

**OBTENCIÓN DE ACEITE DE LA NUEZ *Caryodendron orinocense*
ORIGINARIA DEL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ EN LA PLANTA
PILOTO DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**DIANA EVELIN CISNEROS TORRES
ANDREA DEL ROSARIO DIAZ HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA DE ALIMENTOS
BOGOTÁ D. C.**

2006

**OBTENCIÓN DE ACEITE DE LA NUEZ *Caryodendron orinocense*
ORIGINARIA DEL DEPARTAMENTO DEL CAQUETÁ EN LA PLANTA
PILOTO DE LA UNIVERSIDAD DE LA SALLE**

**DIANA EVELIN CISNEROS TORRES
ANDREA DEL ROSARIO DIAZ HERNANDEZ**

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniera de Alimentos

Directora

Maria Soledad Hernández

Bióloga

Instituto SINCHI

Codirectora

Lena Prieto

Ingeniera Química

Universidad De La Salle

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
BOGOTÁ D. C.**

2006

Nota de aceptación:

Firma de Jurado

Firma de Jurado

Octubre del 2006, Bogotá D. C.

DEDICO ESTE TRABAJO A:

Dios, por darme la vida, la salud y la oportunidad de dar un paso tan importante, como lo es ser un profesional. Gracias por permitirme cumplir objetivos y metas como esta. Gracias por ser mi amigo y guía en este largo trayecto que me espera; pero sobre todo gracias por darme una familia tan maravillosa como la que tengo, porque ella es el pilar que me da fuerzas para lograr propósitos tan importantes como este.

Mi madre, porque cada minuto que pasa en su vida es una dedicación y un sacrificio constante para poder dármele todo, sin que me falte nada. Gracias por brindarme mas que un amor de madre, amistad, apoyo y confianza, durante cada día de mi vida. Gracias por llenarme de expectativas y metas pero sobretodo por existir.

Mi padre, por el esfuerzo y apoyo que me brindo en estos últimos años, haciendo posible la culminación de mi carrera.

Mi abuelita, porque aunque ya no se encuentre con nosotros, siempre fue un ser maravilloso que me ofreció su amor incondicional de madre, su confianza, su apoyo, su ternura, pero sobretodo me enseñó que uno solo logra sus deseos y propósitos mas profundos con constancia, dedicación, pero sobretodo con fe y perseverancia. Gracias por haberme acompañado durante 24 años de mi vida, y enseñarme a querer lo que hago como lo es mi profesión.

DIANA EVELIN

DEDICO ESTE TRABAJO A:

A Dios por darme la oportunidad de vivir para cumplir todas mis metas perspectivas, a el por brindarme una familia tan linda como la que tengo ya que ella es la fuerza que me da para continuar adelante.

A mi madre por brindarme su apoyo incondicional en todos los buenos y malos momentos, por darme la vida y ser mi mejor amiga y confidente. Gracias por darme su confianza, apoyo y sobretodo amor para salir adelante.

A mi padre por su apoyo incondicional para que cada día las cosas sean mejor y pueda culminar mis estudios académicos.

A mis hermanos Luis Eduardo y Andrés Ernesto, por su confianza en mi y el apoyo incondicional de cada día de mi vida.

A mi abuelo que fue el pilar de mi vida y mi carrera, que desde el cielo se ha convertido en mi ángel de la guarda y sus enseñanzas han sido la fuerza para continuar, brindando me un gran apoyo para culminar otra etapa de mi vida.

*A mi esposo por ser una persona tolerante, comprensiva y brindarme un apoyo incondicional, por su gran amor y respeto,
Gracias.*

A mi hija Laura Valentina que es mi vida y mi esperanza. Gracias por su apoyo y comprensión y por ella he llegado a culminar mi carrera para brindarle un futuro mejor.

ANDREA DEL ROSARIO

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan su agradecimiento a:

MARIA SOLEDAD HERNÁNDEZ, Bióloga, Directora de investigación del Instituto SINCHI, Directora del trabajo de grado, por su apoyo y confianza para realizar este trabajo.

LENA PRIETO, Ingeniera Química, Codirectora del trabajo de grado, por su valiosa colaboración y orientación en este trabajo.

LUZ MIRYAM MONCADA, Química, Docente de la Universidad De La Salle, por su valioso conocimiento transmitido durante la realización de este trabajo de grado.

JUAN CARLOS POVEDA, Químico y Biólogo, Auxiliar de Laboratorio de Química de la Universidad De La Salle, por su paciencia, compañía, asesoría y colaboración en cuanto a las pruebas, materiales, reactivos y equipos de laboratorio.

LUIS MIGUEL TRIVIÑO, Tecnólogo en Alimentos, Técnico de Planta Piloto de Frutas y Cereales de la Universidad De La Salle, por su compañía y colaboración para realizar las pruebas y facilitar los equipos e instalaciones.

ALVARO MENDOZA, Ingeniero Mecánico, Director del Laboratorio de Diseño, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional, por su colaboración para la realización de las pruebas de extracción de aceite por prensado.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma mostraron su colaboración y apoyo, para que la realización de este trabajo de Grado fuera posible.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	19
1. MARCO DE REFERENCIA	20
1.1 CENTRO DE INVESTIGACION SINCHI	20
1.2 ESPECIE <i>Caryodendron orinocense</i>	22
1.2.1 Origen y distribución geográfica	22
1.2.2 Características de la especie	23
1.2.3 Composición de la almendra	24
1.2.4 Composición del aceite	25
1.3 ACEITES VEGETALES	28
1.3.1 Fuentes de Obtención	30
1.3.2 Procesos de obtención	31
2. METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACIÓN	44
2.1 ANALISIS PROXIMAL DE LA ALMENDRA	44
2.1.1 Características geométricas y organolépticas	44
2.1.2 Características fisicoquímicas	45
2.2 PREEXPERIMENTACION A NIVEL DE LABORATORIO	45
2.2.1 Obtención por Solvente	45
2.2.2 Obtención mecánica	48

2.3	EXPERIMENTACION A NIVEL DE PLANTA PILOTO	49
2.3.1	Obtención por solvente (Hexano)	50
2.3.2	Obtención Mecánica (Prensa)	53
2.4	TRATAMIENTOS FINALES DEL ACEITE OBTENIDO	56
2.4.1	Por solvente	56
2.4.2	Mecánico	57
2.5	CALIDAD DEL ACEITE OBTENIDO	57
2.5.1	Análisis fisicoquímico	57
2.5.2	Perfil de ácidos grasos	57
2.6	ANÁLISIS PROXIMAL DE LA TORTA OBTENIDA	59
2.6.1	Por solvente	59
2.6.2	Mecánico	59
3.	ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN	60
3.1	ANALISIS PROXIMAL	60
3.1.1	Almendra	61
3.1.2	Torta	65
3.2	PREEXPERIMENTACIÓN	68
3.2.1	Aceite obtenido por solvente	68
3.2.2	Aceite obtenido mecánicamente	72
3.3	EXPERIMENTACIÓN	77
3.3.1	Aceite obtenido por solvente	77
3.3.2	Aceite Obtenido mecánicamente	80
3.4	TRATAMIENTOS FINALES	83
3.4.1	Aceite obtenido por solvente	84

3.4.2	Aceite obtenido mecánicamente	84
3.5	ANALISIS DE CALIDAD	85
3.5.1	Aceite obtenido por solvente	85
3.5.2	Aceite obtenido mecánicamente	87
3.5.3	Perfil de ácidos grasos	90
4.	PROPUESTA DEL PROCESO DE OBTENCION DE ACEITE DE LA NUEZ INCHI A NIVEL DE PLANTA PILOTO	93
4.1	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN	93
4.1.1	Proceso de extracción por solvente	93
4.1.2	Proceso de extracción mecánico	97
4.2	PROCESO A NIVEL DE PLANTA PILOTO	101
4.2.1	Descripción del proceso	102
4.2.2	Balance de materia	107
4.3	RECOMENDACIONES PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN	109
	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES	112
	BIBLIOGRAFÍA	113
	ANEXOS	116

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Cálculos del diseño experimental aleatorizado por bloques para aceite Inchi extraído por solventes	117
ANEXO B. Cálculos del diseño experimental aleatorizado por bloques para aceite Inchi extraído mecánicamente (prensa)	119
ANEXO C. resultados obtenidos en los procesos efectuados para la extracción de aceite inchi por solvente (hexano)	121
ANEXO D. Resultados obtenidos en los procesos efectuados para la extracción de aceite linchi mecánicamente	128
ANEXO E. Balances de materia y energía de la obtención de aceite por solvente	134
ANEXO F. Balances de materia y energía de la obtención mecánica de aceite	144
ANEXO G. Balances de materia de la obtención de aceite por solvente a nivel de planta piloto	150
ANEXO H. Base de cálculos y resultados del análisis proximal de la almendra y torta residual	156
ANEXO I. Base de cálculos y resultados del análisis de calidad del aceite Inchi	168

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Contenido de minerales presentes en la semilla y torta de <i>Caryodendron orinocense</i>	25
Tabla 2. Valor nutritivo de la semilla y torta de <i>Caryodendron orinocense</i>	25
Tabla 3. Composición de ácidos grasos de <i>Caryodendron orinocense</i>	26
Tabla 4. Composición de aminoácidos esenciales y no esenciales presentes en el <i>Caryodendron orinocense</i>	27
Tabla 5. Composición de aceites, proteínas y ácidos grasos de <i>Caryodendron orinocense</i> y otras oleaginosas	27
Tabla 6. Porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados de <i>Caryodendron orinocense</i> y otras oleaginosas	28
Tabla 7. Calidad del aceite de <i>Caryodendron orinocense</i> comparado <i>Elaeis guineensis</i>	28
Tabla 8. Características del hexano comercial	34
Tabla 9. Pruebas fisicoquímicas aplicadas a la almendra y torta residual Inchi	46
Tabla 10. Análisis de calidad del aceite Inchi obtenido por prensado y por solvente	58
Tabla 11. Características generales del fruto	61

Tabla 12. Dimensiones del fruto	62
Tabla 13. Peso de la almendra	62
Tabla 14. Composición de la almendra en porcentaje	63
Tabla 15. Composición de la torta residual obtenida por solvente en porcentaje	66
Tabla 16. Composición de la torta residual obtenida mecánicamente en porcentaje	67
Tabla 17. Cantidad de aceite extraído por solvente	69
Tabla 18. Diseño experimental aleatorizado completamente por bloques	71
Tabla 19. Análisis de varianza del método de extracción por solvente	72
Tabla 20. Cantidad de aceite extraído por prensado	74
Tabla 21. Diseño experimental aleatorizado completamente por bloques	75
Tabla 22. Análisis de varianza del método de extracción mecánico	76
Tabla 23. Cantidad de aceite Inchi extraído por solvente	79
Tabla 24. Cantidad de aceite Inchi extraído por prensado	83
Tabla 25. Aceite desgomado y neutralizado obtenido por solvente	84
Tabla 26. Aceite desgomado y neutralizado obtenido mecánicamente	85
Tabla 27. Análisis de calidad para el aceite Inchi obtenido por solventes	86
Tabla 28. Análisis de calidad para el aceite Inchi obtenido mecánicamente	88

Tabla 29. Perfil de ácidos grasos del aceite Inchi extraído por solvente	90
Tabla 30. Porcentajes de ácidos grasos en el aceite Inchi	91
Tabla 31. Porcentajes de ácidos grasos en diferentes tipos de aceites	91
Tabla 32. Balance de materia del proceso de extracción por solvente (lote 1)	95
Tabla 33. Balance de materia del proceso de extracción por solvente (lote 3)	96
Tabla 34. Balance de energía del proceso de extracción por solvente	97
Tabla 35. Balance de materia del proceso de extracción mecánico (lote 1)	99
Tabla 36. Balance de materia del proceso de extracción mecánico (lote 3)	100
Tabla 37. Balance de energía del proceso de extracción mecánico	101
Tabla 38. Condiciones de producción	102
Tabla 39. Balance de materia del proceso de extracción por solvente	108

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Árbol Inchi	23
Figura 2. Montaje equipo de destilación fraccionada	48
Figura 3. Almendras dañadas	51
Figura 4. Autoclave	51
Figura 5. Laminadora	52
Figura 6. Tanque de extracción	52
Figura 7. Torre de destilación	53
Figura 8. Tubo extractor adaptado a la prensa hidráulica	55
Figura 9. Prensa hidráulica con tubo extractor	55
Figura 10. Almendra molida	61
Figura 11. Torta residual del proceso de extracción por solvente	65
Figura 12. Aceite Inchi obtenido por solventes (vista frontal)	77
Figura 13. Aceite Inchi obtenido por solventes (vista superior)	78
Figura 14. Aceite Inchi obtenido por prensado (vista frontal)	80
Figura 15. Aceite Inchi obtenido por prensado (vista superior)	81
Figura 16. Aceite Inchi desgomado y neutralizado	83

Figura 17. Perfil de ácidos grasos de aceite Inchi extraído por solventes	90
Figura 18. Diagrama de bloques de obtención de aceite por solvente	94
Figura 19. Diagrama de bloques de obtención mecánica de aceite	98
Figura 20. Diagrama de bloques de obtención de aceite por solvente a nivel de planta piloto	103
Figura 21. Descascarador	105
Figura 22. Molino	106

INTRODUCCIÓN

En Colombia gracias a su ubicación existen gran variedad de alimentos, sobretodo en el sector frutícola. El Piedemonte amazónico, mas específicamente, el Departamento del Caquetá, ha sido definida como una de las regiones de gran importancia nacional por su gran biodiversidad, encontrándose especies muy promisorias y poco conocidas, ricas en cuanto a su contenido nutricional. Dentro de estos grupos se pueden mencionar las nueces comestibles, fuente de alimentación y de gran potencial para la industria alimentaria, ya que producen frutos ricos en aceite y almidón. Una especie relacionada es *Caryodendron orinocense* comúnmente llamada Inchi, la cual tiene usos diversos, de una rica composición y alto contenido de aceite comestible, encontrándose alrededor del 60 % y en su torta residual se puede estimar su alto contenido de proteína; siendo esta nuez nuestro objetivo de trabajo de grado.

El aceite Inchi es un subproducto extraído de la nuez de forma mecánica, por solventes o mixta; sirviendo para consumo humano por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (como el linoleico, ya que el este ácido es esencial para el organismo humano) y superando en convivencia para la dieta humana, a las demás oleaginosas.

Los métodos de extracción para obtener aceite Inchi fueron: por solventes, utilizando como reactivo el hexano (por su alta recuperación) en una relación 1:9 (1 Kilogramo de almendra por 9 Litros de solvente) y mecánica, utilizando una prensa hidráulica. Estos métodos se eligieron, ya que son los más utilizados en la industria de aceites.

Como primer paso para el desarrollo de este trabajo de grado, fue necesario realizar un análisis proximal de la materia prima en este caso la almendra, para conocer su composición tanto física como química, ya que los datos sobre esta nuez eran escasos. Fue importante determinar propiedades como humedad, cenizas, proteína, azúcares, acidez y grasa.

Para la obtención de aceite Inchi se desarrolló un diseño experimental de acuerdo a los métodos de extracción (solventes y mecánica), para así determinar que cantidades y variables iban a intervenir en los procesos. Ya conociendo las condiciones de la materia prima (almendra) y las variables de los métodos de extracción, se obtuvo el aceite Inchi a nivel de planta piloto en la Universidad De La Salle, aplicando los procesos de molienda, inyección de vapor, laminación y destilación (en la extracción por solventes) y molienda e inyección de vapor (en la extracción mecánica) y como tratamientos finales, filtración, neutralización y desgomado, a una cantidad de 1.5 Kilogramos. La cantidad de materia no pudo ser mayor debido a que la proporción del reactivo era mucho mas, teniendo costos muy altos.

Para la realización de la investigación se evaluaron diferentes proporciones entre la nuez y el solvente, y variables como: Φ de partícula, presión, tiempo, temperatura; para así obtener un aceite con características optimas, realizando luego análisis fisicoquímicos y de calidad entre los cuales se encuentran Índice de saponificación, Índice de yodo, Índice de peróxidos, Índice de acidez, perfil lipidico, entre otros; de manera que cumpliera los rangos establecidos por la Norma Técnica Colombiana vigente para aceites y grasa comestibles.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la experimentación se proponen posibles industrializaciones mediante balances de materia y energía, especificando los equipos utilizados.

Es muy importante destacar que el criterio y finalidad manejada para el desarrollo de esta investigación fue el rendimiento del aceite sin alterar sus características de calidad.

Esta investigación pretendió brindar un proceso de obtención de aceite Inchi, de fácil manejo, con buenos rendimientos, mostrando en sus resultados que este aceite es un producto con grandes potenciales a nivel industrial, lo cual equivale a decir que merece un fomento en cuanto al cultivo de su fuente la nuez *Caryodendron orinocense*.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

➤ Extraer y caracterizar aceite de la nuez *Caryodendron orinocense* colectada en el Departamento del Caquetá mediante dos métodos mecánico y por solvente, en la Planta Piloto de la Universidad De La Salle.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Desarrollar un análisis proximal de la nuez *Caryodendron orinocense*.
- Establecer las condiciones apropiadas para la extracción de aceite de la nuez Inchi para los métodos mecánico y solvente.
- Determinar el método de extracción más eficiente para obtener el aceite de la nuez Inchi.
- Realizar un análisis químico del aceite extraído a partir de la nuez de Inchi mediante pruebas fisicoquímicas.
- Evaluar el rendimiento del aceite extraído de la nuez de Inchi mediante balances de materia y energía.
- Recomendar los equipos necesarios para el método de extracción más eficiente del aceite obtenido a nivel de planta piloto.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1 CENTRO DE INVESTIGACION SINCHI

Reconocer el valor de los bosques es esencialmente una cuestión política, puesto que las investigaciones han demostrado que los productos extraídos o el manejo forestal científico resultan de mayor valor a largo plazo que cualquiera de las alternativas practicadas actualmente en la Amazonia ecológica.

Pero lo más importante es que no existen alternativas comprobadas que puedan ganar el apoyo de los gobiernos y de los habitantes. Por esta razón, las instituciones científicas de la Amazonia como el SINCHI y sus colaboradores en otras regiones han desarrollado programas de enfoques simultáneos para identificar la Biodiversidad y el patrimonio cultural existente en esta región.

El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI es una institución del orden nacional, dedicada a la investigación científica en temas ambientales de la Amazonia Colombiana.¹

Esta vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, ejerce funciones de autoridad científica a través del desarrollo y ejecución de proyectos de investigación, que involucran aspectos de la biodiversidad, alternativas productivas para el mejoramiento de la calidad de vida, estudios sobre los procesos y dinámicas de ocupación , y genera información

¹ SINCHI. Colecta, caracterización y utilización de nueces promisorias pertenecientes al Genero *Couepia* spp. Bogotá, D.C, 2000.

referenciada de la región. Así mismo, es la Unidad Técnica Colombiana para los Planes Binacionales, labor que desarrolla en coordinación con el Ministerio De Relaciones Exteriores y la Agencia de Cooperación Técnica Internacional, ACCI.

El herbario COAH del instituto Sinchi, tiene registro de 6624 especies de flora pertenecientes a 1466 géneros y 277 familias. Las zonas que tienen mayor representación son el medio Caquetá, trapecio amazónico, región del Guayaré, suroriente del Vaúpes y la zona de transición Orinoquia-Amazonia.

Desde 1991 el SINCHI viene adelantando trabajos con especies promisorias con un enfoque metodológico que parte de la caracterización de los distintos materiales, desarrollo reproductivo, conservación, potencialización para la transformación y estrategias de comercialización. Estos trabajos le han permitido caracterizar los atributos de uso y manejo de especies como chontaduro (*Bactris gasipaes*), araza (*Eugenia stipitata*), copoazu (*Theobroma grandiflorum*), maraco (*T.bicolor*), cocona (*Solanum sessilliflorum*), borujo (*Borojoa patinoi*), piña nativa (*Anana cómo sus*), carambolo (*Aberroha carambola*) y canangucha (*Mauritia flexuosa*) e Inchi (*Caryodendron orinocense*).² Este trabajo se ha desarrollado, en su mayor parte, en el departamento del Caquetá y en la actualidad ya ha proporcionado las tecnologías para manejo poscosecha y transformación de siete especies promisorias. Este proceso también ha permitido consolidar un laboratorio local con capacidad para caracterización fisicoquímica y proximal de alimentos de gran utilidad para el desarrollo del actual proyecto.

De este grupo *M flexuosa* y *C orinocense* han sido estudiados dentro del grupo de especies con potencial en la industria de alimentos (aceites y nueces) grupo dentro del cual se incluyen otras nueces amazónicas como la

² Op. et..

Couepia. El herbario amazónico colombiano COAH, registra 16 especies del género presentes en diversas regiones de la amazonia y se ha reportado también en el Piedemonte Caqueteño. En estos tipos de bosques los árboles se distribuyen en varios estratos, presentando cierta similitud en fisonomía y composición florística al bosque de lomerío amazónico.

El Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, dispone actualmente de colecciones en diferentes bancos de germoplasma cuyo objetivo es el de evaluar y caracterizar las colecciones activas y continuar los procesos de dispersión, conservación exsitu e insitu de las diversas colecciones. Sobresalen los procesos de caracterización genética desarrollados para el genero *Capsicum*, *araza*, *copoazu*, *anon*, *chontaduro*, *borojo*, *caucho*, *algunos maderables potenciales e Inchi (Caryodendron orinocense)*.³

1.2 ESPECIE *Caryodendron orinocense*

1.2.1 Origen y distribución geográfica. Es una especie autóctona de la Orinoquia y la Amazonia Suramericana, se encuentra distribuida en el Brasil, Colombia, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela, constituido por cuatro especies que tienen como hábitat natural el bosque húmedo tropical y el bosque muy húmedo tropical; con temperaturas que oscilan entre los 24 °C o mas con promedios anuales de lluvia entre los 2000 mm y 4000 mm, donde se presentan temporadas secas que pueden alcanzar mas de 4 meses, distribuidos altitudinalmente entre 0 a 2300 m.s.n.m. la variación intragenérica con respecto a la morfología y la bioquímica es enorme. Las especies de *Caryodendron* presentan propiedades notorias como plantas oleaginosas y medicinales.

³ Op. et.

Su área de distribución en Colombia al oriente, es desde la Cordillera al sur de Villavicencio hacia los Llanos y la Amazonia, limitándose a las vegas de los ríos, especialmente el Ariari, Guaviare, Meta y Vaupes; mas al sur baja desde la Cordillera hacia el suroriente por el río Caquetá y sus afluentes hasta dentro del departamento del Amazonas.⁴

1.2.2 Características de la especie. *Caryodendron orinocense* pertenece a la familia EUPHORBIACEAE; es conocida vulgarmente como Castanha do porco (Brasil); Abay, Almendro, Almendro del Porce, Cacay, Castaño, Cumana, Hambí, Inche, Inchi, Iracana, Kahai, Kakari, Kasepache, Ninacuru inchi, Tacay, Taque, Taqui (Colombia).



