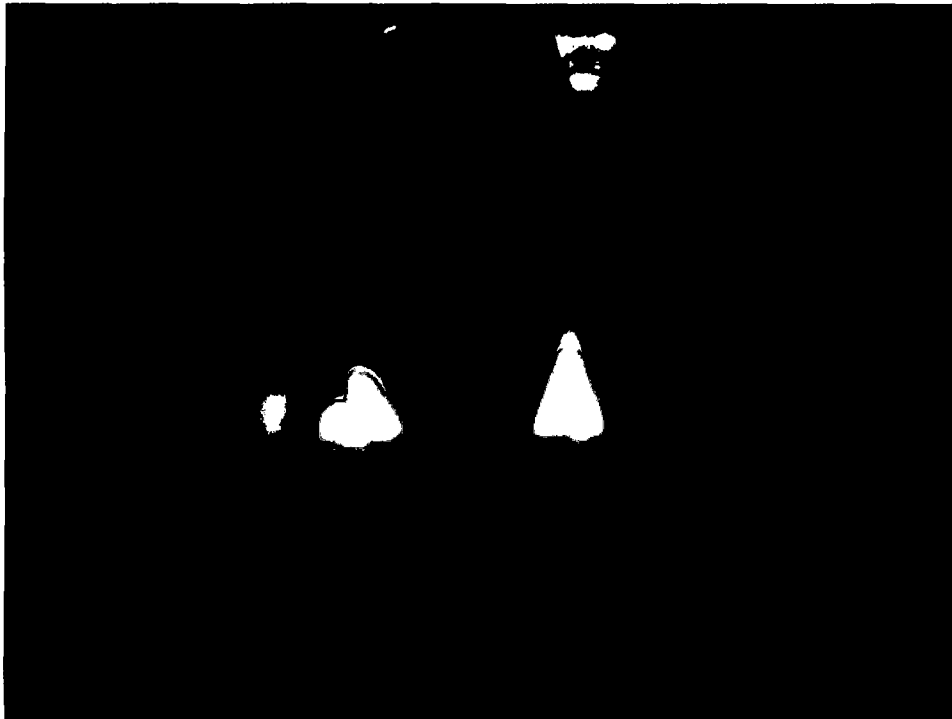
Fotografía 12. Muestras para el índice de acidez.



Fotografía 13. Análisis del porcentaje de impurezas.



Fotografía 14. Crisoles con aceite para determinar punto de humo e inflamabilidad.



Fotografía 15. Horno mufla determinado en el punto de inflamabilidad.



Fotografía 16. Horno mufla determinado en el porcentaje de cenizas.