Figura 1. Árbol Inchi

Su árbol es dioico; vástagos con pelos simples. Hojas alternas, estipuladas, lamina venada pinadamente, usualmente con glándulas situadas basalmente. Árbol vistoso de 60 pedales (60 pies), copa frondosa, cónica; tronco alto; corteza lisa, amarillenta, madera dura; jugo acuoso. Inflorescencia unisexual;

⁴ MANRIQUE, et al. Aprovechamiento integral del Inchi. COLCIENCIAS UNIVALLE. 1981. p, 6.

flores masculinas entirosos, flores femeninas en racimos, bracteas glanduladas. Fruto capsular, el carpelo de paredes gruesas suaves; semillas ovoides a glabosas, largo (mas de 1 cm. de longitud), endospermo presente, los cotiledones amplios y planos.⁵

TAXONOMÍA. **División:** Embriofitas sifonogamas; **subdivisión:** Angiospermas; **clase:** Dicotiledónea; **subclase:** Arquideamideas; **orden:** Euphorbiales; **familia:** Euphorbiacea; **genero:** *Caryodendron*; **sinónimo:** Dioicia Tetrandia Linneo; **especie:** *Caryodendron orinocense karsten*

1.2.3 Composición de la Almendra. *Caryodendron orinocense* Inchi, es una de las nueces tropicales mas agradables. Considerada superior al Castaña del Amazonas juvia del Orinoco; su cosecha es muy abundante y la propagación vegetativa permitirá sembrar plantaciones comerciales.

El fruto tiene un epispermo coriáceo y el endospermo carnoso, es comestible y muy semejante a la nuez europea, la cual tiene de 70 a 80% de finísimo aceite que reemplaza al de oliva y otros. El árbol adulto produce en promedio 150 a 200 kg, ósea, mas o menos 3 toneladas promedio al año; la semilla contiene 55% de aceite (superando al de soya), 15% de proteínas, 30% de carbohidratos y es uno de los alimentos vegetales mejor balanceados de la selva húmeda, con un buen contenido de minerales y alto valor nutricional como se presenta en las tablas 1 y 2. Teniendo en cuenta su alto contenido de aceite, podría constituir una de las industrias de aceite de mayor economía y porvenir. El fruto Inchi es una cápsula formada por tres almendras o nueces, tres testas y un endocarpio leñoso, presenta forma ovalada la cual tiene un peso aproximado de 18.09 g con un tamaño de 3.47 cm de ancho y 4.06 cm de largo de su fruto entero; su almendra pesa aproximadamente 2.74 g con un ancho de 1.68 cm y un largo 2.72 cm.⁶

⁵ Op. et., p. 8.

⁶ Op. et., p. 9.

TABLA 1. Contenido de minerales presentes en la semilla y torta de *Caryodendron orinocense*⁷

ELEMENTO	SEMILLA 100g	TORTA 100g	NECESIDAD Persona/día
Fósforo	366 mg	746 mg	800 mg
Magnesio	174 mg	359.64 mg	---
Hierro	19.2 mg	39.60 mg	15 mg
Calcio	330 mg	680 mg	800 mg

Fuente: MARTINEZ, 1980: 22

TABLA 2. Valor nutritivo de la semilla y torta de *Caryodendron orinocense*⁸

COMPONENTE	SEMILLA		TORTA	
	%	CALORIAS	%	CALORIAS
Aceite	54.3	488.70	---	---
Proteínas	19.7	78.80	43-46	172.00
Azúcares reductores	9.77	3.08	1.68	6.72
Almidón	17.70	7.80	38.60	154.40
Fibra	2.80	---	6.10	---
Cenizas	3.05	---	6.68	---
Otros	1.70	---	3.70	---

Fuente: MARTINEZ, 1980: 22

1.2.4 Composición del aceite. Como todos los aceites de origen vegetal, el aceite de Inchi es una mezcla de esteres de ácidos grasos de glicerol, algunos de los cuales son muy característicos del fruto o semilla del cual fue extraído.

⁷ MARTINEZ, J.B. El "Inchi" (*Caryodendron orinocense* Karst.) En El Agro. Quito, Ecuador. 1980, p. 22.

⁸ Op. et., p. 22.

En el estado crudo, estos aceites contienen, una serie de constituyentes indeseados, que aunque estén en poca proporción deben ser removidos en la mayoría de los casos. Entre ellos se pueden mencionar las gomas, los fosfolípidos, los ácidos grasos libres, pigmentos y otros.

La totalidad de aceite de Inchi es extraído de la almendra o endospermo del fruto del árbol del Inchi, que corresponde aproximadamente del 45-60%.

El aceite de la nuez Inchi tiene una composición mas alta en cuanto a ácidos grasos insaturados que saturados, como se muestra en las tablas 3 y 4; también se hace una comparación con otros aceites, como el de palma presentado en las tablas 5 y 6.

TABLA 3. Composición de ácidos grasos de *Caryodendron orinocense*⁹

COMPOSICION	MUESTRA %
Ácidos saturados	17.75
Ácido oleico	35.35
Ácido linoleico	34.35
Ácido linolenico	12.55

Fuente: SEELKOPD, 1959: 61

⁹ SEELKOPF, F. C. *Caryodendron orinocense* Karsten, a lesser known oil-producing plant of the tropics. Z. Lebenm. Utersuch U. Forsch. 1960, p.61.

TABLA 4. Composición de aminoácidos esenciales y no esenciales presentes en el *Caryodendron orinocense*¹⁰

AMINOACIDOS ESENCIALES	INCHI %	REQUERIMIENTO g/día	AMINOACIDOS NO ESENCIALES	INCHI %
Arginina	4.19	---	A. aspartico	3.92
Histidina	0.83	---	Serina	1.95
Isoleucina	1.25	0.70	A. glutámico	6.25
Fenilalanina	1.46	1.10	Prolina	2.10
Leucina	2.29	1.10	Glicina	1.60
Lisina	1.05	0.80	Alanina	1.65
Valina	1.49	0.80	Tirosina	1.21
Treonina	1.38	0.50	Cistina	0.74
Metionina + cistina	0.64	1.10		

Fuente: MARTINEZ 1980:21

TABLA 5. Composición de aceites, proteínas y ácidos grasos de *Caryodendron orinocense* y otras oleaginosas¹¹

COMPOSICION	INCHI %	P. AFRICANA %
Aceite (semilla)	41-59	37-48
Proteína (semilla)	19.7	---
Proteína (torta)	43-46	17.0
Ácido oleico	14.2	40-53
Ácido Linoleico	72.7	2-11
Ácido linolenico	2.5	---
Ácido esteárico	4.0	1.0
Ácido mirístico	---	2.5
Ácido Palmítico	7-8	32-47
Ácido Araquidónico	---	---

Fuente: MARTINEZ 1979: 18

¹⁰ MARTINEZ, S.J.B. El Inchi en oleaginosa nativa de América tropical. Pasto. 1970, p. 21.

¹¹ Ibid., p. 18.

TABLA 6. Porcentaje de ácidos grasos saturados e insaturados de *Caryodendron orinocense* y otras oleaginosas¹²

ACEITE	SATURADOS %	MONOINSATURADOS %	POLIINSATURADOS %
Inchi	11.6	14.0	75.0
Palma africana	48.0	44.0	8.0
Oliva	15.5	75.0	9.5

Fuente: MARTINEZ 1979: 18

TABLA 7. Calidad del aceite de *Caryodendron orinocense* comparado *Elaeis guineensis*¹³

CALIDAD	<i>C. orinocense</i>	<i>E. guineensis</i>
Índice de acidez	29.8-63.0	---
Índice de refracción	1.4700-1.4744	1.4531-1.4580
Índice de saponificación	155.5-194.1	195-205
Índice de Yodo	125.9-141	44-58
Peso específico	0.921-0.922	---
Densidad 20°C	0.9140-0.921	0.900 a 40°C

Fuente: BORDA & PEREZ, 1977: 19; ZAPATA & HERNANDEZ, 1978:7

1.3 ACEITES VEGETALES

Los aceites han sido reconocidos como nutrientes esenciales tanto en la dieta animal como en la humana. Constituyen la fuente de energía mas concentrada conocida, se encuentra alrededor de 9Kcal/g, aportan ácidos grasos esenciales, transportan vitaminas liposolubles y hacen a los alimentos mas apetitosos.

¹² Ibid., p. 18.

¹³ ZAPATA, et al. Extracción hidráulica de aceite a partir del Inchi. Tesis de grado. Universidad del Valle. Cali, 1978, p. 23.

Es importante reconocer y saber que los aceites, son sustancias neutras, solubles en éter y otros disolventes orgánicos, excepto el agua; conteniendo un gran valor nutricional; pero su composición compleja hace que su tratamiento y posterior proceso sea de gran cuidado y minucioso estudio.

Generalmente cuando estas sustancias se encuentran en estado líquido se les denominan aceites, los cuales están compuestos principalmente por triglicéridos, tres moléculas de ácidos grasos unidos a una molécula de glicerol. Son menos densos que el agua y a temperatura ambiente varían de consistencia de líquidos a sólidos.

El largo de la cadena de los ácidos grasos y su organización en la estructura del glicerol varía ampliamente, aunque la mayoría de los aceites comestibles son aquellos que tienen 16 a 18 carbonos. Los ácidos grasos que forman los triglicéridos varían de un aceite a otro.

Los triglicéridos representan normalmente más del 95% en peso de la mayoría de las grasas y aceites alimentarios. Entre los constituyentes minoritarios se encuentran monoglicéridos y diglicéridos, ácidos grasos libres, fosfátidos, esteroides, alcoholes grasos tocoferoles, vitaminas liposolubles, carotenoides y clorofila, entre otras sustancias.¹⁴

En los aceites vegetales los niveles de ácidos grasos varían, de acuerdo a las condiciones que se presenten durante la etapa de crecimiento de la oleaginosa. Los aceites son una combinación de ácidos grasos, los cuales químicamente sus átomos de carbono menos el terminal están unidos a dos átomos de hidrogeno, es decir están saturados de hidrogeno; (C14:0,16:0) y no saturados, dentro de los cuales se encuentran los monoinsaturados y poliinsaturados (C18:1,18:2,18:3).

¹⁴ ZILLER, Steve. Grasas y Aceites Alimentarios. Zaragoza, España: Acribia S. A. 1994, p. 8.

Los aceites vegetales contienen además otros componentes, de los cuales los mas importantes son los tocoferoles o Vitamina E. estas sustancias actúan como antioxidantes protegiendo al aceite de la rancidez.

De una u otra forma todos los aceites pueden ser modificados en grados variables durante el procesamiento para acrecentar la estabilidad, aumentar la solidificación o mejorar la calidad o funcionalidad. Esto significa que para cada aceite existe un innumerable potencial en productos finales.

1.3.1 Fuentes de obtención. Los parámetros de procesamiento para los distintos tipos de semillas oleaginosas pueden variar ligeramente pero en general el proceso que reciben los aceites es muy similar. La diferencia se encuentra en el tipo o fuente de semilla, pero el objetivo final es obtener un producto estable y limpio y que sea triglicérido puro en un 96% o más. Existen numerosas fuentes de aceites que se utiliza en la elaboración y producción de alimentos. Estos aceites en su mayoría son de origen vegetal. En varios lugares del mundo hay un consumo significativo de aceites encontrándose entre los mas importantes el de soja, canola, semilla de algodón, maíz, coco, cacahuete, girasol, oliva, palma, maní, colza, cartamo entre otros. Los aceites vegetales se obtienen extrayendo el aceite con solventes o exprimiendo la semilla oleaginosa mediante prensado. Los aceites obtenidos directamente tras la fundición o la extracción se denominan aceites (crudos). Contienen aun pequeñas cantidades de compuestos naturales que son glicéridos, los cuales serán eliminados a lo largo de una serie de fases de procesado¹⁵. El objetivo del procesamiento es tratar de preservar algunas sustancias importantes en el producto final.

Los aceites mas caros son aquellos obtenidos del primer prensado. También existen procesadores que comercializan únicamente aceites especiales los

¹⁵ STILER, Richard. The National Cottonseed Products Association. Guía de Aceites Comestibles. p. 4.

cuales son obtenidos a través del prensado mecánico. Sin embargo, la gran mayoría de los aceites vendidos a los procesadores de alimentos y a nivel de consumidores son totalmente refinados, esto significa que han sido procesados para remover la mayoría de impurezas o materiales no grasos.

Los especialistas en alimentos coinciden en señalar que el proceso moderno de las grasas y aceites es el factor predominante en la mejora de la calidad de la grasa consumida en la dieta actualmente.

1.3.2 Procesos de obtención. Para la obtención de los aceites se debe seguir un proceso de acuerdo al tipo de semilla o a las propiedades deseadas en el producto final. Las etapas que se deben seguir para la obtención de aceites son las siguientes:

Acondicionamiento de la semilla. En esta parte del proceso, lo que se hace es adecuar las semillas, para facilitar los tratamientos posteriores, y mejorar el rendimiento del proceso. A continuación se presentan las etapas.

➔ Limpieza

Las semillas oleaginosas, al llegar a la industria contienen sustancias extrañas como son: tierra o barro, piedras, elementos metálicos y cuerpos diversos; todos estos elementos extraños deben separarse antes que la semilla pase a ser procesada ya que puede originar grandes daños en las instalaciones del proceso. La limpieza es una operación en la cual se retiran las impurezas o materia extraña en el producto mencionado anteriormente. Esta se puede realizar mecánicamente mediante zarandas o cribas y neumáticamente por aspiradores industriales, los cuales extraen y retiran materiales como polvo.

➔ Descascarado

La semilla generalmente esta constituida por fibra, cáscara y almendra. Para poder procesar esta semilla es necesario realizar la operación de descascarado el cual tiene por finalidad romper la cascarilla externa de la semilla, recuperando la fibra y la almendra presentes en esta ya que la cáscara

dificulta el proceso de extracción especialmente por solventes. Este proceso se realiza mediante un molino de cilindros estriados.

➡ Molienda

Se ha determinado que la extracción ya sea por prensado o solvente se realiza más rápidamente cuando la semilla se somete a una disminución de tamaño de partícula aumentando el área lateral de la misma. La trituración o molienda facilita el traspaso del solvente a la partícula ya que sus células se encuentran más abiertas. El equipo más utilizado es el molino de cilindro estriado.

➡ Cocción

Esta operación se realiza con vapor de agua recalentado y puede realizarse en autoclaves. El calentamiento previo de una semilla favorece el proceso posterior de extracción. La teoría que regula este fenómeno es:

- Las gotitas de aceite, de dimensiones ultramicroscópicas, que están repartidas en la masa de la semilla por el efecto de la elevación de la temperatura se unen entre ellas para originar gotitas más grandes, que salen más fácilmente de la masa de la semilla.
- El aceite está contenido en una semilla en estado de emulsión con las proteicas siempre presentes en una semilla oleaginosa. El calentamiento origina la desnaturalización de las proteínas con la consiguiente rotura de la emulsión, y por tanto, la separación del aceite de la masa de la semilla.
- Rompe las paredes celulares como resultado de la hidratación de las células, esto hace que la extracción sea más fácil.

➡ Laminación

Proceso en el cual el producto o grano sufre un aplastamiento, obteniendo hojuelas, con el fin de aumentar la superficie lateral, este proceso es utilizado con más frecuencia en una extracción por solventes.

Obtención por solventes. La extracción del aceite de una semilla oleaginosa por medio de solvente es un procedimiento muy eficaz que se usa en la casi totalidad de las plantas que trabajaban estos productos y puede reducir el contenido de aceite de las semillas oleaginosas hasta el 0.5%.

Se ha verificado que la mayor parte del aceite fácilmente extraíble proviene de las células que se rompen durante los procesos de trituración, cocción, presión o laminado, mientras que la fracción más fácil de extraer proviene de las células enteras o parcialmente rotas¹⁶.

Los aceites o grasas obtenidos a partir de semillas oleaginosas se denominan aceites brutos. Contienen cantidades variables de sustancias presentes naturalmente, además de triglicéridos; entre estas sustancias se encuentran ácidos grasos libres, pequeñas cantidades de proteínas, fosfolípidos, fosfátidos, ceras, resinas, pigmentos coloreados y sustancias sápidas que son elementos no deseados en los productos alimentarios finales. Aunque estén presentes en cantidades relativamente pequeñas, estas sustancias aportan colores, olores y sabores extraños, inestabilidad y formación de espuma y humo durante la fritura en profundidad, por lo tanto, todas estas sustancias deben ser eliminadas o reducidas en etapas posteriores de la obtención de los aceites¹⁷.

Por consiguiente, se pueden distinguir dos procesos de extracción, que se llaman extracción por solución, aceite obtenido de las células rotas; y extracción por difusión, que extrae el aceite de las células enteras.

Existen muchos factores que influyen en la extracción como lo son:

- Cantidad de solvente y varia según el tipo de semilla

¹⁶ BERNARDINI. Tecnología de aceites y grasas. Zaragoza, España: Alambra, 1993. Capítulo 8, p. 140

¹⁷ Ibid., p. 142

- Temperatura del solvente. Al aumentar su temperatura favorece la extracción del aceite
- Tipo de solvente. El solvente mas adecuado para obtener la extracción de aceite, es el hexano o benceno por su eficiencia y dado que todos los aceites vegetales van destinados al consumo humano es indispensable que el producto sea lo mas puro posible, siendo estos recuperables en un 90%.

TABLA 8. Características del n- hexano comercial¹⁸

Solvente	Peso específico a 15°C	Calor latente de vaporación / litro	Calor específico / litro	Punto de ebullición °C	Limite de explosión vol
Hexano	0.680	54	0.358	68.60	2.4-4.8

El hexano tiene un calor latente de vaporización mucho mas bajo que el sulfuro de carbono y que el tricloroetileno, como se muestra en la tabla 8; además el hexano y el benceno son aptos para la extracción de aceite ya que el sulfuro de carbono hay que descartarlo por su peligrosidad y toxicidad; el tricloroetileno puede utilizarse solamente en los casos en que es absolutamente necesario utilizar productos no inflamables y cuando la calidad del aceite no es de primordial importancia¹⁹.

La extracción por solventes se puede realizar por: **inmersión** (sumergir las semilla en el solvente con agitación constante), por **percolación** (se lleva acabo mediante una lluvia del solvente de manera tal que llegue a toda la masa, pero sin llenar todos los espacios vacíos existente entre las semillas; y se realiza una buena percolación cuando el solvente envuelve a todas las partículas de la semilla con una película de liquido en continuo recambio) y **mixto** (donde la semilla es sumergida y lavada).

¹⁸ BERNARDINI. Tecnología de aceites y grasas. Zaragoza, España: Alambra, 1993. Capitulo 8, p. 147

¹⁹ Ibid., p. 147.

El proceso de extracción por **inmersión** se realiza, cuando la masa de semilla va inmersa completamente en el solvente, incluso si éste está en movimiento.

Lo indicado comporta lo siguiente:

- En el proceso por inmersión, al encontrarse la semilla inmersa en el solvente, la velocidad de recambio del solvente sobre la superficie de las partículas es necesariamente lenta, incluso no circula rápidamente.
- El proceso por inmersión puede realizarse fácilmente aunque la semilla haya reducida a partículas de pequeños tamaños.
- En este proceso, el lavado de la semilla se debe realizar en contracorriente, es decir, la semilla más pobre en aceite se debe poner en contacto con el solvente de menor concentración en aceite.

El proceso por inmersión es más adecuado para extraer el aceite de las células todavía enteras (extracción por difusión).

El proceso de inmersión, que trabaja, con baja velocidad de paso del solvente, puede realizar una extracción continua con un perfecto lavado en contracorriente sin necesidad de recirculaciones, Este último concepto, que podría considerarse sin duda una ventaja el proceso por inmersión, esta compensado por otro elemento y se refiere a la concentración de aceite en la miscela de lavado, que en el proceso por inmersión llega al 15 por 100 por efecto del reciclado de la miscela²⁰. Este hecho repercute sensiblemente sobre los costos de operación.

El procedimiento por inmersión tendrá éxito en los casos en que la semilla oleaginosa se presenta en pequeñas partículas y con altos porcentajes de finos.

²⁰ BERNARDINI. Tecnología de aceites y grasas. Zaragoza: Alambra, 1993. Capítulo 8, p. 149

Fenómenos que participan en la extracción por solvente son :

- Difusión: fenómeno por el cual tienden los líquidos a formar espontáneamente, entre si, una mezcla homogénea sin que entre ellos se ejerza acción química alguna.
- Filtrado: separación de una mezcla de sólidos y fluidos que incluye el paso de la mayor parte del fluido a través de un medio poroso, que retiene la mayor parte de partículas sólidas que están contenidas en el.
- Percolación: pasar un líquido a través de espacios “libres” entre partículas y capilares sin atravesar las paredes límites que lo conforman.
- Destilación: proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y, a continuación, enfriar el vapor para recuperar dichos componentes en forma líquida por medio de la condensación. El objetivo principal de la destilación es separar una mezcla de varios componentes aprovechando sus distintas volatilidades, o bien separar los materiales volátiles de los no volátiles.

Obtención Mecánica. La presión de semillas oleaginosas se realiza hoy en día exclusivamente mediante prensas continuas llamadas normalmente **expellers**, las antiguas prensas abiertas y las prensas hidráulicas de cargas discontinuas están ahora obsoletas, en las prensas continuas clásicas se distinguen las siguientes partes principales:

- Alimentación de la semilla
- Sin fin cónico de presión
- Cesta
- Cono regulable de salida de la torta

Las prensas continuas se pueden utilizar para dos fines bien distintos:

- A. Extraer la máxima cantidad posible de aceite de una semilla que posteriormente no va a ser sometida a ningún otro proceso.
- B. Extraer una cierta cantidad de aceite, siendo tratado posteriormente la torta resultante en otro proceso de recuperación del aceite residual.

Las prensas continuas del grupo A, debe realizar un trabajo mucho mas fuerte que las del grupo B, ya que el aceite residual en el torta debe ser lo mas bajo posible; en general estas máquinas, con una buena conducción, dejan un residuo de aceite de alrededor del 5 al 100. Para alcanzar estos valores la energía absorbida no es casi menor a 45 kWh por tonelada de semilla procesada. Este tipo de elaboración se realiza en pequeñas y viejas industrias extractoras. Las prensas continuas del grupo B son utilizadas actualmente en casi todas las industrias que procesan semillas ricas en aceites, ya que se pretende extraer una buena parte del aceite por presión, dejando una torta que se pueda agotar por solvente.

La función principal del prensado es producir la fusión de las pequeñas o finas gotas de aceite, seguida de la expulsión de este fuera del sistema de prensado.

El prensado debe ser llevado a cabo en forma gradual y no apresurada, para mantener los orificios y poros de la torta en condiciones que permitan el flujo del aceite y manteniéndose así un nivel de producción alto. En los aceites obtenidos por prensado mecánico se conservan prácticamente inalterados los nutrientes que contienen por naturaleza.

De la presión de las semilla oleaginosas se obtienen dos productos: aceite de presión y torta; el aceite de presión es casi siempre un producto rico en impurezas; fragmento de semillas, harinillas, etc y por tanto no puede almacenarse en estas condiciones, por lo que debe tratarse para eliminar estas impurezas tanto como sea posible a fin de tener grandes inconvenientes en el almacenamiento y posteriores tratamientos.

Existen otros tipos de prensas como son la prensa hidráulica abierta o de husillo, prensa de jaula, prensa de marmita, de palanca, entre otras. El prensado de los materiales oleaginosos esta precedido por un tratamiento térmico para coagular las proteínas y otras características mencionadas en el proceso de cocción.

Tratamientos Finales. Los aceites vegetales, en su mayoría, contienen ciertas cantidades de compuestos no-glicéridos solubles como proteínas, gomas, materias colorantes fosfatadas, hidrocarburos, cetonas, aldehídos, además de otros componentes que son responsables de sabor y olor del aceite crudo.

Los ácidos grasos libres producidos por lipólisis del aceite neutro por mal almacenamiento, junto con los compuestos degradados del aceite por efectos de oxidación (peróxidos) son contaminantes que requieren ser eliminados para dar una calidad al aceite.

Para tener una buena calidad es necesario realizar una serie de etapas que ayudan al mejoramiento del aceite, proceso más comúnmente llamado refinación.

➤ Desgomado

El primer paso en el proceso de refinación de muchos aceites es el desgomado. Los aceites crudos de origen vegetal contienen algunos constituyentes dispersos que pueden ser hidratados o coagulados para formar las gomas. La hidratación precipita parte de los fosfolípidos presentes en el aceite en particular las lecitinas. Los aceites son desgomados, mezclándolos con agua acidulada para hidratar a los fosfátidos los que luego son removidos con centrifugación. El desgomado se puede mejorar adicionando ácido cítrico o fosfórico o gel de sílica, este desgomado remueve sustancias emulsivas muy valiosas tales como la lecitina, mencionada anteriormente.

Existe una gran variedad de procedimientos para llevar a cabo el desgomado por hidratación siendo sus diferencias, los procedimientos para adición de agua, calentamiento y adición de sustancias químicas, pero todos coincidiendo en la importancia de la proporción de agua adicionada al aceite ya que puede producir problemas de emulsión por exceso o retiro ineficiente de gomas por carencia de agua. Su eficiencia se mide haciendo un control de fósforo en el aceite.

➤ Neutralización

Se realiza sobre aceites vegetales para reducir el contenido de ácidos grasos libres y para eliminar otras impurezas como fosfátidos, proteínas y sustancias mucilaginosas; el método de refinado mas importante y más extendido es el tratamiento de la grasa o el aceite con una solución alcalina. Los aceites con un bajo contenido de fosfatidos pueden refinarse por medios físicos, ejemplo vapor para liminar los ácidos grasos libres; después del refinado con álcalis, la grasa o el aceite son lavados con agua para eliminar el jabón residual.

➤ Blanqueado o decoloración

Durante el proceso de blanqueado, trazas de metales, partículas coloridas tales como la clorofila, carotenos, jabones y productos de la oxidación son removidos utilizando arcillas decolorantes, las que absorben las impurezas. Los aceites decolorados casi no tienen color y tienen un valor de peroxido cercano a cero.

➤ Desodorización

Es un proceso de destilación con vapor y a vacío con el objeto de eliminar componentes trazas que proporcionan olores y sabores no deseados a los aceites y grasas. Normalmente se realiza después del refinado y el blanqueado. La desodorización es simplemente una eliminación de los componentes relativamente volátiles empleando vapor de agua, la desodorización se realiza al vacío para facilitar la eliminación de las sustancias volátiles, evitando la hidrólisis no deseada de la grasa, y para hacer un uso mas eficiente de vapor.

Análisis del aceite. Se da el nombre a análisis proximal al conjunto de determinaciones que describen la composición nutritiva de una sustancia alimenticia. Comprende las determinaciones de:

➤ **Humedad:** La determinación de humedad y sustancias volátiles a 100°C se basa en la pérdida de peso que sufre el alimento al calentarse a 100°C. Este valor incluye además de agua propiamente dicha, las sustancias volátiles que

acompañan al alimento. Con el proceso de secado además pueden ocurrir ciertas reacciones químicas ocasionando variaciones en peso, algunos autores recomiendan expresar el resultado como “cantidad de sustancia seca”. Estrictamente hablando la humedad no debería incluir agua como nutriente pero, puesto que el agua esta presente en todo ser vivo, su importancia como solvente para solutos polares tales como aminoácidos y electrolitos, merecen situarla dentro de este grupo.

➡ **Extracto etéreo:** La extracción con éter de petróleo o con éter etílico de una muestra previamente seca, incluye el grupo de nutrientes llamados grasas bruta o lípidos. Este grupo incluye sustancias tales como glicéridos, fosfolípidos, esteroides, ácidos grasos libres, pigmentos carotenoides y clorofílicos y vitaminas liposolubles. En el proceso de digestión estas sustancias son transformadas en sustancias semejantes, pero características del organismo que las ingiere, por eso se consideran precursores dietéticos.

La grasa es componente necesario de los tejidos vivos y es esencial en la nutrición humana, debido a que puede almacenarse y movilizarse, es el principal material de reserva corporal. Su ingesta equilibrada es también esencial para asegurar el aporte dietético de ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles A, D, E y K²¹.

Análisis fisicoquímicos de la calidad del aceite. Las propiedades físico-químicas de los aceites, son de gran importancia practica, para una mejor comprensión de la constitución de estos materiales o sustancias, a si mismo se puede evaluar su calidad y destinar su mejor uso.

➡ **Punto de fusión**

Debido a que las grasas y aceites son una mezcla compleja de compuestos, no tienen un punto de fusión definido y pasan por un ablandamiento antes de

²¹ ZILLER, Steve. Grasas y Aceites Alimentarios. Zaragoza, España: Acribia. 1994. p. 36.

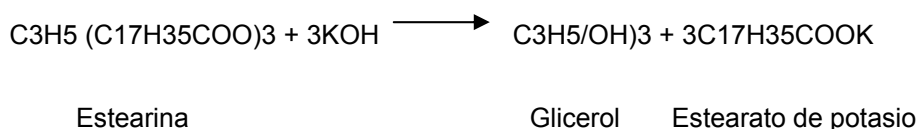
volverse líquidos, el punto de fusión deber ser definido por las condiciones específicas del método.

➔ Índice de refracción

Es una característica muy importante debido a su utilidad en métodos analíticos. Se basa en la relación velocidad de una onda luminosa en el aire y su velocidad en la sustancia grasa. Es muy útil con fines de identificación, comprobación de la pureza y observación del progreso de reacciones como la hidrogenación catalítica. Las temperaturas a que se acostumbra informar son 25°C en el caso de los aceites. Si la lectura esta a una temperatura superior o inferior, debe corregirse en 0.000365 por cada grado, recordando que el índice de refracción aumenta a medida que disminuye la temperatura.²²

➔ Índice de Saponificación

Es el número de miligramos de KOH requeridos par saponificar un gramo de aceite o grasa. Los aceites y las grasas son ésteres glicéridos de ácidos grasos, los cuales pueden hidrolizarse en glicerol y ácidos grasos, o pueden descomponerse por bases en glicerol y sales de ácidos grasos. Una reacción típica de la última clase es la llamada saponificación.²³



➔ Índice de acidez

Son los miligramos de KOH necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en un gramo de muestra. El resultado de la titulación con álcali en

²² LAWSON, Harry. Aceites y grasas alimentarios. Zaragoza, España: Acribia, 1994. p. 23.

²³ Ibid., p. 24

presencia de fenolftaleína se puede presentar también como porcentaje de ácido Oleico o ácido palmitico.

➡ Viscosidad

Es la medida de la fricción interna de las moléculas. Los aceites deben sus altas viscosidades a las atracciones intermoleculares de las largas cadenas de sus moléculas de glicéridos. En general la viscosidad de los aceites disminuye levemente con el incremento en la instauración. Los aceites que contienen ácidos grasos de bajo peso molecular son solo un poco menos viscosos que los aceites de un grado equivalente de instauración pero con ácidos de alto peso molecular.²⁴

➡ Índice de yodo

El yodo se adiciona a los enlaces dobles de los ácidos insaturados cuantitativamente bajo condiciones controladas. En esto se basa químicamente la determinación del índice de yodo, el cual se define como los gramos de yodo absorbidos por 100 gramos de aceite o grasa. El punto final se registra por la desaparición del complejo azul del yodo con el almidón. Esta determinación es quizás el mejor método para clasificar los aceites, pues permanecen casi inalterados por ligeros cambios en el estado de los mismos; además, permite caracterizar la muestra, dando una base para saber si la muestra es pura o se encuentra mezclada.²⁵

➡ Densidad

Es la masa por unidad de volumen y en los ácidos grasos y glicéridos aumenta al disminuir su peso molecular y al aumentar su grado de instauración. No

²⁴ LOZANO et al, Extracción y caracterización fisicoquímica de aceites contenidos en la semilla de Copoazú y Maraco. Bogotá D. C. 1997. Trabajo de grado. U. NACIONAL. p 23.

²⁵ LAWSON, Op. Cit., p. 42.

existe mucha diferencia entre las distintas grasas y aceites en el estado líquido, aunque el grado de insaturación (índice de yodo) y el peso molecular medio (índice de saponificación) influyen sobre esta propiedad. De la correlación dada por Lund a los 15°C en aceites la densidad se puede estimar de la siguiente forma empírica:

$$0.8475 + 0.0030 (\text{índice de saponificación}) + 0.00014 (\text{índice de yodo})$$

Esto permite identificar el origen del aceite, pero varía con la temperatura a la cual se ha hecho la lectura.²⁶ Aunque el método mas utilizado para determinar la densidad se basa en el principio cuyo significado es relación entre el peso de una unidad de volumen de la sustancia y el peso de la unidad de volumen de agua a 25°C; utilizando como material el picnómetro.

➤ Índice de esteres

Es la cantidad de glicerina combinada en forma de glicéridos y se determina restando el índice de saponificación y el índice de acidez.

²⁶ KIRK et al, Enciclopedia de tecnología química. 1 ed. México: Hispano-Americana, 1995. Tomo 7. p. 53 .

2. METODOLOGÍA

Tradicionalmente la extracción de aceites de semillas oleaginosas se realiza por sistemas mecánicos, por solventes o mixtos, pero lo que ha mejorado continuamente son las condiciones de proceso y los equipos para llevar a cabo esta extracción. En el presente trabajo de grado se utilizaron dos métodos (mecánico y por solventes) para obtener aceite del fruto llamado *Caryodendron orinocense* o más conocido como Inchi; determinando las características fisicoquímicas tanto de la semilla como del aceite, evaluando la calidad y el rendimiento de extracción en proceso aplicado. A continuación se expondrá en forma cronológica los pasos o procesos efectuados en este trabajo de grado.

2.1 ANÁLISIS PROXIMAL DE LA ALMENDRA

En el análisis proximal se determinaron las características fisicoquímicas, organolépticas y geométricas de la almendra, que fue la parte del fruto con que se trabajó en el proyecto para extraer el aceite. Las muestras utilizadas de la nuez *Caryodendron orinocense* fueron procedentes del Caquetá, pertenecientes a la mitaca entre abril y mayo del 2005. Para su conservación fue necesario almacenarla en refrigeración a una temperatura de 4°C. Las pruebas se realizaron como se muestra en los siguientes numerales.

2.1.1 Características geométricas. En esta parte de la caracterización se determinaron propiedades generales como sabor, textura, color forma, tamaño, mediante el sentido de la vista, del gusto y del tacto.

También se realizó un dimensionamiento, estableciendo el ancho, el largo y el grosor tanto del fruto como de la almendra y se promediaron los resultados; para especificar un único tamaño. Para obtener el peso promedio se pesó el fruto entero, la testa y la almendra; estas pruebas se realizaron por triplicado. Las dimensiones se tomaron mediante un calibrador y el peso mediante una balanza analítica.

2.1.2 Características fisicoquímicas

Para la caracterización de la almendra se reportó el análisis proximal realizado en el laboratorio de química de alimentos ubicado en la Universidad De La Salle. Para la ejecución de estos análisis fue necesario adoptar los procedimientos para análisis de harinas, siguiendo la Norma AOAC/95 (*Association Of Official Analytical Chemists*). Los ensayos fueron realizados por triplicado.

2.2 PREEXPIMENTACIÓN A NIVEL DE LABORATORIO

Se realizaron unos ensayos preliminares con pequeñas cantidades de semilla, con el fin de determinar el mejor proceso, en cuanto a rendimientos y costos para una mejor extracción del aceite Inchi. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Química de Alimentos de la Universidad De La Salle.

2.2.1 Obtención por solventes. Para encontrar el mejor proceso de extracción de aceite Inchi fue necesario variar las siguientes condiciones: cantidad de solvente, diámetro de partícula y etapas del proceso; el diseño experimental aplicado fue por bloques factorial, análisis de varianza. Se realizaron dos tipos de proceso para obtener una mayor eficiencia en la extracción, de la siguiente forma:

Proceso 1: almendra molida laminada con vapor. Para este proceso se realizaron 6 ensayos por triplicado, con un tamaño de muestra de 100

TABLA 9. Pruebas fisicoquímicas aplicadas a la almendra y torta residual Inchi

PRUEBA	MÉTODO	EQUIPOS Y MATERIALES	REACTIVOS
Humedad	AOAC 13003/95	Estufa, Desecador, Balanza analítica, cápsula de porcelana	Ninguno
Cenizas	AOAC 13006/95	Estufa, Desecador, Balanza analítica, crisol de porcelana	Ninguno
Grasa	AOAC 22033/95	Balanza analítica, Soxhlet, Destilador simple, dedal de extracción, matraz de fondo plano (250 ml), perlas de ebullición	Éter de petróleo
Azúcares totales	<i>Título de Felhing</i>	Balanza analítica, estufa, beaker (200 ml), matraz aforado (100 ml), Bureta (25 ml)	Agua destilada, ácido clorhídrico concentrado, hidróxido de sodio al 40%, solución Fehling A, solución Fehling B, azul de metileno al 1%
Proteína	AOAC, 2036/95 <i>Method Kjeldahl Wilfarth-Gunnin</i>	Balanza analítica, Equipo Kjeldalh, Destilador por arrastre de vapor, erlenmeyer (250 ml)	Ácido sulfúrico concentrado, tableta de catalizador, ácido bórico, indicador mixto, ácido clorhídrico 0.1 N
pH	<i>Potenciómetro</i>	Potenciómetro, Balanza analítica, Beaker, papel filtro	Agua, Alcohol etílico
Acidez		Balanza analítica, erlenmeyer con tapa de caucho (125 ml), Beaker (50 ml), Bureta (25ml)	Etanol 96%, Hidróxido de sodio

gramos, variando la relación semilla: solvente. Las etapas realizadas se llevaron a cabo así:

➔ Molienda: las semillas fueron sometidas a reducción de tamaño, para facilitar la acción de los agentes extractores del aceite, en este proceso se seleccionó un rango de tamaño de partícula, mediante molienda y clasificación en tamices con mallas N°. El rango utilizado fue de 1.25 mm - 2 mm y 3 mm – 3.5 mm.

➔ Inyección de vapor: las pruebas de cocción para el Inchi fueron realizadas en un autoclave, llegando a una temperatura de 120 °C cubriendo en mejor forma el utilizado en procesos industriales, el tiempo fijado fue de 5 minutos a una presión de 20 psi.

➔ Laminación: luego de sufrir una cocción, la semilla molida fue sometida a pruebas de laminación, para ampliar el área de superficie y mejorar el contacto con el solvente, en esta etapa fue necesario determinar la distancia entre rodillos para que la partícula obtuviera una buena laminación, obviamente las partículas que se introducían venían con cierta humedad, lo que facilitaba el proceso.

➔ Extracción: teniendo en cuenta el estudio bibliográfico y la utilización a nivel industrial se decidió utilizar el hexano como solvente para la extracción, por su velocidad, rendimiento y sus efectos sobre la calidad del aceite extraído. La extracción se realizó en frío por inmersión, en recipientes de acero inoxidable con tapa. La relación semilla solvente se fijó de la siguiente forma: 1:7 (para 100 gramos de semilla se necesitaron 700 mililitros de solvente); 1:8 (para 100 g de semilla se necesitaron 800 ml de solvente); 1:9 (para 100 g de semilla se necesitaron 900 ml de solvente). Las variables fijas del proceso fueron la temperatura que se mantuvo a 18 °C, el tiempo que fue de 24 horas y el tamaño de muestra que fue de 100 gramos.

➔ Destilación fraccionada: para este proceso fue necesario realizar un montaje de destilación fraccionada mostrado en la Figura 2, ya que las cantidades eran pequeñas. En un balón aforado de 1 litro se introdujo la solución aceite: hexano

previamente pesada. Se calentó a baño de maría en una incubadora a temperatura de 65 °C, en un tiempo de 4 – 5 horas aproximadamente. Se obtuvo hexano puro, quedando en el balón el aceite extraído.

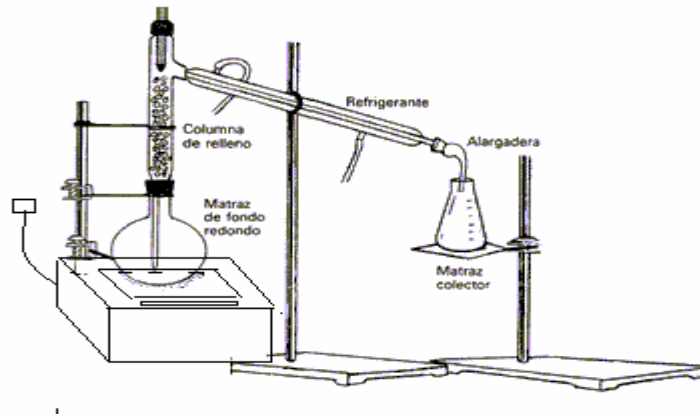


Figura 2. Montaje equipo de destilación fraccionada

Proceso 2: almendra molida laminada sin vapor. Para este proceso se realizaron de igual forma 6 ensayos por triplicado, con tamaños de muestra de 100 gramos, variando la relación semilla: solvente. Las etapas realizadas se llevaron a cabo de la misma forma que en el Proceso 1, excepto porque no se inyectó vapor a la semilla.

2.2.2 Obtención mecánica (Prensa hidráulica). La función principal del prensado es producir la fusión de pequeñas gotas de aceite seguida de la expulsión de este fuera del sistema de prensado, este fue el principio básico para trabajar esta etapa del proceso. Para encontrar una mayor eficiencia en la extracción de aceite Inchi por prensa fue necesario variar las siguientes condiciones: tiempo, presión y diámetro de partícula. El diseño experimental aplicado fue por bloques completamente aleatorizados, análisis de varianza. Se realizaron dos tipos de proceso para obtener un mejor rendimiento en la extracción, mencionados a continuación:

Proceso 1: almendra molida con vapor. Para este proceso se realizaron 24 ensayos, con un tamaño de muestra de 100 gramos. Las etapas realizadas se llevaron a cabo así:

➤ Molienda: se selecciono un rango de tamaño mediante molienda y clasificación en tamices. El rango utilizado fue de 3 mm - 4 mm y 7 mm – 8 mm. No se pudieron utilizar fracciones menores ya que en la extracción por presión podría presentar fuga de sólidos por los orificios del tubo extractor.

➤ Inyección de vapor: las pruebas de cocción para el Inchi fueron realizadas en el rango de 20 a 120 °C cubriendo en mejor forma el utilizado en procesos industriales, el tiempo fijado fue de 5 minutos a una presión de 20 psi.

➤ Extracción: la extracción fue llevada a cabo a temperatura ambiente en una prensa hidráulica ubicada en el laboratorio de Diseño de la facultad de Ingeniería mecánica y eléctrica de la Universidad Nacional. Fue necesario adaptar un tubo extractor con filtros, a la prensa para la obtención del aceite. La presión utilizada sobre las almendras se encontró en un rango de 800 a 1000 psi, para una carga de 100 gramos; manejando tiempos comprendidos entre 20 y 50 minutos.

Proceso 2: almendra molida sin vapor. Para este proceso se realizaron de igual forma 24 ensayos, con tamaños de muestra de 100 gramos; cambiando las mismas variables, excepto que en las etapas realizadas no se incluyo la inyección de vapor.

2.3 EXPERIMENTACION A NIVEL DE PLANTA PILOTO

Teniendo en cuenta los resultados arrojados por el diseño experimental, aplicado a los diferentes procesos de extracción de aceite Inchi, mecánico y por solventes; se realizo la experimentación en planta piloto de la Universidad De La Salle, con cantidades de 0.5 kilogramos, 1 kilogramos y 1.5 kilogramos, de

acuerdo a las mejores condiciones evaluadas en los ensayos preliminares. El proceso se muestra en los siguientes numerales.

2.3.1 Obtención por solvente (Hexano). Para la obtención de aceite Inchi por solvente se realizaron las etapas mencionadas a continuación con tres cantidades diferentes de materia prima. El proceso llevado a cabo fue discontinuo y algunos equipos no tenían la capacidad para trabajar con cantidades muy grandes.

➡ **Recepción del producto.** La materia prima, en este caso la semilla Inchi, se encontraba almacenada a una temperatura de 4°C. En esta parte del proceso se dividió la totalidad de la materia prima en tres lotes, clasificados en tres pesos diferentes:

1 Lote: 0.5 kilogramos

2 Lote: 1 kilogramos

3 Lote: 1.5 kilogramos

➡ **Limpieza:** se retiraron las impurezas que venían con la semilla como mugre, hojas, piedras, entre otras; mediante una zaranda.

➡ **Descascarillado:** el descascarillado se realizó de forma manual, aplicando leves golpes a las semillas con un martillo, para crear una ruptura en su cáscara, haciendo su retiro más fácil.

➡ **Selección:** las condiciones de algunas almendras no eran muy óptimas, por lo que fue necesario retirar algunas que se encontraban totalmente dañadas con presencia de hongos, como se muestra en la figura 3. Este proceso se realizó de forma manual.



Figura 3. Almendras dañadas

- Molienda: la almendra fue molida, reduciéndola a un tamaño de partícula entre 1.5 - 2 mm, usando un molino de discos manual. Al realizar los ensayos preliminares se utilizó el molino de martillo, pero debido a las grandes pérdidas de almendra, fue descartado.
- Cocción: las cantidades de almendra fueron colocadas en canastillas e introducidas en un autoclave, mostrado en la figura 4, por 5 minutos, a un rango de temperatura entre 100-120 °C.



Figura 4. Autoclave

➤ Laminación: los granos de almendra después de haber recibido vapor, sufrieron un aplastamiento, aumentando el área de partícula mediante una laminadora mostrada en la figura 5.



Figura 5. Cilindradora

➤ Extracción: la almendra molida y laminada con vapor se pesó, para poder calcular la cantidad de solvente que se debía adicionar; luego fue introducida en un tanque de acero inoxidable (Ver figura 6), con el solvente (Hexano), tapada correctamente, y dejada por un tiempo de 24 horas, a una temperatura de 18 °C.



Figura 6. Tanque de extracción

➤ Destilación: luego de obtener la mezcla aceite-hexano, se procedió a destilar en una Torre de destilación (ver figura 7), para separar el solvente del

aceite. La temperatura de destilación fue de 60°C, por tiempos de 4, 7 y 13 horas.



Figura 7. Torre de destilación

2.3.2 Obtención mecánica (Prensa)

Las etapas realizadas, se llevaron a cabo de igual forma que en proceso de extracción por solvente, excepto que en la extracción mecánica no se incluyó la etapa de laminación.

➤ Recepción del producto. La materia prima, en este caso la semilla Inchi, se encontraba almacenada a una temperatura de 4°C. En esta parte del proceso se dividió la totalidad de la materia prima en tres lotes, clasificados en tres pesos diferentes:

1 Lote: 0.5 kilogramos

2 Lote: 1 kilogramos

3 Lote: 1.5 kilogramos

- ➔ Limpieza: se retiraron algunas impurezas que venían con la semilla, mediante una zaranda.
- ➔ Descascarillado: el descascarillado se realizó de forma manual, aplicando leves golpes a las semillas con un martillo, para crear una ruptura de su cáscara, haciendo su retiro más fácil.
- ➔ Selección: las condiciones de algunas almendras no eran muy óptimas, por lo que fue necesario retirar algunas que se encontraban totalmente dañadas, como se muestra en la figura 3. Este proceso se realizó de forma manual.
- ➔ Molienda: la almendra fue molida, reduciéndola a un tamaño de partícula entre 3-4 mm, usando un molino de discos manual. Al realizar los ensayos preliminares se utilizó el molino de martillo pero debido a las grades perdidas de almendra, fue descartado.
- ➔ Cocción: las cantidades de almendra fueron colocadas en canastillas e introducidas en un autoclave, mostrado en la figura 4, por 5 minutos, a un rango de temperatura entre 100-120 °C.
- ➔ Extracción: la almendra molida luego de recibir una cocción con vapor fue introducida en el tubo extractor (ver figura 8), aplicándole una presión de 1000 psi, mediante una prensa hidráulica (ver figura 9), con un tiempo de 50 minutos.



Figura 8. Tubo extractor adaptado a la prensa hidráulica



Figura 9. Prensa hidráulica con tubo extractor

2.4 TRATAMIENTOS FINALES DEL ACEITE OBTENIDO

Es importante llevar el aceite crudo a condiciones exigidas para su uso como aceite comestible refinado, condiciones establecidas en Colombia según las normas ICONTEC.

Como no se tiene hasta el momento una norma específica para aceite de Inchi, se revisó una variedad de aceites de uso comestible y sus restricciones en cuanto a calidad, tomándose el rango de estos valores como objetivo para la refinación del aceite Inchi.

Para el aceite fueron contempladas únicamente la etapas de desgomado y neutralización, ya que los reactivos para blanquear y desodorizar tienen costos muy altos que no se justifican por las cantidades obtenidas en los procesos de extracción. Las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Química de Alimentos de la Universidad De La Salle.

2.4.1 Por solvente

➔ Desgomado: el aceite crudo de Inchi fue sometido a desgomado mediante el método de Van Rede que consistió en adicionarle ácido fosforico en un 0.3% en peso del aceite y llevando el sistema hasta 80°C durante 20 minutos.

➔ Neutralización: la neutralización del aceite Inchi se efectuó por el método tradicional y más utilizado en la industria, como es el de soda cáustica. El aceite fue calentado suavemente hasta una temperatura de 60 °C y agitándose se dosificó la soda cáustica al 20%, con exceso del 10%, lo que equivale a una cantidad de 20 g de solución pura. El aceite con la soda cáustica se siguió calentando hasta llegar a una temperatura de 90 °C. Se dejó enfriar hasta 50 °C y se vertió en el embudo de decantación hasta que los jabones se separaron. Luego se lavó con agua caliente hasta fin de jabones por decantación. El aceite luego se calentó a 60°C por 10 horas, y se pesó.

2.4.2 Por prensado

➤ Desgomado: el aceite crudo de Inchi fue sometido a desgomado mediante el método de Van Rede que consistió en adicionarle agua acidulada (ácido fosforico pH 5) en un 5% en peso del aceite y llevando el sistema hasta 80°C durante 20 minutos.

➤ Neutralización: la neutralización del aceite Inchi se efectuó por el método tradicional y más utilizado en la industria, como es el de soda cáustica. El aceite fue calentado suavemente hasta una temperatura de 60°C y agitándose se dosifico la soda cáustica al 20%, con un exceso del 10%; en una cantidad de 20 g de solución pura del cual el 4% eran de NaOH y 16% de agua; calentándose hasta llegar a una temperatura de 90°C. Se dejo enfriar hasta 50 °C y se vertió en el embudo de decantación hasta que los jabones se separaron. Luego se lavo con agua caliente hasta fin de jabones por decantación. El aceite luego se calentó a 60°C por 10 horas, y se peso.

2.5 CALIDAD DEL ACEITE OBTENIDO

2.5.1 **Análisis fisicoquímico.** El aceite de Inchi fue caracterizado tanto él extraído por prensa como por solventes. Los valores reportados son promedios de muestras analizadas en las condiciones mencionadas. Para ello se realizaron los ensayos de acuerdo a las normas que aplican para aceites vegetales. En la tabla 10 se muestran las pruebas aplicadas al aceite Inchi; cada una fue realizada por triplicado.

2.5.2 **Perfil de ácidos grasos.** El perfil de ácidos grasos se realizo en la empresa ACEGRASAS únicamente al aceite obtenido por solventes de la nuez Inchi.

TABLA 10. Análisis de calidad del aceite Inchi obtenido por prensado y por solvente

PRUEBA	MÉTODO	EQUIPOS	REACTIVOS
Índice de refracción	<i>AOAC Official Method 921.08, Cáp.41, p. 3.</i>	Refractómetro	-----
Índice de rancidez hidrolítica	<i>AOAC official Method 965.32, Cáp 41, p. 8.</i>	Tubo de ensayo	Ácido clorhídrico concentrado, solución de fluoroglucinol al 0.1% en éter etílico
Índice de aldehídos grasos	<i>AOAC official Method the LEA</i>	Balanza analítica, Espectofotometro, erlenmeyer (125 ml),	Éter de petróleo, reactivo de rosanilina,
Índice de esteres	<i>AOAC Official Method 921.08, Cáp.41, p. 3.</i>	-----	-----
Índice de yodo	<i>AOAC Official Method 920.158, Cáp 41, p. 6.</i> <i>AOAC Official Method 920.159, Cáp 41, p. 6.</i>	Balanza analítica, erlenmeyer con tapa esmerilada (250 ml), bureta (25 ml)	Cloroformo, reactivo de Hanus, yoduro de potasio al 15%, agua destilada, tiosulfato de sodio 0.1N, indicador de almidón, yoduro de potasio al 10%, solución de Wijs
Índice de saponificación	<i>AOAC Official Method 920.160, Cáp 41, p. 9.</i>	Balanza analítica, erlenmeyer de boca esmerilada (250 ml), bureta (25 ml)	Hidróxido de potasio etanólico 0.5N, refrigerante, fenolftaleina al 1% ácido clorhídrico 0.5N
Índice de peróxidos	<i>AOAC Official Method 965.33, Cáp 41, p. 9.</i>	Balanza analítica, erlenmeyer (250 ml), bureta (25 ml)	Cloroformo, ácido acético glacial, yoduro de potasio saturado, agua destilada tiosulfato de sodio 0.01N, indicador de almidón,
Índice de acidez	<i>AOAC Official Method 940.28, Cáp 41, p. 10.</i>	Balanza analítica, estufa, erlenmeyer (250 ml), bureta (25 ml)	Etanol, éter etílico, fenolftaleina al 1% en etanol, hidróxido de potasio 0.01N
Humedad	<i>AOAC Official Method 13003</i>	Balanza analítica, estufa, cápsula de porcelana, desecador	-----
Densidad	<i>Norma Técnica Colombiana N°336</i>	Balanza analítica, Picnómetro	-----

2.6 ANALISIS PROXIMAL DE LA TORTA

Se tomo como torta residual, la parte sólida que ha sido metida a extracción del aceite que originalmente contenía. En el análisis proximal se determinaron las características fisicoquímicas de la torta residual procedente de los procesos de extracción tanto mecánico como por solventes. Los análisis fueron realizados siguiendo procedimientos estándares de laboratorio, de acuerdo a las normas *AOAC/95 Association Of Official Analytical Chemists*.

2.6.1 Torta obtenida de al extracción de aceite Inchi por solvente. Para la realización de las pruebas de la torta residual obtenida en el proceso de extracción por solvente, fue necesario poner a secar la torta a 60°C durante dos horas para poder evaporar el hexano. Luego se tomaron muestras amplias para realizar las pruebas mencionadas en la tabla 9.

2.6.2 Torta obtenida de al extracción mecánica de aceite Inchi. Para la realización de las pruebas de la torta residual obtenida en el proceso de extracción mecánico, no fue necesario secar la torta; por lo que se tomaron muestras directamente del proceso por presión. Las pruebas son mencionadas en la tabla 9.

3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

En este capítulo se presenta todos los resultados obtenidos en el desarrollo de este trabajo de grado, de acuerdo a los objetivos planteados y a la metodología propuesta. Considerando el estudio bibliográfico y los resultados que arrojo todo el proceso llevado a cabo sobre el Inchi, su aceite, torta y condiciones de procesamiento; se analiza y discute la potencialidad de este recurso nativo para la industria alimentaria en cuanto a su producción de aceite y proteína vegetal, su calidad y procesamiento.

Se busca también con este análisis dar pie a posteriores evaluaciones, discusiones e investigaciones sobre el Inchi y su gran valor como fuente agroindustrial de alimento.

3.1 ANALISIS PROXIMAL

El análisis proximal se realizó de acuerdo a los parámetros establecidos por la AOAC mencionadas en la tabla 9. Evaluando sus resultados de acuerdo a las normas y procedimientos reglamentarios de la industria de alimentos.

Es importante saber que los resultados obtenidos también dependieron de la calidad del fruto; el cual recibió unos cuidados durante su ciclo vital, tales como, la labranza, aplicación de fertilizantes, ordenación hidráulica, saneamiento de los cultivos, lucha contra enfermedades y plagas y el lugar que ocupa el cultivo en el sistema agrícola; permitiendo así, un buen rendimiento del producto. A continuación se muestran los resultados que arrojaron las pruebas aplicadas tanto a la almendra como a la torta residual.

3.1.1 Almendra. Los resultados del análisis proximal de la almendra, son mencionados desde la tabla 11 hasta la tabla 14. Estos resultados; reportados en porcentajes y otras medidas, describen la composición de la almendra, la cual es muy importante, ya que su aporte como alimento para consumo humano es muy alto, estimando los datos obtenidos en su caracterización. Dentro de esta composición se encuentra el contenido de humedad, cenizas, grasa, proteína, azúcares totales, acidez y pH.



Figura 10. Almendra molida

➡ Características geométricas y organolépticas del fruto

Es importante conocer las características del fruto, su distribución del peso y cada uno de sus componentes, los cuales son mencionados en las tablas 11, 12 Y 13, para obtener el rendimiento de extracción de aceite.

TABLA 11. Características generales del fruto

CARACTERÍSTICA	NUEZ	ALMENDRA
FORMA GEOMÉTRICA	Ovalada	Ovalada
SABOR	-----	Dulce
TEXTURA	Rugosa	Suave
COLOR	Café oscuro	Blanca

TABLA 12. Dimensiones del fruto

	DIMENSION	MEDIDA 1 (cm)	MEDIDA 2 (cm)	MEDIDA 3 (cm)	PROMEDIO (cm)
NUEZ	ANCHO	3.27	3.29	3.276	3.28
	LARGO	3.87	3.72	3.89	3.83
ALMENDRA	ANCHO	1.3	1.4	1.5	1.4
	LARGO	2.5	2.9	2.8	2.7
	DIÁMETRO	2.3	2.2	2.1	2.2

TABLA 13. Peso de la almendra

	PESO 1 (g)	PESO 2 (g)	PESO 3 (g)	PROMEDIO (g)	%
ALMENDRA + TESTA	3.2386	3.6805	3.5532	3.49	100
ALMENDRA SIN TESTA	2.7759	3.1149	2.9680	2.95	84.6
TESTA	0.4627	0.5656	0.5852	0.54	15.4

Dentro de las características generales se pueden identificar una textura suave y una forma ovalada, tanto de la nuez completa como de la almendra. Del fruto se retira el cuezco quedando tres almendras, estas poseen un sabor dulce pero debido a su alto grado de acidez dejan un sabor residual picante. La almendra tiene el mayor peso y la cáscara representa un 15.4 % aproximadamente, como se observa en la tabla 13, lo que justifica retirársela, aunque del fruto el mayor porcentaje lo tiene el cuezco.

➡ Características fisicoquímicas

La caracterización fisicoquímica de la almendra molida (ver Figura 10) reveló un alto contenido de grasa, 60%, con un contenido de azúcares del 20% y una proteína del 15.67% (valores promedios de las tabla 14). Es aquí donde se

resalta la importancia del Inchi considerándola como la oleaginosa del futuro, porque además de ser rica en aceite; tiene un alto contenido azúcares y proteína. Todos los resultados fueron presentados en porcentajes, excepto el pH.

TABLA 14. Composición de la almendra en porcentaje

ANÁLISIS O PRUEBAS	MUESTRAS			PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
	1	2	3		
Humedad (%base seca)	94.90	94.76	94.82	94.83	0.01
Humedad (% base húmeda)	5.1	5.23	5.17	5.17	0.03
Cenizas (%)	3.38	3.47	3.42	3.42	0.02
Grasa (%)	60.5	60.07	60.07	60.21	0.12
Azúcares totales (% glucosa)	19.62	20.7	20.95	20.42	0.33
Proteína (%)	15.83	15.67	15.75	15.75	0.04
PH	6.37	6.31	6.35	6.34	0.02
Acidez (%)	8.3	8.7	8.6	8.5	0.1

De los resultados obtenidos en el estudio de la humedad, descritos en la tabla 14, se puede observar que la semilla reporta valores muy bajos en el rango de humedades para una misma temperatura de análisis. La semilla ya había sido previamente secada, por ello se obtuvo un valor bajo de humedad alrededor del 5.17% en promedio. El contenido de humedad nos sirve como indicador de la estabilidad de la almendra para su almacenamiento y posterior procesamiento. Aunque la almendra con testa retiene un poco más de humedad que la almendra pelada o sin cáscara, también es importante considerar que la testa le proporciona a la almendra una mejor protección contra insectos, hongos, (especialmente el *Aspergillus flavus*, generador de aflatoxinas) y enfermedades, siendo la mejor forma de almacenamiento de la

almendra o semilla. Pero no esta de más mencionar que es básico realizar un buen secado de la semilla.

En algunas semillas se pudo observar (figura 3) el ataque de varios hongos, esto pudo ser ocasionado en la semilla por un mal tratamiento en el campo y condiciones de almacenamiento defectuosas. La mayor cantidad de toxinas son producidas por el hongo en el sustrato o material en el cual esta creciendo.

Para impedir la formación de estos hongos, se pueden tomar como medida, adecuados sistemas de recolección secado y almacenamiento, mantener los niveles seguros de humedad durante el transporte y almacenamiento y evitar la mezcla de semilla contaminadas con semillas sanas, además de almacenar las semillas en sistemas que permitan aireación y facilidad de tratamiento.

Por otro lado se ha establecido en forma definitiva que los sistemas tradicionales de procesamiento y refinación del aceite eliminan completamente las toxinas presentes en el aceite crudo.

En cuanto al análisis de grasa, se obtuvo como resultado un 60.21 %, en promedio con una base de humedad de 5.17%; los que nos indica, que la mayor proporción de la almendra, se encuentra en el contenido de aceite.

Según los resultados obtenidos en la tabla 14, el contenido de proteína en la almendra es alto, con un valor de 15.67% en promedio, ya que supera el 10% valor en que se encuentran algunas oleaginosas como la palma africana entre otras. Esto es muy bueno ya que puede utilizarse como un alimento de consumo directo, proporcionando elementos para la síntesis proteica y la dieta humana. También puede ser usado como harina o considerado para concentrados de alta proteína o aislados proteicos.

Como la mayoría de las plantas que contienen un gran porcentaje de aceite como la palma africana que contiene alrededor de un 50% y una acidez del 15%, la nuez Inchi no podía ser la excepción ya que su acidez es un poco alta, su valor se reduce a la mitad de la palma encontrándose alrededor de un 8.5%,

por lo que es necesario neutralizar el aceite de esta forma se reduce su acidez y lo hace comestible.

De los resultados obtenidos se puede concluir que la mejor utilización que se le puede dar a este fruto es como productor de aceite, ya que el análisis de grasa arrojó como resultado un 60 % superando a otras oleaginosas como el de palma que contiene un 50% de aceite, o el de girasol que contiene un 38%, entre otros. La gran cantidad de aceite ubica al Inchi dentro de las plantas con más alto contenido y como fuente complementaria en la producción de aceite de Colombia.

3.1.2 Torta residual. Se tomo como torta residual la parte que se sometió la extracción parcial o total; en este caso se analizaron las tortas residuales resultantes del método de extracción mecánico y por solventes. Los resultados del análisis proximal de la torta obtenida en los dos métodos, son mencionados en la tabla 15.



Figura 11. Torta residual del proceso de extracción por solvente

- (1) torta molida laminada con vapor (1:7)
- (2) torta molida laminada con vapor (1:8)
- (3) torta molida laminada con vapor (1:9)

➤ Características fisicoquímicas torta obtenida en la extracción de aceite Inchi por solvente

Los análisis realizados en la caracterización de la torta residual de la extracción por solvente dieron como resultado, el aumento de algunos porcentajes entre los cuales se encuentran humedad, ceniza y la más importante proteína. Y la disminución de otros como azúcares, acidez y grasa.

TABLA 15. Composición de la torta residual obtenida por solvente en porcentaje

ANÁLISIS O PRUEBAS	MUESTRAS			PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
	1	2	3		
Humedad (%base seca)	93.49	92.94	93.02	93.15	0.10
Humedad (% base húmeda)	6.5	7.1	6.98	6.86	0.15
Cenizas (%)	6.64	6.68	6.8	6.70	0.04
Grasa (%)	5.56	5.82	5.59	5.66	0.07
Azúcares totales (% glucosa)	10.96	10.68	10.82	10.82	0.06
Proteína (%)	25.86	26.04	25.99	25.96	0.04
pH	6.98	6.86	6.87	6.90	0.03
Acidez (% ácido oleico)	0.029	0.029	0.031	0.030	0.02

Según los análisis de la torta, el contenido de proteína aumento a un 26% en promedio con respecto al contenido de proteína en la almendra (ver tabla 15). Lo que significa que al reducirse el contenido de grasa, hay un aumento apreciable de proteína cruda en un 11% respectivamente.

Los porcentajes de humedad y ceniza también aumentaron, aunque en muy baja proporción, como se muestra en la tabla 15; después de haber realizado la extracción por los métodos utilizados.

El contenido de grasa disminuyó de un 60% a un 5%, debido a la extracción de aceite realizada en la semilla. Esto nos indica que el proceso tiene una eficiencia considerable en cuanto a la obtención del aceite.

En cuanto a los porcentajes de azúcares y acidez nos muestra una gran disminución después de la extracción. El valor del pH se mantuvo, todos estos valores son mostrados en la tabla 15.

Características fisicoquímicas torta obtenida en la extracción mecánica de aceite Inchi

De igual forma que en la torta residual de la extracción por solventes, los resultados obtenidos del análisis proximal de la torta residual de la extracción mecánica, sufrieron la misma variación en sus porcentajes.

La caracterización de la torta residual obtenida en la extracción mecánica, arrojó como resultados un incremento en el contenido de proteína del 24% como se observa en la tabla 16, un poco menos que en el proceso por solventes. De igual forma la humedad y las cenizas presentaron un aumento muy leve.

TABLA 16. Composición de la torta residual obtenida mecánicamente en porcentaje

ANÁLISIS O PRUEBAS	MUESTRAS (%)			PROMEDIO (%)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
	1	2	3		
Humedad (%base seca)	93.16	93.30	93.10	93.19	0.05
Humedad (% base húmeda)	6.84	6.7	6.9	6.81	0.05
Cenizas	4.17	4.12	4.04	4.11	0.03
Grasa	27.65	31.36	24.86	27.96	1.54
Azúcares totales (% glucosa)	7.03	8.35	6.9	7.43	0.39
Proteína	23.65	24.36	24.81	24.28	0.27
pH	6.78	6.79	6.79	6.79	0.006
Acidez	0.054	0.052	0.051	0.052	0.0007

En la torta residual obtenida mecánicamente se vio una reducción de un 60% a un 27% después del proceso de extracción, lo que significa un 33% de grasa extraída lo que nos representa una menor disminución que en el proceso por solventes, (ver tabla 16).

El azúcar y la acidez disminuyeron considerablemente, mientras que el pH se mantuvo (ver tabla 16).

La caracterización fisicoquímica de la torta residual tanto de la extracción mecánica como por solventes, muestra un alto contenido en proteína como la almendra; lo que potencialmente puede ser utilizado como fuente de suministro proteínico en animales y posiblemente en el hombre. El Inchi como almendra, o la torta residual parcialmente desgrasada ofrece posibilidades de ser un alimento completo, ya que muchos problemas de desnutrición están relacionados con el bajo suministro de proteína, y la torta Inchi es la posibilidad de suplir estas deficiencias por su alto contenido de carbohidratos y proteína. En la figura 11 podemos observar la torta obtenida en el proceso de extracción por solvente, presentado tanto un aspecto como sabor agradable.

3.2 PREEXPERIMENTACIÓN

Los ensayos preliminares se realizaron con el fin de determinar el método que más favoreciera la extracción de aceite Inchi. Los resultados obtenidos de la cantidad de aceite extraído, fueron reportados en las tablas 17 y 20, en porcentaje. Y en las tablas 18, 19, 21 y 22 se reporta el análisis de varianza para cada método.

3.2.1 Aceite obtenido por solvente. Según los resultados de los ensayos preliminares para la extracción por solvente, mencionados en la tabla 17, podemos observar que para la relación 1:7 (semilla: solvente) el mayor porcentaje de aceite extraído para una tamaño de partícula de 1.5 – 2 mm y una almendra laminada con vapor fue de 44.0961% y para la almendra

laminada sin vapor fue de 42.3950%; para un tamaño de partícula de 3-3.5 mm, en la almendra laminada con vapor se obtuvo un 25.6303% de aceite, mientras que en la almendra laminada sin vapor se obtuvo un 23.0012% de aceite.

En la relación 1:8 (semilla: solvente) el mayor porcentaje de aceite extraído para una tamaño de partícula de 1.5 – 2 mm y una almendra laminada con vapor fue de 53.9273% y para la almendra laminada sin vapor fue de 49.9951%; para un tamaño de partícula de 3-3.5 mm, en la almendra laminada con vapor se obtuvo un 32.6760% de aceite, mientras que en la almendra laminada sin vapor se obtuvo un 31.8640% de aceite.

Y en la relación 1:9 (semilla: solvente) el mayor porcentaje de aceite extraído para una tamaño de partícula de 1.5 – 2 mm y una almendra laminada con vapor fue de 61.9804% y para la almendra laminada sin vapor fue de 56.2919%; para un tamaño de partícula de 3-3.5 mm, en la almendra laminada con vapor se obtuvo un 49.0090% de aceite, mientras que en la almendra laminada sin vapor se obtuvo un 47.9815% de aceite.

TABLA 17. Cantidad de aceite extraído por solvente

RELACIÓN SEMILLA: SOLVENTE	Ø ₁ = 1.5 – 2 mm		Ø ₂ = 3 – 3.5 mm ; tamiz N°	
	LAMINADA CON VAPOR (% de grasa)	LAMINADA SIN VAPOR (% de grasa)	LAMINADA CON VAPOR (% de grasa)	LAMINADA SIN VAPOR (% de grasa)
1:9	61.9804	55.7657	48.2306	47.9815
	61.9401	56.2919	48.5871	47.3221
	60.1777	55.9946	49.0090	47.7300
1:8	53.0000	49.9951	32.6360	31.1983
	53.9273	48.8739	32.0100	30.0934
	52.6609	49.0552	32.5997	31.8640
1:7	44.0961	42.3950	25.6303	23.0012
	42.9435	39.8367	22.4150	21.0682
	43.8273	42.0026	25.2084	22.6395

Considerando la relación semilla: solvente como tratamiento y los procesos como bloques, se obtiene la tabla de análisis de varianza adecuada con un nivel de significancia de 0.01 si las proporciones entre semilla y solvente al aumentar mejoran el rendimiento de la extracción y si existen diferencias entre los procesos a realizar.

- Hipótesis nula: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < 60$; $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3 < \beta_4 < 60$

Hipótesis alterna: todas las $\alpha \geq 60$; también todas las β

- Nivel de significancia: $\alpha = 0.01$
- Criterio: para tratamientos rechazamos la hipótesis nula si $F > 4.72$, el valor de $F_{0.01}$ con $\alpha - 1 = 4 - 1 = 3$ y $(\alpha - 1)(b - 1) = (4-1)(9-1) = 24$ grados de libertad; para bloques rechazamos la hipótesis nula si $F > 3.36$, el valor de $F_{0.01}$ para $b - 1 = 9 - 1 = 8$ y $(\alpha - 1)(b - 1) = (9-1)(4-1) = 24$ grados de libertad

TABLA 18. Diseño experimental aleatorizado completamente por bloques

BOLOQUE	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TOTAL	MEDIA	n
1	61.9804	55.7657	48.2306	47.9815	213.9582	53.4895	4
2	61.9401	56.2919	48.5871	47.3221	214.1412	53.5353	4
3	60.1777	55.9946	49.0090	47.7300	212.9113	53.2278	4
4	53.0000	49.9951	32.6360	31.1983	166.8294	41.7073	4
5	53.9273	48.8739	32.0100	30.0934	164.9046	41.2261	4
6	52.6609	49.0552	32.5997	31.8640	166.1798	41.5449	4
7	44.0961	42.3950	25.6303	23.0012	135.1226	33.7806	4
8	42.9435	39.8367	22.4150	21.0682	126.2634	31.5658	4
9	43.8273	42.0026	25.2084	22.6395	133.6778	33.4194	4
TOTAL	474.5533	440.2107	316.3261	302.8982	1533.9883		
MEDIA	52.7214	48.9123	35.1473	33.6554		85.2216	
k	9	9	9	9			36

T.. = 1533.9883 Y..= 85.2216 K = 9 n = 4 N = 36

TABLA 19. Análisis de varianza del método de extracción por solvente

FUENTE	SC	GL	MC	RV = Fo
TRATAMIENTO	2554.90	8	319.36	46.08
BLOQUE	2501.75	3	833.92	120.34
ERROR	166.33	24	6.93	
TOTAL	5222.99	35		

Dado que $F_{tr} = 46.08$ sobrepasa a 4.72, el valor de $F_{0.01}$ con 3 y 24 grados de libertad, se concluye que si existe un aumento significativo en cuanto a la relación semilla: solvente, por lo que es mejor utilizar por 1 kilo de semilla 9 litros de solvente. También, puesto que $F_{Bl} = 120.34$ excede a 3.36, el valor de $F_{0.01}$ con 8 y 24 grados de libertad, se colige que las diferencias entre los resultados obtenidos por los cuatro procesos son significativos, es decir que la división por bloques fue eficaz; por lo que la extracción de aceite por solvente se realiza mejor si se aplica un molido, laminado y cocción.

Teniendo en cuenta los resultados de la preexperimentación y del análisis de varianza podemos concluir que por 1 kilogramo de semilla se debe adicionar a la extracción 9 litros de solvente con un tamaño de partícula de 1.5 – 2 mm y realizado las etapas de molienda, laminación y cocción de la almendra, ya que en promedio se obtuvo un 61.37 % de aceite Inchi.

3.2.2 Aceite obtenido por prensado. De acuerdo a los resultados obtenidos de la preexperimentación de extracción mecánica (prensa hidráulica), mencionados en la tabla 20, podemos decir que para un tiempo de 20 minutos, una presión de 800 psi y un diámetro de partícula de 7-8 mm el promedio en % de la almendra con vapor fue de 22.2758, y para la almendra sin vapor fue de 19.6452. Para el mismo tiempo y la misma presión pero un diámetro de partícula de 3-4 mm, el promedio en % de la almendra con vapor fue de 24.2078, y para la almendra sin vapor fue de 20.5779.

Para un tiempo de 30 minutos, una presión de 1000 psi y un diámetro de partícula de 7-8 mm el promedio en % de la almendra con vapor fue de 24.2109m, y para la almendra sin vapor fue de 21.0462. Para el mismo tiempo

y la misma presión pero un diámetro de partícula de 3-4 mm, el promedio en % de la almendra con vapor fue de 26.1791, y para la almendra sin vapor fue de 21.6677.

Para un tiempo de 40 minutos, una presión de 800 psi y un diámetro de partícula de 7-8 mm el promedio en % de la almendra con vapor fue de 25.7807; para la almendra sin vapor fue de 22.8856. Para el mismo tiempo y la misma presión pero un diámetro de partícula de 3-4 mm, el promedio en % de la almendra con vapor fue de 30.6876; para la almendra sin vapor fue de 24.9583.

Y para un tiempo de 50 minutos, una presión de 1000 psi y un diámetro de partícula de 7-8 mm el promedio en % de la almendra con vapor fue de 29.7720; para la almendra sin vapor fue de 26.6742. Para el mismo tiempo y la misma presión pero un diámetro de partícula de 3-4 mm, el promedio en % de la almendra con vapor fue de 36.0016; para la almendra sin vapor fue de 28.5176.

TABLA 20. Cantidad de aceite extraído por prensado

ENSAYO	TAMAÑO DE MUESTRA (Gramos)	TIEMPO (Minutos)	PRESION (Psi)	$\varnothing_1 = 7 - 8 \text{ mm}$		$\varnothing_2 = 3 - 4 \text{ mm}$	
				CON COCCIÓN (%)	SIN COCCIÓN (%)	CON COCCIÓN (%)	SIN COCCIÓN (%)
1	100	20	800	22.5674	19.1919	24.5220	20.5614
2	100	20	800	21.9087	19.6713	23.9957	20.3145
3	100	20	800	22.3514	20.0725	24.1058	20.8579
4	100	30	1000	23.9809	21.1512	26.3015	21.6978
5	100	30	1000	24.0879	20.9045	26.2234	21.9406
6	100	30	1000	24.5641	21.0830	26.0125	21.3647
7	100	40	800	25.4318	23.8007	30.1840	25.4321
8	100	40	800	26.0675	22.2521	31.0098	24.7890
9	100	40	800	25.8743	22.6041	30.8769	24.6543
10	100	50	1000	29.5642	26.7563	35.9103	28.7897
11	100	50	1000	29.7098	26.7314	36.1078	28.4653
12	100	50	1000	30.0601	26.5349	35.9867	28.2980

TABLA 21. Diseño experimental aleatorizado completamente por bloques

BLOQUES	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TOTAL	MEDIA	n
1	22.5674	19.1919	24.5220	20.5614	86.8427	21.7106	4
2	21.9087	19.6713	23.9957	20.3145	85.8902	21.4725	4
3	22.3514	20.0725	24.1058	20.8579	87.3876	21.8469	4
4	23.9809	21.1512	26.3015	21.6978	93.1314	23.2828	4
5	24.0879	20.9045	26.2234	21.9406	93.1564	23.2891	4
6	24.5641	21.0830	26.0125	21.3647	93.0293	23.2573	4
7	25.4318	23.8007	30.1840	25.4321	104.8486	26.2121	4
8	26.0675	22.2521	31.0098	24.7890	104.1184	26.0296	4
9	25.8743	22.6041	30.8769	24.6543	104.0096	26.0024	4
10	29.5642	26.7563	35.9103	28.7897	121.0205	30.2551	4
11	29.7098	26.7314	36.1078	28.4653	121.0143	30.2535	4
12	30.0601	26.5349	35.9867	28.2980	120.8797	30.2199	4
TOTAL	306.1681	270.7539	351.2364	287.1353	1215.2936		
MEDIA	25.5140	22.5628	29.2697	23.9279		405.0978	
K	12	12	12	12			48

T.. = 1215.2936 Y.. = 85.2216 K = 4 n = 12 N = 48

Considerando los diferentes ensayos como tratamientos y los procesos como bloques, se obtiene la tabla de análisis de varianza adecuada con un nivel de significancia de 0.01 si existen diferencias entre los procesos.

- Hipótesis nula: $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < 60$; $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3 < \beta_4 < 60$

Hipótesis alterna: todas las $\alpha \geq 60$; también todas las β

- Nivel de significancia: $\alpha = 0.01$
- Criterio: para tratamientos rechazamos la hipótesis nula si $F > 4.45$, el valor de $F_{0.01}$ con $\alpha - 1 = 4 - 1 = 3$ y $(\alpha - 1)(b - 1) = (4-1)(12-1) = 33$ grados de libertad; para bloques rechazamos la hipótesis nula si $F > 2.86$, el valor de $F_{0.01}$ para $b - 1 = 12 - 1 = 11$ y $(\alpha - 1)(b - 1) = (12-1)(4-1) = 33$ grados de libertad

TABLA 22. Análisis de varianza del método de extracción mecánico

FUENTE	SC	GL	MC	RV = Fo
TRATAMIENTO	509.2966	3	46.2996	6.70
BLOQUE	302.1363	11	100.7121	14.57
ERROR	228.089	33	6.9117	
TOTAL	1039.5219	47		

Dado que $F_{tr} = 6.70$ sobrepasa a 4.45, el valor de $F_{0.01}$ con 3 y 33 grados de libertad, se concluye que existen diferencias en la eficacia de los cuatro procesos. También, puesto que $F_{Bl} = 14.57$ excede a 2.86, el valor de $F_{0.01}$ con 11 y 33 grados de libertad, se colige que las diferencias entre los resultados obtenidos por los doce ensayos son significativos, es decir la extracción por presión se realiza mejor si la semilla es molida y sufre una cocción.

El mayor porcentaje de extracción en promedio de aceite se obtuvo a una presión de 1000 psi, un tiempo de 50 minutos y un diámetro de partícula de 3-4 mm, para una semilla molida y con cocción, con un valor de 36.0016%, lo que nos indica que entre mas tiempo, menor diámetro de partícula y mayor presión, el rendimiento de extracción de aceite es mucho mayor.

3.3 EXPERIMENTACIÓN

Con base en los resultados anteriores se procedió a hacer la experimentación final con el fin de determinar el proceso que permitiría obtener un mejor rendimiento en cuanto a la extracción del aceite Inchi para los métodos, mecánico y por solventes. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 23 y 24.

3.3.1 Aceite obtenido por solvente. En esta experimentación se quiso estudiar la capacidad de extracción del solvente con una cantidad de semilla de 0.5; 1; 1.5 kilogramos, corroborando lo obtenido en la preexperimentación. Según los resultados mostrados en la tabla 23 se observa que el porcentaje de aceite Inchi extraído de la almendra para el lote 1 fue del 60%, para el lote 2 fue del 60% y para el lote 3 fue de 60.0301%.



Figura 12. Aceite Inchi obtenido por solventes (vista frontal)



Figura 13. Aceite Inchi obtenido por solventes (vista superior)

- (1) Aceite Inchi obtenido por solvente (lote 1)
- (2) Aceite Inchi obtenido por solvente (lote 2)
- (3) Aceite Inchi obtenido por solvente (lote 3)

En las figuras 12 y 13 se puede observar el aceite obtenido de la experimentación por solvente el cual tuvo que ser filtrado para retirar partículas e impurezas que desfavorecen su calidad. El aceite muestra un aspecto favorable, con características sensoriales agradables como su color claro, su brillo, y olor dulce, las cuales son analizadas mas adelante.

TABLA 23. Cantidad de aceite Inchi extraído por solvente (Hexano)

TAMAÑO DE MUESTRA (kilos)	TIPO DE TRATAMIENTO	RELACION SEMILLA: SOLVENTE	TIEMPO (Horas)	TAMAÑO DE PARTICULA (mm)	CANTIDAD DE ACEITE EXTRAIDO (%)
0.5	Semilla molida, laminada con vapor	1:9	24	1.8	60.4986
1	Semilla molida, laminada con vapor	1:9	24	1.5	59.9874
1.5	Semilla molida, laminada con vapor	1:9	24	1.7	60.0301

De esta parte podemos concluir que el proceso de cocción y laminación favorecen el rendimiento en la extracción y que entre mas pequeño sea el tamaño de partícula, mejor absorbe el solvente, produciendo una mayor extracción. Aunque la etapa de extracción se realizo en frío la cantidad de aceite Inchi obtenido fue alrededor del 60%, esto se debió a que la relación semilla: solvente fue de 1 kilogramo de almendra por 9 litros de hexano. En los resultados obtenidos por extracción en los tres lotes no se encontró diferencia significativa, aunque se extrajo mas aceite en el lote 1 y 3.

3.3.2 Aceite obtenido por prensado. En la extracción mecánica también se quiso estudiar la capacidad de extracción de la prensa hidráulica, con una cantidad de semilla de 0.5; 1; 1.5 kilogramos, corroborando de igual forma lo que se realizo en le preexperimentacion. De acuerdo a los resultados mostrados en la tabla 24, podemos observar que para 0.5 kilogramos de semilla, el porcentaje de extracción de aceite Inchi fue de 35.7801%, para 1 kilogramo de semilla fue de 36.0002 % y para 1.5 kilogramos de semilla fue de 35.9453%.



Figura 14. Aceite Inchi obtenido por prensado (vista frontal)



Figura 15. Aceite Inchi obtenido por prensado (vista superior)

- (4) Aceite Inchi obtenido por prensado (lote 1)
- (5) Aceite Inchi obtenido por prensado (lote 2)
- (6) Aceite Inchi obtenido por prensado (lote3)

Las figuras 14 y 15 nos muestran el aceite obtenido de la extracción mecánica (prensa hidráulica) también filtrado ya que por este método el aceite que se extrae sale con mayor cantidad de partículas de la misma almendra igual que con algunas impurezas y residuos. En este aceite podemos observar una buena presentación, con características sensoriales agradables analizadas mas adelante.

De esta experimentación podemos concluir que el proceso de cocción favorece el rendimiento en la extracción, igual que el tamaño de partícula. Y entre mas prolongado sea el tiempo y mayor la presión la cantidad de aceite extraído aumenta. Aunque este proceso mecánico conserva mejor las características tanto fisicoquímicas como sensoriales del aceite, el rendimiento de este método no es muy alto, ya que en promedio se obtuvo un 35% de aceite Inchi. En este método tampoco se encontró diferencias significativas en la extracción de los tres lotes.

TABLA 24. Cantidad de aceite extraído por prensado

TAMAÑO DE MUESTRA (Kilos)	TIPO DE TRATAMIENTO	TIEMPO (minutos)	PRESIÓN (Psi)	TAMAÑO DE PARTICULA (mm)	CANTIDAD DE ACEITE EXTRAIDO (%)
0.5	Molida, con vapor	50	1000	3.2	35.7801
1	Molida, con vapor	50	1000	3.5	36.0002
1.5	Molida, con vapor	50	1000	3.3	35.9453

3.4 TRATAMIENTOS FINALES

Aunque el aceite Inchi extraído muestra una buena calidad es necesario realizar procesos que lleven el aceite crudo a condiciones exigidas para el uso como aceite comestible refinado, en nuestro caso normas ICONTEC.

Como hasta el momento no se tiene una norma específica del aceite Inchi, se reviso una variedad de aceites de uso comestible y sus restricciones en cuanto a calidad, tomándose el rango de estos valores como objetivo para la refinación del aceite Inchi.

Los resultados obtenidos en el desgomado y neutralización del aceite Inchi, son reportados en las tablas 25 y 26.

En la figura 16 se muestra el aceite Inchi, desgomado y neutralizado. Su aspecto muestra la calidad del mismo, tiene brillo, color amarillo claro, libre de gomas (fosfátidos) y con una acidez estable, listo para ser comercializado como un producto comestible.



Figura 16. Aceite Inchi desgomado y neutralizado

3.4.1 Aceite obtenido por solvente. El aceite crudo Inchi extraído por solvente mostró (ver tabla 25) un contenido de gomas (fosfátidos) para el lote 1 de 6.6250 gramos lo que en porcentaje equivale a un 2.5%; para el lote 2, se obtuvo 13.4421 gramos que en porcentaje equivale a 2.8% y para el lote 3 se obtuvo en gomas 18.6203 gramos equivalente a un 2.8%.

En cuanto a la neutralización se observó que la cantidad de jabón retirada en el aceite Inchi para el lote 1 fue de 18.36 gramos equivalente a un 7.11 %, para el lote 2 fue de 32.1504 gramos equivalente a un 6.9% y para el lote 3 fue de 45.87 gramos equivalente a un 7.10%.

TABLA 25. Aceite desgomado y neutralizado obtenido por solvente

PROCESO	VARIABLE	RESULTADOS (g)		
		LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3
Desgomado	Volumen aceite virgen	265	480	665
	Volumen aceite desgomado	258	466	646
	Cantidad de gomas	6.6250	13.4421	18.6203
Neutralización	Volumen aceite desgomado	258	466	646
	Volumen aceite neutralizado	239	433	600
	Cantidad de jabón	18.3604	32.154	45.87

3.4.2 Aceite obtenido mecánicamente. El aceite crudo Inchi extraído por prensa mostró (ver tabla 26) un contenido de gomas (fosfátidos) para el lote 1 de 3.6451 gramos lo que en porcentaje equivale a un 2.7%; para el lote 2, se obtuvo 7.4365 gramos que en porcentaje equivale a 2.6% y para el lote 3 se obtuvo en gomas 12 gramos equivalente a un 2.6%.

En cuanto a la neutralización se observó que la cantidad de jabón retirada en el aceite Inchi para el lote 1 fue de 9.2315 gramos equivalente a un 7.1 %, para el lote 2 fue de 19.043 gramos equivalente a un 6.85% y para el lote 3 fue de 30.102 gramos equivalente a un 7%.

TABLA 26. Aceite desgomado y neutralizado obtenido mecánicamente

PROCESO	VARIABLE	RESULTADOS (g)		
		LOTE 1	LOTE 2	LOTE 3
Desgomado	Volumen aceite virgen	135	286	446
	Volumen aceite desgomado	130	278	430
	Cantidad de gomas	3.6451	7.4365	12
Neutralización	Volumen aceite desgomado	130	278	430
	Volumen aceite neutralizado	120	258	399
	Cantidad de jabón	9.2315	19.043	30.102

El procedimiento de desgomado y neutralización dio como resultado la reducción de fosfatidos y ácidos grasos libres; mejorando la calidad del aceite.

3.5 ANALISIS DE CALIDAD

En las tablas 27 y 28 se informan los resultados de la calidad del aceite crudo para cada extracción; la descripción de los métodos utilizados se presentan en la tabla 10 y la base de los cálculos se encuentra en el anexo I.

3.5.1 Aceite obtenido por solvente

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de calidad del aceite Inchi, se observa que esta caracterizado por su relación alta de ácidos grasos esenciales en su composición.

TABLA 27. Análisis de calidad para el aceite Inchi obtenido por solventes

ANÁLISIS O PRUEBAS	MUESTRAS			PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
	1	2	3		
Índice de refracción	1.4645	1.460	1.4601	1.4615	0.001
Índice de rancidez hidrolítica	negativa	negativa	negativa	negativa	-----
Índice de aldehídos grasos	0.0201	0.0202	0.0201	0.0201	0.00003
Índice de esteres (meq/g)	60.5	60.07	60.07	60.21	0.35
Densidad (g/ml)	0.9162	0.9183	0.9168	0.9171	0.0005
Humedad (% base húmeda)	0.060	0.060	0.067	0.062	0.002
Índice de yodo (meq/g)	63.99	74.50	83.90	74.13	4.7
Índice de saponificación (meq/g)	179.59	183.47	190.15	184.40	2.5
Índice de peróxidos (meq/g)	25.41	25.58	24.94	25.31	0.16
Índice de acidez (% de ácido oleico)	3.13	3.11	3.10	3.11	0.0075

Se puede observar en el índice de refracción es de 1.4615, valor muy similar al de aceite de oliva que es de 1.464; en comparación con otros se encuentra por debajo, como el de soya que tiene un valor de 1.476, o el de girasol que es de 1.475. También se puede observar que las propiedades como el índice de refracción (ver tabla 27) no se ven afectadas por el método de extracción.

La densidad mencionada en la tabla anterior se encuentra en un valor promedio del 0.9171 g/cm³ similar a la de aceite de oliva que es de 0.915. En el ensayo de Kreiss la prueba dio como resultado negativo ya que el anillo formado fue de color amarillo lo que significa que no hay rancidez en el aceite, aunque se notaba la presencia de puntos rosas.

En cuanto al índice de acidez (ver tabla 27) que es la característica mas importante de un aceite pues da la calidad de este, se observa que es un poco alta , esto acelera la auto oxidación y disminuye la estabilidad del aceite; por ello es importante neutralizarlo. Las causas de la alta acidez puede ser el contenido de humedad en el almacenamiento y el tiempo en el cual son dejadas las semillas dentro del pericarpio.

El índice de saponificación y el índice de yodo mencionados en la tabla 27, son relativamente bajos encontrándose valores de 184.40 y 74.13 meq/g, que se encuentran por debajo de índices como el de oliva que son de 196 y 88 meq/g; y el de palma que se encuentra en valores de 190 y 88 meq/g respectivamente, esto nos dice que el aceite es insaturado, característico de los aceite con alto porcentaje de ácidos grasos insaturados como el oleico, linoleico y linolenico, ubicándola dentro de las semillas oleaginosas como el de palma y de oliva, ya mencionado anteriormente.

En cuanto al índice de peróxidos, su valor obtenido fue muy alto, 25.31 meq/g, ya que para otro aceites su índice se encuentra en una rango de 12 a 19 meq/g, lo que indica que el aceite puede sufrir un enranciamiento mas rápido que los otros tipos de aceites; indicando un alto grado de alteración oxidativa.

3.5.2 Aceite obtenido mecánicamente. El aceite Inchi obtenido mecánicamente muestra unos resultados con poca diferencia en cuanto al aceite obtenido por solventes. Claro esta que este proceso produce una mejor calidad en el aceite extraído.

TABLA 28. Análisis de calidad para el aceite Inchi obtenido mecánicamente

ANÁLISIS O PRUEBAS	MUESTRAS			PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
	1	2	3		
Índice de refracción	1.4768	1.4762	1.4762	1.4761	0.0002
Índice de rancidez hidrolítica	negativa	negativa	negativa	negativa	-----
Índice de aldehídos grasos	0.0198	0.0196	0.0196	0.0197	0.00006
Índice de esteres (meq/g)	177.16	174	165.88	172.35	2.7
Densidad (g/ml)	0.9156	0.9189	0.9104	0.9150	0.002
Humedad (% base húmeda)	0.05	0.05	0.33	0.14	0.07
Índice de yodo (meq/g)	122.14	98.95	79.13	100.07	10.15
Índice de saponificación (meq/g)	177.17	174.01	165.89	172.35	2.7
Índice de peróxidos (meq/g)	13.44	13.01	9.96	12.13	0.9
Índice de acidez (% de ácido oleico)	3.33	1.5	1.5	2.11	0.5

En el índice de refracción (ver tabla 28), podemos observar que el valor obtenido de 1.4761 no se diferencia del determinado en el aceite extraído por solvente, encontrándose dentro de los valores estipulados por la Norma Técnica Colombiana de aceites.

La densidad mencionada en la tabla anterior se encuentra en un valor promedio del 0.9150 g/cm^3 , tampoco se obtuvo diferencia con el aceite extraído por solventes, y su valor es aproximado al de otros aceites como el de soya de 0.924 g/cm^3 o el de oliva de 0.915 g/cm^3 . En el ensayo de Kreiss la prueba dio un resultado negativo, ya que el anillo formado fue de color amarillo lo que significa que no hay rancidez en el aceite, aunque se formaron pequeños puntos rosas.

En cuanto al índice de acidez, se observa valores mas pequeños que en el aceite extraído por solvente, esto nos indica que el proceso por presado mejora la estabilidad del aceite.

El índice de yodo y el índice de saponificación mencionados en la tabla 28, se mantienen entre los valores establecidos, manteniendo una diferencia mínima con respecto al aceite extraído por solvente, esto nos indica de igual forma que el aceite es insaturado, característico de los aceite con alto porcentaje de ácidos grasos insaturados como el oleico, linoleico y linolenico. El valor obtenido en el aceite Inchi en cunato al indice de yodo y saponificación fue de 100 y 172 meq/g, valores que se encontraron por debajo de otros índices como el de soya de 141 y 195 meq/g o el de girasol de 136 y 194 meq/g.

En cuanto a los resultados del índice de peróxido mencionado en la tabla 28, su valor obtenido disminuyo a la mitad, con respecto al del aceite extraído por solvente, siendo de 12.13 meq/g, lo que indica que el aceite contiene menos peróxidos en una extracción mecánica, esto puede deberse a que en un proceso de extracción mecánica la semilla esta menos expuesta a procesos y agentes químicos que pueden acelerar la oxidación.

De este análisis se puede concluir que algunas características del aceite obtenido por solvente no se diferencian mucho en cuanto al extraído mecánicamente, pero en cuanto a acidez y peróxidos su diferencia es significativa. Lo importante es que el aceite Inchi tiene un alto contenido de peróxidos, por lo que es necesario estabilizar el aceite con antioxidantes, ya que las reacciones que se pueden producir, características de los ácidos grasos son, la descomposición por hidrólisis y oxidación. El almacenamiento también influye en su preservación, por ello es importante mantenerlo en condiciones adecuadas tanto en temperatura, como humedad, y luz.

3.5.3 Perfil de ácidos grasos. El perfil de ácidos grasos fue realizado al aceite Inchi extraído por solventes en ACEGRASAS. Este perfil nos muestra la composición del aceite en cuanto a su contenido de ácidos grasos saturados e insaturados. En el cuadro 66 podemos observar los resultados obtenidos.

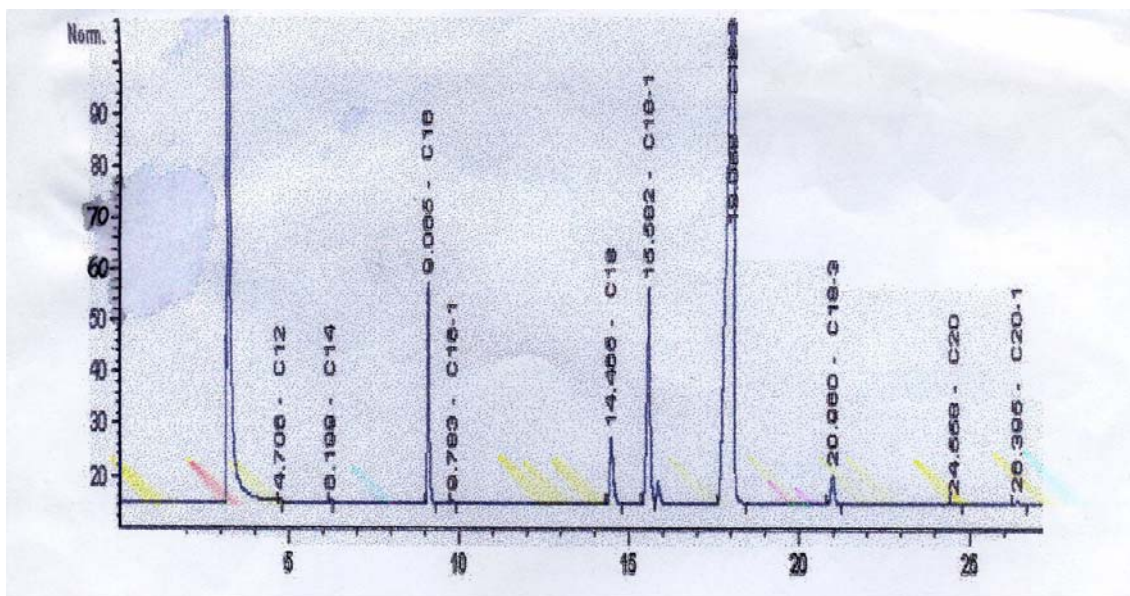


Figura 17. Perfil de ácidos grasos de aceite Inchi extraído por solventes

TABLA 29. Perfil de ácidos grasos del aceite Inchi extraído por solvente

PEAK #	RET TIME (min)	TYPE	WIDTH (min)	AREA (pA*s)	AREA %	NOMBRE	NOMBRE
1	4.706	PP	0.0287	9.0959e-1	0.04294	C12	Mirístico
2	6.199	PB	0.0375	1.48525	0.07012	C14	Palmitico
3	9.065	BB	0.0535	161.52313	7.62570	C16	Esteárico
4	9.783	PB	0.0524	1.60997	0.07601	C16-1	Palmitoleico
5	14.465	BB	0.0928	90.66106	4.28022	C18	Aráquico
6	15.582	VV	0.0948	299.87000	14.15722	C18-1	Oleico
7	18.068	BB	0.1661	1512.57397	71.41042	C18-2	Linoleico
8	20.960	BB	0.0919	41.82738	1.97472	C18-3	Linolenico
9	24.558	BP	0.1153	2.31887	0.10948	C20	Behénico
10	26.395	PB	0.1261	5.36268	0.25318	C20-1	araquidonico

Fuente: ACEGRASAS. 2006

Como se menciona en la tabla 29, el aceite Inchi contiene ácidos grasos tanto saturados como insaturados, entre los cuales se encuentra el palmitico, esteárico, oleico, linoleico, linolenico, entro otros. Los resultados arrojan un mayor contenido de ácidos grasos insaturados, cubriendo un 72% en ácido linoleico y un 14% en ácido oleico; a pesar de que el ácido linolenico también

aporta un gran valor nutricional su contenido en porcentaje en el aceite es del 2%.

TABLA 30. Porcentajes de ácidos grasos en el aceite Inchi

	NOMBRE	TIPO DE ACIDO GRASO	PORCENTAJE %
1	Mirístico	Saturado	0.04
2	Palmítico	Saturado	0.07
3	Esteárico	Saturado	7.63
4	Palmitoleico	Insaturado	0.08
5	Aráquico	Saturado	4.28
6	Oleico	Insaturado	14.16
7	Linoleico	Insaturado	71.41
8	Linolenico	Insaturado	1.97
9	Behénico	Saturado	0.11
10	araquidonico	Insaturado	0.25

En la tabla 31 podemos observar que el porcentaje de contenido de ácidos grasos es mucho mejor que el de otros aceites; ya que siendo los ácidos grasos palmítico y esteárico saturados, en las otras oleaginosas poseen un mayor porcentaje que en el aceite Inchi; y por otro lado los ácidos grasos linoleico y linolenico que son insaturados, contienen un menor porcentaje en los tipos de aceites como soya, palma, oliva y girasol, superando el aceite Inchi en su contenido, excepto por el ácido oleico que tiene un 14%, mas bajo que los otros aceites.

TABLA 31. Porcentajes de ácidos grasos en diferentes tipos de aceites

ACIDO GRASO	% ACEITE INCHI	% ACEITE DE SOYA	% ACEITE DE PALMA	% ACEITE DE OLIVA	% ACEITE GIRASOL
Palmítico	0.07	10.3	43.5	11.0	5.9
Esteárico	7.63	3.8	4.3	2.2	4.5
Oleico	14.16	22.8	36.6	72.5	19.5
Linoleico	71.41	51.0	9.1	7.9	65.7
Linolenico	1.98	6.8	0.2	0.6	-----

La composición de ácidos grasos saturados afectan el nivel de absorción de calcio; mientras que los aceites insaturados no tiene este comportamiento, y es el caso del ácido oleico que tiende a mejorar la absorción del calcio, mientras que el ácido linoleico es el precursor en el organismo del ácido araquidonico, considerado como esencial y cuya deficiencia da como resultado piel seca y poco aumento de peso en el desarrollo de los niños.

Se cree que el ácido linolenico provoca un efecto inhibitor en la conversión el ácido linoleico a ácido araquidonico, además de ser el precursor de inestabilidad del aceite, por tanto es posible someter el aceite a una hidrogenación selectiva tanto para mejorar su estabilidad como su valor nutricional, reduciendo la fracción de ácido linolenico.

De los resultados es importante anotar que el aceite Inchi desgomado y neutralizado se ajusta a los valores establecidos en la Norma Técnica Colombiana para aceites comestibles de mesa y cocina. Además las condiciones de extracción son las utilizadas en el procesamiento de otro tipo de oleaginosas.

El color del aceite, tanto extraído por presión como por solventes, es amarillo brillante que a primera vista induce a pensar en eliminar la etapa de blanqueo o por lo menos asegura que esta etapa sea mas benévola que en otros procedimiento para la extracción de aceite. En cuanto a su olor tanto crudo como refinado, se encuentra agradable, igual que la almendra o semilla.

4. PROPUESTA TEORICA DEL PROCESO DE OBTENCION DE ACEITE DE LA NUEZ INCHI A NIVEL DE PLANTA PILOTO

En este capitulo se mostraran los resultados obtenidos en los balances de materia y energía para los procesos de extracción mecánico y por solventes del aceite Inchi.

Se hará una selección dependiendo de los rendimientos obtenidos del aceite, para poder establecer el mejor proceso y llevarlo a condiciones de producción más grandes.

4.1 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN

Un proceso de obtención del aceite Inchi, como fruto amazónico busca un mejoramiento del nivel de vida de la población Amazónica de Colombia, mediante un proceso de adecuación tecnológica. Con base en los datos obtenidos en los dos procesos de extracción, se seleccionara el mejor método, ya que los rendimientos obtenidos son el parámetro para elegir el proceso, incluyendo la calidad del aceite.

4.1.1 Proceso de extracción por solvente. Se desarrolló este proceso según las etapas descritas en los numerales 2.3.1 y 2.4.1. En la Figura 18 se presentan las operaciones del proceso de extracción por solvente realizado en la planta piloto de la Universidad de la Salle.

➤ Descripción

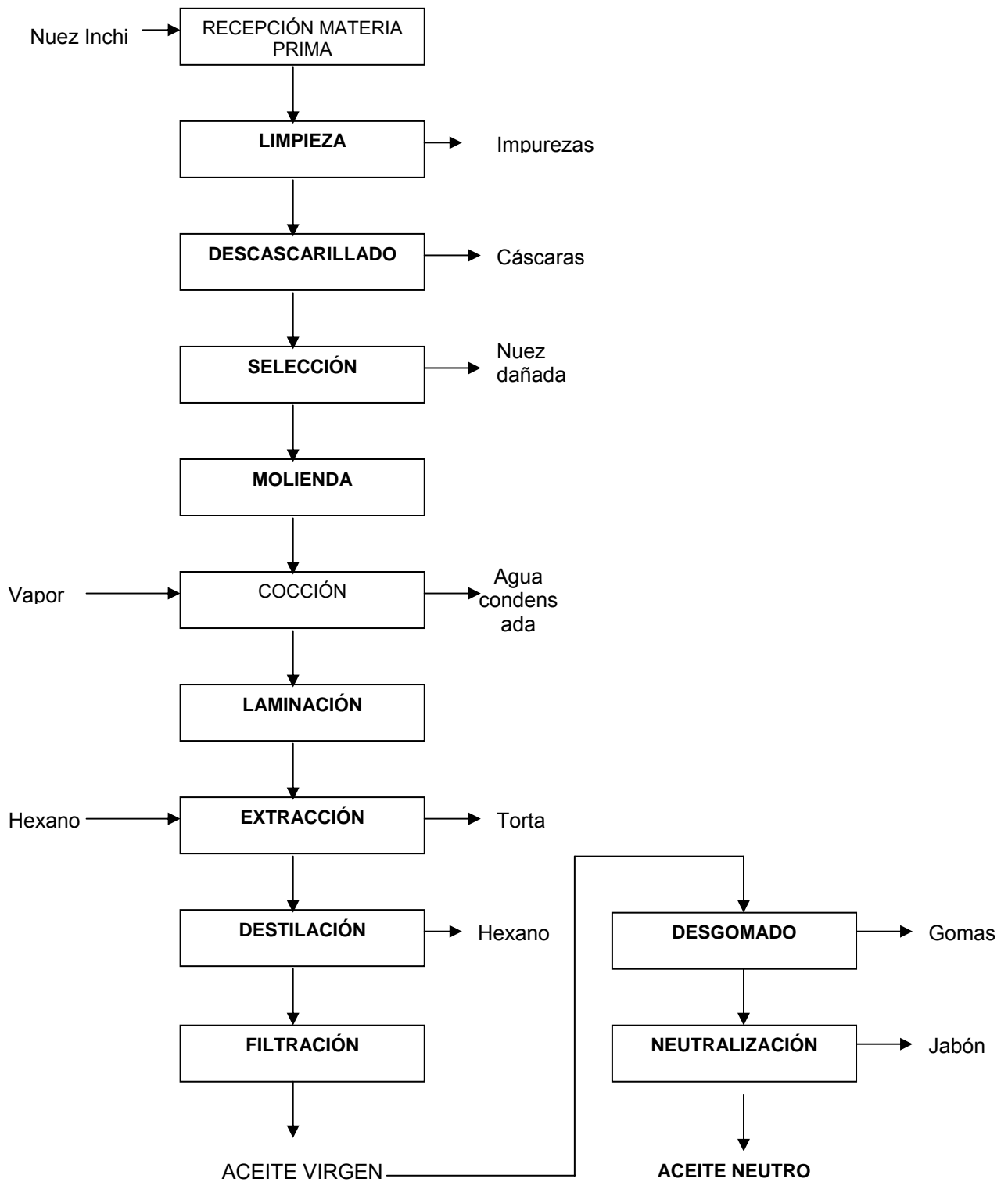


Figura 18. Diagrama de bloques de obtención de aceite por solvente

➤ Balance de materia. Para conocer el rendimiento del proceso de extracción de aceite por solvente, se realizó el balance de materia para una base de cálculos de 0.5 y 1.5 kilogramos de nuez Inchi, con impurezas que se reciben en la recepción. En la tabla 32 y 33 se resume el balance de materia y en el anexo E se encuentran los cálculos realizados.

TABLA 32. Balance de materia del proceso de extracción por solvente (lote 1)

OPERACIÓN	MATERIALES	ENTRADA (g)	SALIDA (g)
LIMPIEZA	Nuez con impurezas	600	
	Impurezas		1.8086
DESCASCARILLADO	Almendra	598.1914	
	Cáscaras		96.7391
SELECCIÓN	Almendras buenas	501.4523	
	Almendras dañadas		20.1132
MOLIENDA	Almendras molidas	481.3391	
	perdidas		11.3391
COCCIÓN	Vapor	395	
	Almendra molida	470	
	Agua condensada		2400 ml
LAMINACION	Almendra	865	
	perdidas		175
EXTRACCIÓN	Almendra	690	
	Hexano	6210 ml	
	Almedra + hexano		173.8062
DESTILACIÓN	Hexano + aceite	5870 ml	
	hexano		5570 ml
	aceite		267.4838

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{\text{kg de aceite extraído}}{\text{kg de aceite contenido en el material}} \times 100$

kg de aceite contenido en el material

Eficiencia de extracción = $\frac{0.27 \text{ kg}}{0.3 \text{ kg}} \times 100 = 90\%$

0.3 kg

TABLA 33. Balances de materia del proceso de extracción por solvente (lote 3)

OPERACIÓN	MATERIALES	ENTRADA (g)	SALIDA (g)
LIMPIEZA	Nuez con impurezas	1500	
	Impurezas		3
DESCASCARILLADO	Almendra	1497	
	Cáscaras		96.7391
SELECCIÓN	Almendras	1300	
	Almendras dañadas		20.1132
MOLIENDA	Almendras	1264	
	perdidas		11.3391
COCCIÓN	Vapor	660	
	Almendra molida	1240	
	Agua condensada		2400 ml
LAMINACION	Almendra	1900	
	perdidas		350
EXTRACCIÓN	Almendra	1550	
	Hexano	13950 ml	
	Almedra + hexano		443.2661
DESTILACIÓN	Hexano + aceite	13140 ml	
	hexano		12411.8 ml
	aceite		667.2939

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{\text{kg de aceite extraído}}{\text{kg de aceite contenido en el material}} \times 100$

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{0.66 \text{ kg}}{0.72 \text{ kg}} \times 100 = 91.66 \%$

En el proceso de extracción por solvente para el lote 1, cantidad de 0.5 kilogramos de almendra, se obtiene una eficiencia del 90%, es decir el 10% no se extrae, si no se queda en la torta y para el lote 3, cantidad de 1.5 kilogramos de almendra, se obtiene una eficiencia del 91.66%, es decir el 8.34% no se extrae, si no se queda en la torta.

➔ Balance de energía. También fue importante realizar el balance de energía, para saber la cantidad de energía que consume los equipos para las etapas de extracción. Ya que la mayoría de los procesos se realizaron de forma manual, solo se pudo calcular el consumo para el autoclave, la laminadora, y la torre de destilación, resultados mencionados en la tabla 34, cuyo procedimiento se describe en el anexo E. Se realizaron los procedimientos para cantidades de 0.5 y 1.5 kilogramos de semilla.

TABLA 34. Balance de energía del proceso de extracción por solvente

PROCESO	OPERACIÓN	TIPO DE ENERGÍA	CONSUMO kWh	CALOR KJ/s
1	COCCIÓN	Térmica		1.292
	LAMINACIÓN	Eléctrica	0.0596	
	DESTILACIÓN	Térmica		1.045
3	COCCIÓN	Térmica		2.806
	LAMINACIÓN	Eléctrica	0.134226	
	DESTILACIÓN	Térmica		2.986

El consumo de energía y de calor fue relativamente bajo ya que los tiempos de proceso no sobrepasaban los 20 minutos, y como las cantidades a trabajar eran muy pequeñas, no cubrían la capacidad de todo el equipo.

4.1.2 Proceso de extracción mecánico. Se desarrollo este proceso según las etapas descritas en los numerales 2.3.2 y 2.4.2. En la Figura 19 se presentan las operaciones del proceso de extracción mecánico realizado de igual forma, en la planta piloto de la Universidad de la Salle.

➤ Descripción

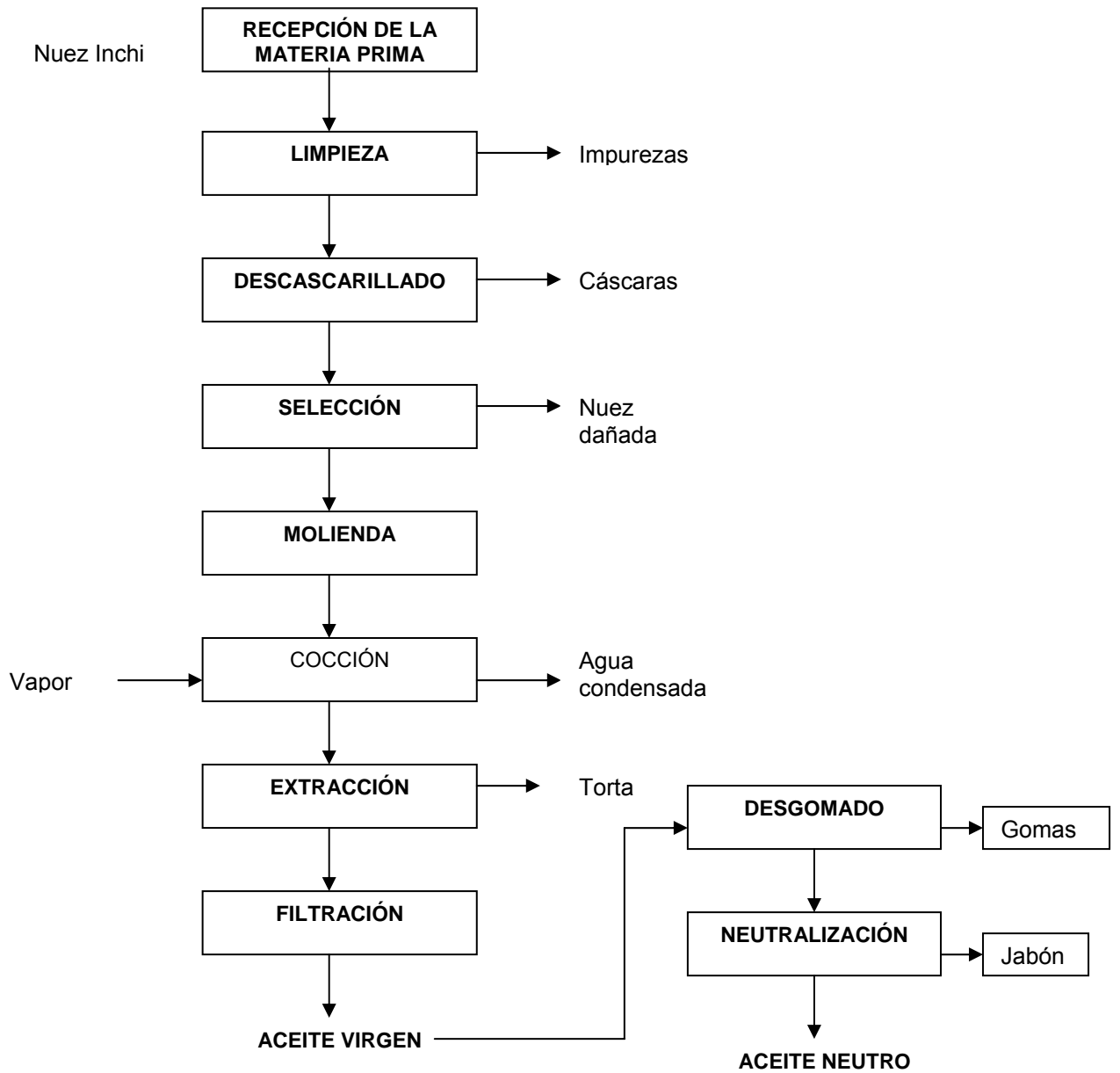


Figura 19. Diagrama de bloques de obtención mecánica de aceite

➤ Balance de materia. En el proceso de extracción mecánico de aceite Inchi , Para determinar los rendimientos, se realizo el balance de materia para una base de cálculos de 0.5 y 1.5 kilogramos de nuez Inchi, con impurezas que se reciben en la recepción. En la tabla 35 y 36 se resume el balance de materia y en el anexo E se describen los cálculos realizados.

TABLA 35. Balance de materia del proceso de extracción mecánico (lote 1)

OPERACIÓN	MATERIALES	ENTRADA (g)	SALIDA (g)
LIMPIEZA	Nuez con impurezas	500	
	Impurezas		2.1483
DESCASCARILLADO	Almendra	497.8517	
	Cáscaras		89.1934
SELECCIÓN	Almendras	408.6583	
	Almendras dañadas		10.3208
MOLIENDA	Almendras	398.3375	
	perdidas		13.3375
COCCIÓN	Vapor	465	
	Almendra molida	385	
	Agua condensada		2400 ml
EXTRACCIÓN	Almendra	850	
	Aceite	135.9644	
	Torta		244

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{\text{kg de aceite extraído} \times 100}{\text{kg de aceite contenido en el material}}$

kg de aceite contenido en el material

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{0.136 \text{ Kg}}{0.51 \text{ Kg}} \times 100 = 26.66\%$

0.51Kg

TABLA 36. Balance de materia del proceso de extracción mecánico (lote 3)

OPERACIÓN	MATERIALES	ENTRADA (g)	SALIDA (g)
LIMPIEZA	Nuez con impurezas	1500	
	Impurezas		3.0017
DESCASCARILLADO	Almendra	1496.9983	
	Cáscaras		194.5501
SELECCIÓN	Almendras	1302.4482	
	Almendras dañadas		25.3061
MOLIENDA	Almendras	1277.1421	
	perdidas		27.1421
COCCIÓN	Vapor	650	
	Almendra molida	1250	
	Agua condensada		2400 ml
EXTRACCIÓN	Almendra	850	
	Aceite		446.4406
	Torta		795

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{\text{kg de aceite extraído} \times 100}{\text{kg de aceite contenido en el material}}$

kg de aceite contenido en el material

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{0.446 \text{ kg} \times 100}{1.14 \text{ kg}} = 39.122\%$

1.14 kg

➤ Balance de energía. De igual forma que en el proceso de extracción por solvente, en la extracción mecánica se realizó el balance de energía, para conocer la cantidad de energía que consume los equipos para las etapas de extracción mecánica. Ya que la mayoría de los procesos se realizaron de forma manual, solo se pudo calcular el consumo para el autoclave, estos resultados son mencionados en la tabla 37, cuyo procedimiento se describe en el anexo E. Se realizaron los procedimientos para cantidades de 0.5 y 1.5 kilogramos de semilla igual que en el proceso por solventes.

TABLA 37. Balance de energía del proceso de extracción mecánico

PROCESO	OPERACIÓN	TIPO DE ENERGÍA	CALOR KJ/s
1	COCCIÓN	Térmica	1.279
3	COCCIÓN	Térmica	2.81

Con base en los datos obtenidos en el balance de materia y energía para los métodos de extracción por solvente y mecánico, se concluye que el mejor método de extracción de aceite Inchi es por solventes, ya que los rendimientos son muy altos; alrededor de un 90%, en cambio para la extracción mecánica se obtuvo un %; lo que nos lleva a elegir la extracción por solventes, claro esta que la calidad es un factor primordial para la selección del mismo.

4.2 PROCESO A NIVEL DE PLANTA PILOTO

En la región del Amazonas mas exactamente en el Caquetá se producen aproximadamente 150 toneladas/ hectárea de fruto sin cuezco¹; esta cosecha se produce solo una vez al año. Tomando como base 3750 kilogramos / hectárea, se puede establecer las condiciones de producción de una planta que

¹ SINCHI, 2006

opere diariamente, para iniciar la obtención de aceite Inchi, resultando una fábrica que se puede considerar piloto por el tamaño.

Con los 3750 kilogramos que se producen en el año, se puede establecer un tiempo de trabajo de 200 días, con cantidades de 30 kg diarios para producir suficiente cantidad de aceite Inchi, de tal forma que pueda cubrir las cantidades mínimas para planta piloto. Experimentalmente el rendimiento de extracción es del 60% por lo tanto la cantidad de aceite producido en un día es 18 kilogramos diarios.

Según los datos experimentales la densidad del aceite Inchi es 0.9171 kg/L

$$18 \text{ kg aceite} \times \frac{1 \text{ L}}{0.9171 \text{ kg/L}} = 20 \text{ L. Aceite diarios}$$

En la tabla 38 se muestran las condiciones de producción del aceite Inchi.

TABLA 38. Condiciones de producción

CONDICIONES	VALOR
Semanas de trabajo por mes	4
Días de trabajo por semana	5
Tiempo de extracción en horas	24

4.2.1 Descripción del proceso. El proceso de extracción por solvente comprende las operaciones descritas en el diagrama de bloques de la figura 19. A nivel industrial se recomienda continuar con las mismas operaciones, excepto que en este proceso se incluye el secado, ya que la nuez es recogida directamente de los cultivos y transportada a la planta, este secado se realizara al ambiente; y su almacenamiento se hará en tolvas. Los equipos empleados son los siguientes.

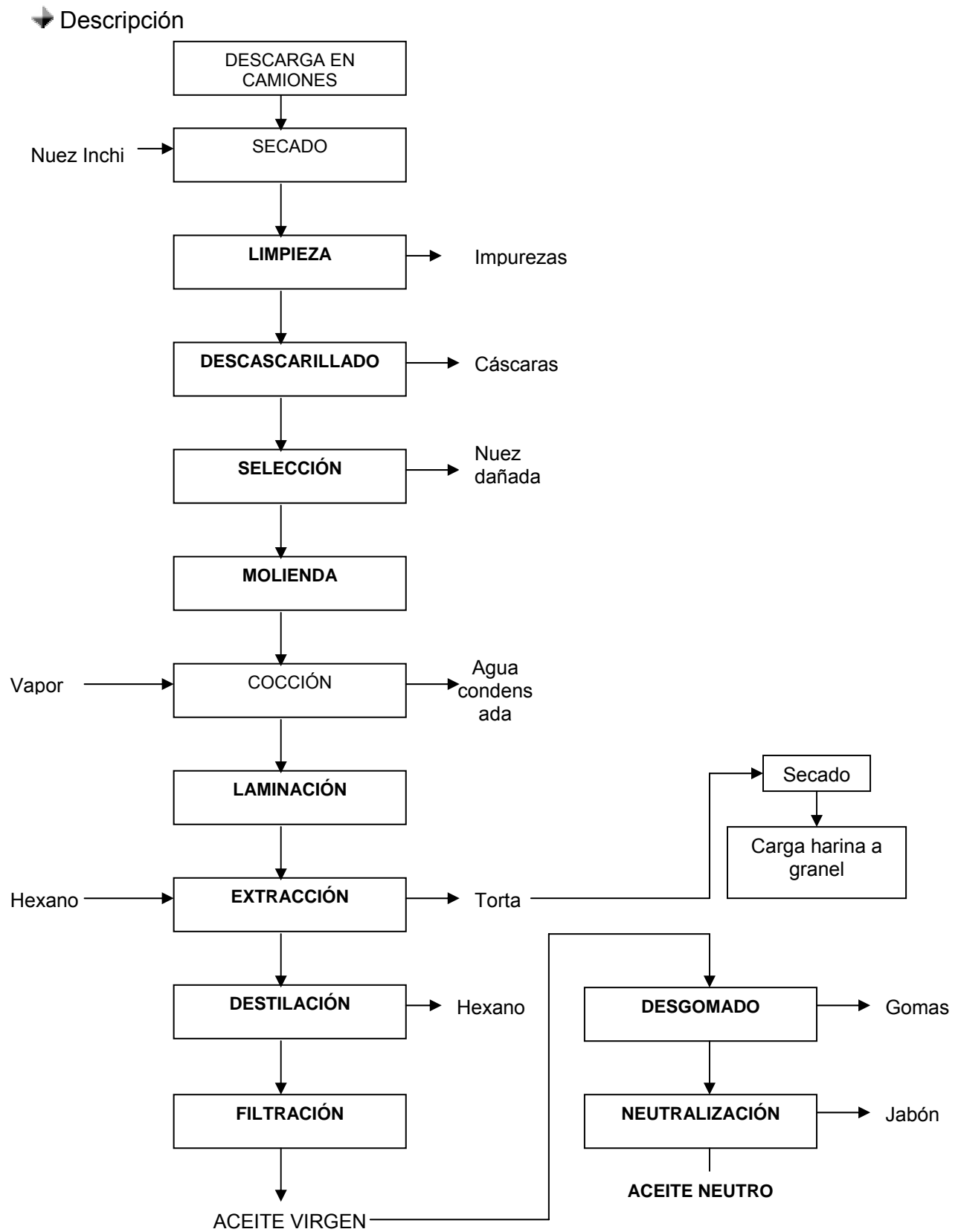


Figura 20. Diagrama de bloques de obtención de aceite por solvente a nivel de planta piloto

➤ Equipos recomendados. Los equipos se seleccionaron de acuerdo al proceso de extracción realizado en la planta piloto de la Universidad de la Salle. A continuación se mencionaran las variables y características de cada uno.

- Tolva de flujo de masa
- Criba giratoria
- Descascarador
- Banda transportadora plana sobre placa continua
- Molino de harina
- Autoclave
- Laminadora
- Tanque de extracción
- Torre de destilación
- Filtro prensa
- Bombas
- Caldera

Limpieza

Para este proceso se utilizará una criba giratoria o de zaranda. Esta criba gira con velocidades relativamente bajas de 15 o 20 rpm. Su capacidad no es muy grande y su eficiencia es relativamente baja, conteniendo mallas de 4, 6, 12 pulgadas. En esta etapa la variable más importante es el tamaño de la nuez, ya que se deben eliminar todas las impurezas.

Descascarillado

En este proceso se utiliza un descascarador mostrado en la figura 21, el cual tiene una capacidad aproximada de 375 kg/h, con un peso neto bruto de 220-330 y un volumen de embarque de 2.50 m³.

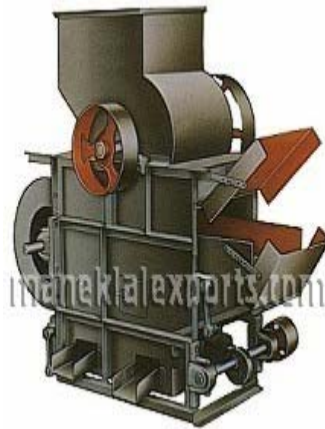


Figura 21. Descascarador

Clasificación

Para esta clasificación se utiliza una banda transportadora plana sobre placa continua, ya que se realizará manualmente esta etapa, el diseño de la banda transportadora se determina de acuerdo a la temperatura y la actividad química de la materia, en nuestro caso se recomienda una selección de caucho natural ya que nuestro material no es aceitoso y resbala fácilmente.

Almacenamiento

Para esta etapa del proceso se utiliza una tolva de flujo de masa, en esta las partículas se segregan pero se reúnen en la descarga, posee un flujo de aire uniforme, su densidad de flujo es constante, no quedan productos en zonas muertas lo que indica que no se degrada el material almacenado. Las variables importantes de esta etapa son el contenido de humedad de la semilla y la temperatura.

Trituración

Para este proceso se utiliza un molino de harina (figura 22), de 12 pulgadas (300mm), para este molino se recomienda un motor de 3 a 6 caballos de fuerza; el molino posee una capacidad de tolva de 30 kg y una producción por hora de 100 a 200 kilogramos, el peso de los dientes es de 6 pulgadas y sus dimensiones son de 0.40 x 0.40 x 0.25 metros. La variable a manejar en este proceso es el tamaño de partícula el cual esta establecido de 1.5 a 2 mm.



Figura 22. Molino

Cocción

En la cocción se utiliza una autoclave para 30 kilogramos de capacidad, la cual tenga como variables la temperatura y la presión de vapor.

Extracción

En la cocción se empleará un tanque de extracción el cual tendrá una capacidad para 300 L, manejando las variables de temperatura, y flujo masico.

Destilación

La torre de destilación tendrá una capacidad para 300 L, la cual maneja como variables, las temperaturas de condensación y tiempo.

Bomba

Centrífuga tipo eje libre, con un motor de 0.4 HP/1800 R.P.M, capacidad de 5 galones por minuto, y diámetro de descarga $\frac{3}{4}$ "

4.2.2 **Balance de materia.** Del proceso de obtención de aceite por solventes fueron determinados los rendimientos de extracción, mencionados en la Tabla 39.

El rendimiento obtenido en el proceso de extracción de aceite Inchi fue del 78%, lo que significa que el método por solventes, incluyendo cada etapa, es la mejor opción para obtener un buen rendimiento de aceite.

Tabla 39. Balance de materia del proceso de extracción por solvente

OPERACIÓN	MATERIALES	ENTRADA (kg)	SALIDA (kg)
SECADO	Nuez	3750	
	Perdidas		675
LIMPIEZA	Nuez con impurezas	3075	
	Impurezas		30.75
DESCASCARILLADO	Almendra	30	
	Cáscaras		4.2
SELECCIÓN	Almendras	25.8	
	Almendras dañadas		1.29
MOLIENDA	Almendras	24.51	
	perdidas		1.9608
COCCIÓN	Vapor	15.0328	
	Almendra molida	22.5492	
	Agua condensada		2400 ml
LAMINACION	Almendra	37.582	
	perdidas		7.5164
EXTRACCIÓN	Almendra	30.0656	
	Hexano	270 L	
	Almedra + hexano		8.6588
DESTILACIÓN	Hexano + aceite	256 L	
	hexano		243 L
	aceite		13 L

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{\text{kg de aceite extraído} \times 100}{\text{kg de aceite contenido en el material}}$

EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN = $\frac{11830 \text{ kg}}{15000 \text{ kg}} \times 100 = 78.86\%$

15000 kg

4.3 RECOMENDACIONES PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN

Se recomienda que la planta piloto sea de bajo costo, con maquinarias sencillas y de fácil manejo y que no generen dependencia de tecnología foránea, que sean versátiles y se adecuen a los policultivos y a la estacionalidad de los mismos y que la tecnología utilizada permita elaborar productos saludables y de calidad competitiva en los mercados internacionales.

La planta debe demostrar la factibilidad técnica y la rentabilidad económica de las propuestas tecnológicas en las condiciones reales del campesino.

Servir como foco para la irradiación tecnológica promoviendo la actividad.

No producir daños al ecosistema en el cual se va a establecer.

Estas planta deben ser autosostenible a través del servició que prestan o también por la venta de los productos elaborados por ella.

CONCLUSIONES

El resultado de la evaluación del potencial de grasa de la nuez amazónica Inchi fue del 60% que la sitúa a la altura de las oleaginosas conocidas tales como cacahuete, oliva, girasol, palma y ajonjolí.

Los métodos de extracción evaluados fueron: por presión el mejor rendimiento (36.1078%) se obtuvo una presión de 1000 psi con un tamaño de partícula de 3-4 mm siendo la nuez preparada con cocción. Con solventes los resultados fueron de rendimiento alrededor de un 60, 0384% utilizando como solvente hexano y con un tamaño de partícula de 1.8 mm.

El método seleccionado para realizar los ensayos a nivel planta piloto fue el método de extracción de aceite por solventes, con condiciones de operación: tamaño de partícula (1.8 mm), temperatura (20°C), tamaño de muestra 1.5 kilogramos), cantidad de solvente (1:9) con un tiempo de 24 horas obteniéndose un rendimiento del 60 %.

El aceite Inchi presenta unas características que lo clasifican como un aceite semisecante e insaturado, es importante anotar alguna dispersión de valores en índices característicos del aceite tales como el yodo donde los valores oscilan entre 142 – 146, y para el índice de saponificación entre 194 – 209. de la evaluación organoléptica de aceite se encontró que tiene un olor característico agradable y buen sabor hasta el punto que puede utilizarse como aceite de mesa o ingerirse directamente de su almendra. En cuanto al color es propio de los aceites ya refinados amarillo claro.

Se encontró que su torta es un buen subproducto ya que contiene un 25% de proteína, sirviendo para concentrados animales o para consumo humano.

De acuerdo a los balances de materia y energía de los procesos de extracción, se pudo obtener el método mas adecuado para el mejor rendimiento de extracción del aceite Inchi. El cual se encontró en un valor de 90% para la extracción por solvente, dejando claro que este el mejor método.

Se desarrollo un proceso de extracción de aceite Inchi, para una cantidad real de 375 kilos, producidos en el Caquetá, esto nos permitió realizar un balance de materia para saber el rendimiento que puede tener este proceso en un planta piloto instalada en el Caquetá.

Al determinar el perfil de ácidos grasos del aceite Inchi se pudo observar que su mayor contenido se encuentra en los ácidos oleico y linoleico, siendo este ultimo uno de los mas importantes ya que contiene grasas poliinsaturadas esenciales como Omega 3 y Omega 6, fundamentales en la alimentación ya que reduce los niveles de colesterol y triglicéridos y como el organismo no puede producir esta grasas es necesario consumirla de un alimento como el aceite Inchi.

RECOMENDACIONES

Según lo analizado en la torta residual, la cantidad de proteína contenida en ella es muy alta, por lo que se recomienda realizar un estudio mas profundo a la torta, ya que puede ser utilizada no solo para consumo animal sino también para consumo humano.

Seria recomendable manejar un proceso de extracción en caliente con el solvente, ya que ocasionaría una disminución en la cantidad de hexano, al momento de realizar la extracción, reduciendo costos.

Se recomienda que en la planta piloto se utilice la capacidad máxima de los equipos a utilizar y que el proceso sea continuo, ya que se minimizaría las perdidas.

Se recomienda a la Universidad de la Salle adquirir equipos que sirvan para el procesamiento de aceites, como lo son el tanque de extracción y el filtro prensa, ya que para la formación académica del Ingeniero de Alimentos es fundamental el conocer la industria de los aceites y llevar toda la teoría a la practica.

BIBLIOGRAFÍA

BERNARDINI. Tecnología de aceites y grasas. Zaragoza, España: Alambra, 1981.

BARTHOLOMAI, Alfred. Fabricas de alimentos. Zaragoza, España: Acribia, S.A, 1987.

DUQUE AMAYA, Ada Fabiana. Equilibrio ternario del sistema fibra-aceite-hexano en la lixiviación de aceite rico en caroteno a partir de fibra extraída de palma (*Elaeis guineers*). Bogotá D. C. 2003. Trabajo de grado (Ingeniera de Alimentos). Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano de Colombia. Facultad de Ingeniería de Alimentos.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio: Tesis y otros trabajos de grado. Quinta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2004. NTC 1486, 1075, 1487, 1160, 1308, 1307,4490.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Aceites comestibles. Aceite de palma. Bogotá: ICONTEC, 1997. 9 p. (NTC 4225)

JIMENEZ, Luis C y BERNAL Henry. El Inchi Caryodendron orinocense. 2 ed. Año 1996. Secretaria de educación convenio Andrés Bello.

JIMENEZ HURTADO, Luisa Fernanda. Optimización del proceso de extracción de aceite rojo de chontaduro *Bactris gasipaes* H. B. K. proveniente de la Amazonia Colombiana. Bogotá D. C. 2003. Trabajo de grado (Ingeniera de

Alimentos). Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano de Colombia. Facultad de Ingeniería de Alimentos.

KIRK, Raymond y OTHMER, Donald. Enciclopedia de tecnología química. 1 ed. México: Hispano-Americana, 1995. Tomo 7, 8.

LAWSON, Harry. Aceites y grasas alimentarios. Zaragoza, España: Acribia, S. A, 1994. p. 1-66.

LOZANO SIERRA, Juan y ROZO BOLAÑOS, Luis. Extracción y caracterización físico-química de los aceites contenidos en la semilla de Copoazú y Maraco y su posible utilización como fuentes alternativas en la industria de los aceites comestibles. Bogotá D. C. 1997. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería Química.

MANRIQUE, Alfonso y ERAZO Hilberto. Aprovechamiento integral del Inchi. COLCIENCIAS UNIVALLE. Año 1981.

MINISTERIOS DE SALUD. Resolución 2310. Bogotá, Colombia: MinSalud. 1986. Capitulo.

PERRY H, Robert; GREEN W, Don, y MALONEY O, James. Manual del ingeniero químico. 6 ed. México: McGraw-Hill, 1992. Tomo 5. p. 19,2-19,121.

SINGH P. Introducción a la Ingeniería de Alimentos. Zaragoza, España: Acribia, S. A, 1998. 544 p.

VALIENTE, Antonio. Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria. 2 ed. México: Limusa, 2001.23 p.

WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond y MYERS, Sharon. Probabilidad y estadística para ingenieros. 6 ed. México: Pearson educación, 1998. 739 p.

ZILLER, Steve. Grasas y aceites alimentarios. Zaragoza, España: Acribia, S. A, 1994. p. 1-42.

ANEXOS

**ANEXO A. CALCULOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL ALEATORIZADO
POR BLOQUES PARA ACEITE INCHI EXTRAÍDO POR SOLVENTES**

$$C = \frac{T_{..}^2}{Kn} = \frac{(\text{GRAN TOTAL})^2}{\text{N}^\circ \text{ TOTAL OBSERVACIONES}}$$

Kn N° TOTAL OBSERVACIONES

$$C = \frac{(1533.9883)^2}{36} = 65364.44736$$

$$SCT = (\sum^K \sum^n Y_{ij}^2) - C$$

$$SCT = 70587.44138 - 65364.44736$$

$$SCT = 5222.99402$$

$$SCTR = \frac{(\sum^K T_{.j}^2)}{n} - C$$

$$SCTR = \frac{(271677.4057)}{4} - 65364.44736 = 2554.90407$$

$$SCBL = \frac{(\sum^n T_{.i}^2)}{K} - C$$

$$SCBL = \frac{(610795.816)}{9} - 65364.44736 = 2501.75442$$

$$MCTR = SCTR$$

$$K - 1$$

$$MCTR = \frac{2554.90}{9 - 1} = 319.3625$$

$$MCBL = \frac{SCBL}{n - 1}$$

$$n - 1$$

$$\text{MCBL} = \frac{2501.75}{4 - 1} = 833.9166$$

$$\text{MCE} = \frac{\text{SCE}}{(n - 1)(k - 1)}$$

$$\text{MCE} = \frac{166.33}{(4 - 1)(9 - 1)} = 6.9304$$

$$F_0 = \text{MCTR} = 46.08$$

MCE

**ANEXO B. CALCULOS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL ALEATORIZADO
POR BLOQUES PARA ACEITE INCHI EXTRAÍDO MECANICAMENTE**

$$C = \frac{T_{..}^2}{Kn} = \frac{(\text{GRAN TOTAL})^2}{\text{N}^\circ \text{ TOTAL OBSERVACIONES}}$$

$$C = \frac{(1215.2936)^2}{48} = 30769.55279$$

$$SCT = (\sum^K \sum^n Y_{ij}^2) - C$$

$$SCT = 31809.0747 - 30769.55279$$

$$SCT = 1039.5219$$

$$SCTR = \frac{(\sum^K T_{.j}^2)}{n} - C$$

$$SCTR = \frac{(125115.3977)}{4} - 30769.55279 = 509.2966$$

$$SCBL = \frac{(\sum^n T_{.i}^2)}{K} - C$$

$$SCBL = \frac{(372860.269)}{12} - 30769.55279 = 302.1363$$

$$MCTR = SCTR$$

$$K - 1$$

$$MCTR = \frac{509.2966}{12 - 1} = 46.2996$$

$$MCBL = \frac{SCBL}{n - 1}$$

$$n - 1$$

$$\text{MCBL} = \frac{302.1363}{4 - 1} = 100.7121$$

$$\text{MCE} = \frac{\text{SCE}}{(n - 1)(k - 1)}$$

$$\text{MCE} = \frac{228.089}{(4 - 1)(12 - 1)} = 6.9117$$

$$F_0 = \text{MCTR} = 6.6987$$

MCE

ANEXO C. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PROCESOS EFECTUADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE INCHI POR SOLVENTE (HEXANO)

- Recepción del producto

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Peso MP entra	600 g
	Condiciones MP	Buena
	Tiempo	35"76
2	Peso MP entra	1092 g
	Condiciones MP	Buena
	Tiempo	2'11"95
3	Peso MP entra	1500 g
	Condiciones MP	Buena
	Tiempo	2'29" 01

- Limpieza

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad semilla entra	600 g
	Cantidad de semilla sale	598.1914 g
	Cantidad de Impurezas	1.8086 g
	Tipo de impurezas	Mugre, Hojas
	Tiempo	1'21"63
2	Cantidad semilla entra	1092 g
	Cantidad de semilla sale	1089.5626 g
	Cantidad de Impurezas	2.4374 g
	Tipo de impurezas	Pitas, Pasto, Pelo
	Tiempo	2'12"22
3	Cantidad semilla entra	1500 g
	Cantidad de semilla sale	1497 g
	Cantidad de Impurezas	3 g
	Tipo de impurezas	Papel, hojas
	Tiempo	4'33"01

- Descascarado

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad semilla entra	598.1914 g
	Cantidad Almendra sale	501.4523 g
	Cantidad de cáscara	96.7391 g
	Tiempo	1 hora con 15'48"65
2	Cantidad semilla entra	1089.5626 g
	Cantidad Almendra sale	925.7994 g
	Cantidad de cáscara	163.7632 g
	Tiempo	1 hora con 58'14"22
3	Cantidad semilla entra	1497 g
	Cantidad Almendra sale	1300 g
	Cantidad de cáscara	197 g
	Tiempo	4 horas

- Selección

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	501.4523 g
	Cantidad Almendra sale	481.3391 g
	Cantidad Almendra dañada	20.1132 g
	Tiempo	2'29"48
2	Cantidad Almendra entra	925.7994 g
	Cantidad Almendra sale	904.4352 g
	Cantidad Almendra dañada	21.3642 g
	Tiempo	2'54"13
3	Cantidad Almendra entra	1300 g
	Cantidad Almendra sale	1264 g
	Cantidad Almendra dañada	36.3245 g
	Tiempo	3'46"17

- Molienda

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	481.3391 g
	Cantidad Almendra sale	470 g
	Tamaño de partícula	1.8 mm
	Tiempo	7'47"
2	Cantidad Almendra entra	904.4352 g
	Cantidad Almendra sale	885 g
	Tamaño de partícula	1.5 mm
	Tiempo	14'30"35
3	Cantidad Almendra entra	1264 g
	Cantidad Almendra sale	1240g
	Tamaño de partícula	1.7 mm
	Tiempo	37'20"15

- Cocción

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	470 g
	Cantidad Almendra sale	865 g
	Tiempo	2'20"38
	Presión Inicial	0 psi
	Presión Final	20 psi
	Temperatura Inicial	20 ° C
	Temperatura Final	120 ° C
	Volumen condensado	2400 ml
2	Cantidad Almendra entra	885 g
	Cantidad Almendra sale	1350 g
	Tiempo	2'15"02
	Presión Inicial	0 psi
	Presión Final	20 psi
	Temperatura Inicial	20 ° C
	Temperatura Final	120 ° C
	Volumen condensado	2400 ml
3	Cantidad Almendra entra	1240 g
	Cantidad Almendra sale	1900 g
	Tiempo	2'03"60
	Presión Inicial	0 psi
	Presión Final	20 psi
	Temperatura Inicial	20 ° C
	Temperatura Final	120 ° C
	Volumen condensado	2400 ml

- Laminación

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	865 g
	Cantidad Almendra sale	690 g
	Amperios	2
	Tiempo	3'11"59
2	Cantidad Almendra entra	1350 g
	Cantidad Almendra sale	1100 g
	Amperios	2
	Tiempo	5'16"49
3	Cantidad Almendra entra	1900 g
	Cantidad Almendra sale	1550 g
	Amperios	2
	Tiempo	9'12"01

- Extracción

MUESTRA	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	690 g
	Volumen Hexano entra	6.21 L
	Cantidad Almendra + Hexano sale	177.50 g
	Volumen Hexano + Aceite que sale	5.87 L
	Cantidad Almendra sale	173.8062 g
	Tiempo	24 horas
	Temperatura	18 °C
2	Cantidad Almendra entra	1100 g
	Volumen Hexano entra	9.9 L
	Cantidad Almendra + Hexano sale	328 g
	Volumen Hexano + Aceite que sale	9.34 L
	Cantidad Almendra sale	320.7509 g
	Tiempo	24 horas
	Temperatura	18 °C
3	Cantidad Almendra entra	1550 g
	Volumen Hexano entra	13.95 L
	Cantidad Almendra + Hexano sale	455 g
	Volumen Hexano + Aceite que sale	13.14 L
	Cantidad Almendra sale	443.2661 g
	Tiempo	24 horas
	Temperatura	18 °C

- Destilación

MUESTRA	VARIABLE	RESULTADO
1	Volumen Hexano + Aceite que entra	5.87 L
	Volumen Hexano sale	5.47 L
	Cantidad de aceite	266.1938 g
	Temperatura de destilación	60 °C
	Tiempo	4 horas
2	Volumen Hexano + Aceite que entra	9.34 L
	Volumen Hexano sale	6.25 L (8.63 L)
	Cantidad de aceite	480.8739 g
	Temperatura de destilación	60 °C
	Tiempo	6 horas
3	Volumen Hexano + Aceite que entra	13.14 L
	Volumen Hexano sale	12.1 L
	Cantidad de aceite	665.7339 g
	Temperatura de destilación	60 °C
	Tiempo	12 h: 50 min.

- Desgomado

LOTE	VARIABLE	RESULTADO (g)
1	Volumen aceite crudo entra	265 g
	Volumen aceite desgomado sale	258 g
	Cantidad de gomas	6.6250 g
	Cantidad Ácido fosforico	0.795 g
2	Volumen aceite crudo entra	480 g
	Volumen aceite desgomado sale	466 g
	Cantidad de gomas	13.4421 g
	Cantidad Ácido fosforico	1.44 g
3	Volumen aceite crudo entra	665 g
	Volumen aceite desgomado sale	646 g
	Cantidad de gomas	18.6203 g
	Cantidad Ácido fosforico	2g

- Neutralización

LOTE	VARIABLE	RESULTADO (g)
1	Volumen aceite desgomado entra	258 g
	Volumen de aceite Neutralizado sale	239 g
	Cantidad de jabón	18.3604 g
	Cantidad de agua	5.021 g
	Cantidad soda cáustica	1.26 g
2	Volumen aceite desgomado entra	466 g
	Volumen de aceite Neutralizado sale	433 g
	Cantidad de jabón	32.154 g
	Cantidad de agua	9 g
	Cantidad soda cáustica	2.26 g
3	Volumen aceite desgomado entra	646 g
	Volumen de aceite Neutralizado sale	600 g
	Cantidad de jabón	45.87 g
	Cantidad de agua	13.4 g
	Cantidad soda cáustica	3.35 g

ANEXO D. RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PROCESOS EFECTUADOS PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITE INCHI MECÁNICAMENTE (PRENSA).

- Recepción del producto

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Peso MP entra	500 g
	Condiciones MP	Buena
	Tiempo	32" 09
2	Peso MP entra	1000 g
	Condiciones MP	Buena
	Tiempo	1' 58"76
3	Peso MP entra	1500 g
	Condiciones MP	Buena
	Tiempo	2'30"15

- Limpieza

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad semilla entra	500 g
	Cantidad de semilla sale	497.8517 g
	Cantidad de Impurezas	2.1483 g
	Tipo de impurezas	Hojas, pitas
	Tiempo	1'10"55
2	Cantidad semilla entra	1000 g
	Cantidad de semilla sale	997.3706 g
	Cantidad de Impurezas	2.6294 g
	Tipo de impurezas	Hojas, pasto
	Tiempo	1'45"32
3	Cantidad semilla entra	1500 g
	Cantidad de semilla sale	1496.9983 g
	Cantidad de Impurezas	3.0017 g
	Tipo de impurezas	Hojas, pasto
	Tiempo	2'51"09

- Descascarillado

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad semilla entra	497.8517 g
	Cantidad Almendra sale	408.6583 g
	Cantidad de cáscara	89.1934 g
	Tiempo	1 hora
2	Cantidad semilla entra	997.3706 g
	Cantidad Almendra sale	845.3303 g
	Cantidad de cáscara	152.6403 g
	Tiempo	1 hora con 32"
3	Cantidad semilla entra	1496.9983 g
	Cantidad Almendra sale	1302.4482 g
	Cantidad de cáscara	194.5501 g
	Tiempo	3 horas con 41"

- Selección

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	408.6583 g
	Cantidad Almendra sale	398.3375 g
	Cantidad Almendra dañada	10.3208 g
	Tiempo	2' 06"10
2	Cantidad Almendra entra	845.3303 g
	Cantidad Almendra sale	826.5889 g
	Cantidad Almendra dañada	18.7414 g
	Tiempo	2' 37"43
3	Cantidad Almendra entra	1302.4482 g
	Cantidad Almendra sale	1277.1421 g
	Cantidad Almendra dañada	25.3061 g
	Tiempo	3'04"26

- Molienda

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	398.3375 g
	Cantidad Almendra sale	385 g
	Tamaño de partícula	1.9 mm
	Tiempo	7'15" 33
2	Cantidad Almendra entra	826.5889 g
	Cantidad Almendra sale	800 g
	Tamaño de partícula	1.5 mm
	Tiempo	13'57"03
3	Cantidad Almendra entra	1277.1421 g
	Cantidad Almendra sale	1250 g
	Tamaño de partícula	1.8 mm
	Tiempo	35'42"51

- Cocción

Nº LOTES	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	385 g
	Cantidad Almendra sale	850 g
	Tiempo	2'36"07
	Presión Inicial	0 psi
	Presión Final	20 psi
	Temperatura Inicial	20 °C
	Temperatura Final	120 °C
	Volumen condensado	2400 ml
2	Cantidad Almendra entra	800 g
	Cantidad Almendra sale	1300 g
	Tiempo	2'51"28
	Presión Inicial	0 psi
	Presión Final	20 psi
	Temperatura Inicial	20 °C
	Temperatura Final	120 °C
	Volumen condensado	2400 ml
3	Cantidad Almendra entra	1250 g
	Cantidad Almendra sale	1900 g
	Tiempo	2'47"14
	Presión Inicial	0 psi
	Presión Final	20 psi
	Temperatura Inicial	20 °C
	Temperatura Final	120 °C
	Volumen condensado	2400 ml

- Extracción

MUESTRA	VARIABLE	RESULTADO
1	Cantidad Almendra entra	850 g
	Cantidad Almendra sale	244 g
	Cantidad Aceite	135.9644 g
	Presión	1000 psi
	Tiempo	50 minutos
	Tamaño de partícula	3.2 mm
2	Cantidad Almendra entra	1300 g
	Cantidad Almendra sale	500 g
	Cantidad Aceite	286.20159 g
	Presión	1000 psi
	Tiempo	50 minutos
	Tamaño de partícula	3.5 mm
3	Cantidad Almendra entra	1900 g
	Cantidad de almendra que sale	795 g
	Cantidad Aceite	446.4406 g
	Presión	1000 psi
	Tiempo	50 minutos
	Tamaño de partícula	3.3 mm

- Desgomado

LOTE	VARIABLE	RESULTADO
1	Volumen aceite crudo entra	135 g
	Volumen aceite desgomado sale	130 g
	Cantidad de gomas	3.6451 g
	Cantidad Ácido fosforico	0.41 g
2	Volumen aceite crudo entra	286 g
	Volumen aceite desgomado sale	278 g
	Cantidad de gomas	7.4365 g
	Cantidad Ácido fosforico	0.86 g
3	Volumen aceite crudo entra	446 g
	Volumen aceite desgomado sale	430 g
	Cantidad de gomas	12 g
	Cantidad Ácido fosforico	1.34 g

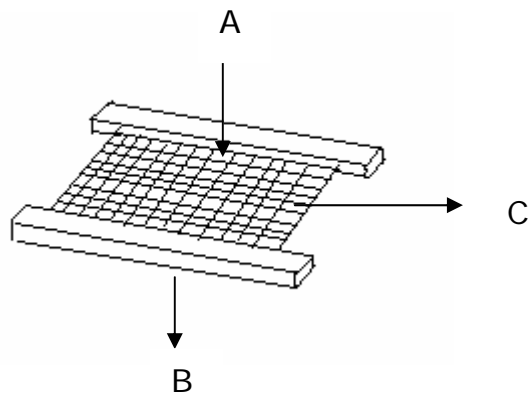
- Neutralización

LOTE	VARIABLE	RESULTADO
1	Volumen aceite desgomado entra	130 g
	Volumen de aceite Neutralizado sale	120 g
	Cantidad de jabón	9.2315 g
	Cantidad de agua	2.696 g
	Cantidad soda cáustica	0.674 g
2	Volumen aceite desgomado entra	278 g
	Volumen de aceite Neutralizado sale	258 g
	Cantidad de jabón	19.043 g
	Cantidad de agua	5.76 g
	Cantidad soda cáustica	1.44 g
3	Volumen aceite desgomado entra	430 g
	Volumen de aceite Neutralizado sale	399 g
	Cantidad de jabón	30.102 g
	Cantidad de agua	8.944 g
	Cantidad soda cáustica	2.236 g

ANEXO E. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA DE LA OBTENCIÓN DE ACEITE POR SOLVENTE

1. Balance de materia

- Limpieza

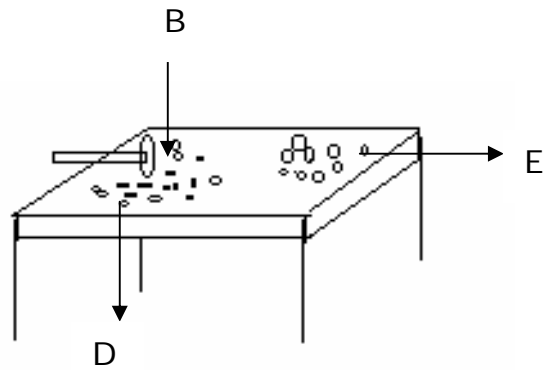


$$A = B + C$$

$$\text{Lote 1: } 600 \text{ g} = 598.1914 \text{ g} + 1.8086 \text{ g}$$

$$\text{Lote 3: } 1500 \text{ g} = 1497 \text{ g} + 3 \text{ g}$$

- Descascarillado

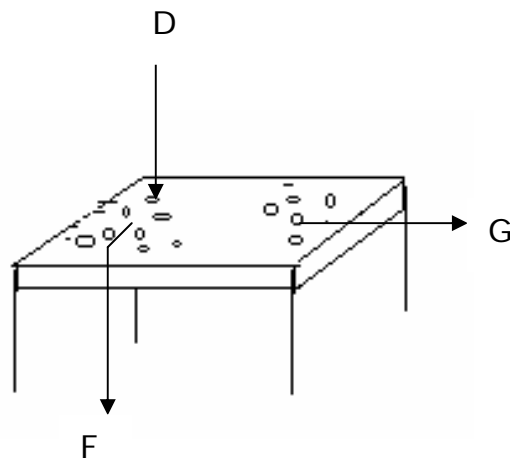


$$B = D + E$$

Lote 1: 598.1914 g = 501.4523 g + 96.7391 g

Lote 3: 1497 g = 1300 g + 197 g

- Selección

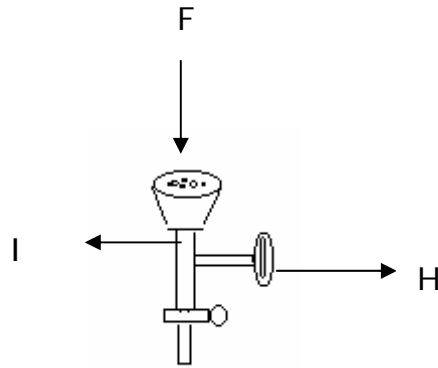


$$D = F + G$$

Lote 1: 501.4523 g = 481.3391 g + 20.1132 g

Lote 3: 1300 g = 1264 g + 36.3245 g

- Molienda

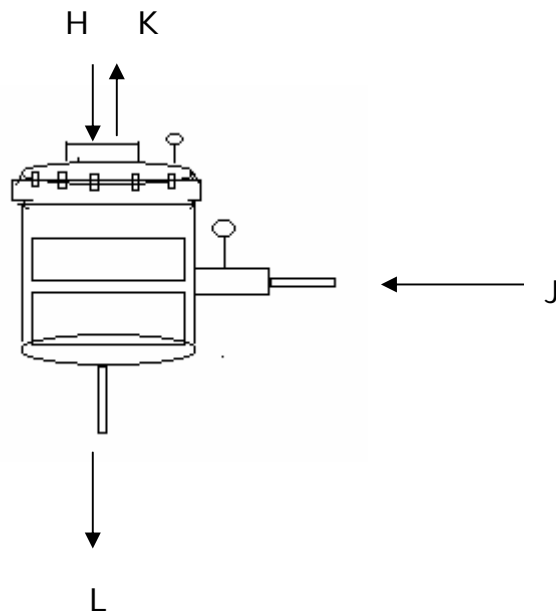


$$F = H + I$$

Lote 1: 481.3391 g = 470 g + 11.3391 g

Lote 3: 1264 g = 1240 g + 24 g

- Cocción

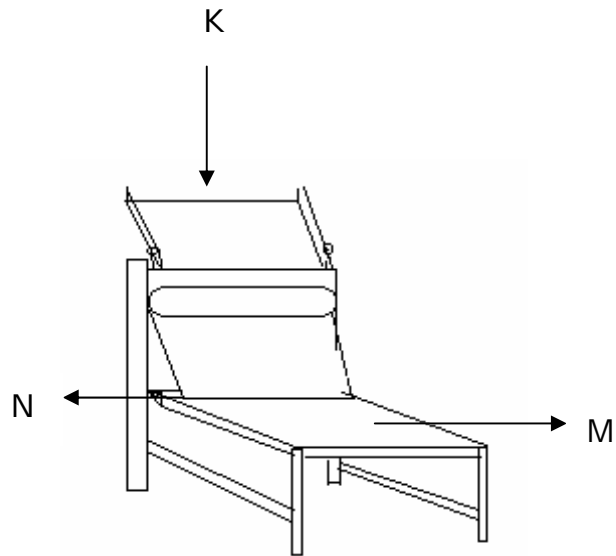


$$H + J = K$$

Lote 1: 470 g + 395 g = 865 g

Lote 3: 1240 g + 660 g = 1900 g

- Laminación

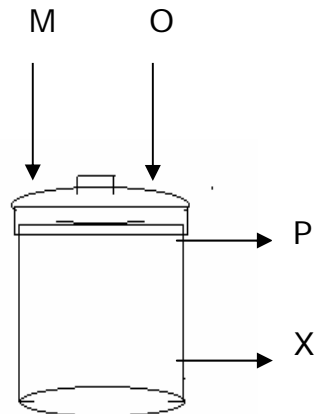


$$K = M + N$$

Lote 1: 865 g = 690 g + 175 g

Lote 3: 1900 g = 1550g + 350 g

- Extracción

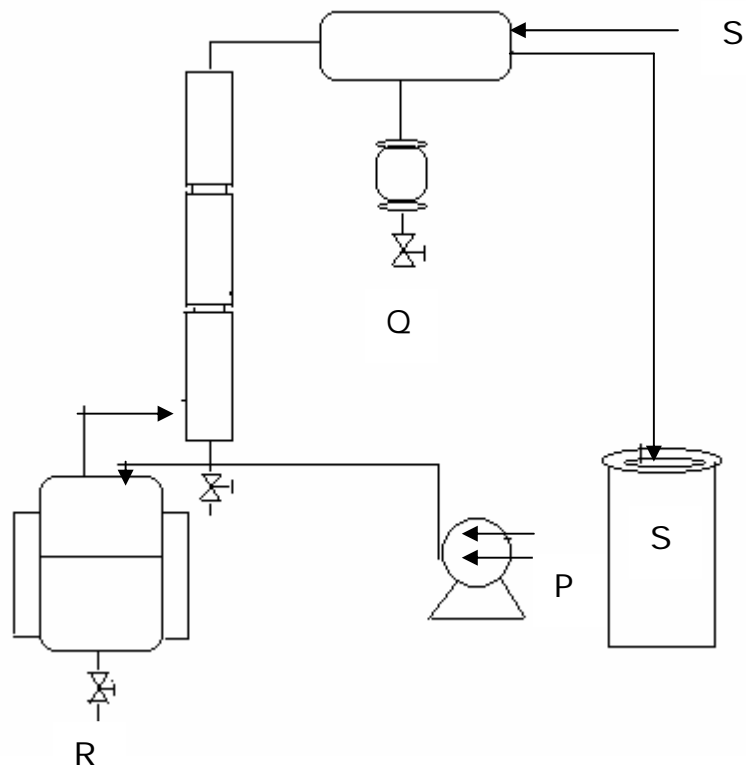


$$M + O = P + X$$

Lote 1: 690 g + 6.21 L = 5.87 L + 173.8062 g

Lote 3: 1550 g + 13.95 L = 13.14 L + 443.2661 g

- Destilación



Balance general para el lote 1

$$P = Q + R + \text{PERDIDAS}$$

$$5.87 \text{ L} = 5.47 \text{ L} + 0.29 \text{ L} + 0.11 \text{ L}$$

Balance del Hexano

$$H_P = H_Q + \text{PERDIDAS}$$

$$5.57 \text{ L} = 5.47 \text{ L} + 0.10 \text{ L}$$

Balance del aceite

$$A_F = A_B + \text{PERDIDAS}$$

$$267.4838 \text{ g} = 266.1938 \text{ g} + 1.29 \text{ g}$$

Balance general para el lote 3

$$P = Q + R + \text{PERDIDAS}$$

$$13.14 \text{ L} = 0.7259 \text{ L} + 12.1 \text{ L} + 0.3141 \text{ L}$$

Balance del Hexano

$$H_P = H_Q + \text{PERDIDAS}$$

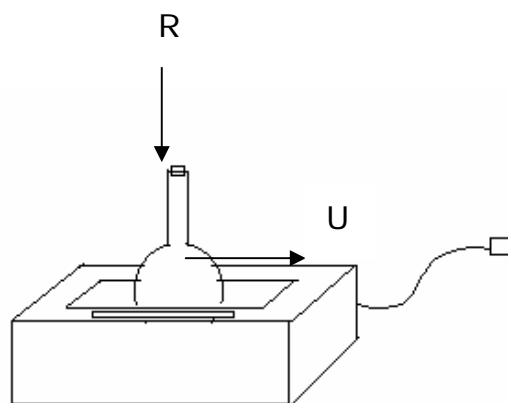
$$12.4118 \text{ L} = 12.1 \text{ L} + 0.3118 \text{ L}$$

Balance del aceite

$$A_F = A_B + \text{PERDIDAS}$$

$$667.2939 \text{ g} = 665.7339 \text{ g} + 1.56 \text{ g}$$

- Desgomado

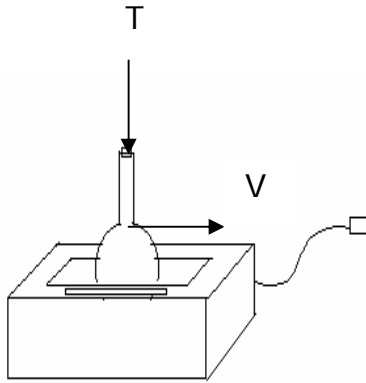


$$R = T + U$$

$$\text{Lote 1: } 264.625 \text{ g} = 258 \text{ g} + 6.6250 \text{ g}$$

$$\text{Lote 3: } 664.6203 \text{ g} = 646 \text{ g} + 18.6203 \text{ g}$$

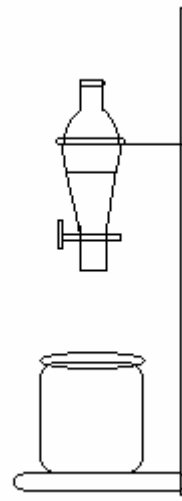
- Neutralización



$$T = W + V$$

Lote 1: $258 \text{ g} = 239 \text{ g} + 19 \text{ g}$

Lote 3: $646 \text{ g} = 600 \text{ g} + 46 \text{ g}$



LAVADOS

2. Balance de energía

- Cálculo del calor específico de la almendra

$$C_p = 1.424 m_c + 1.549 m_p + 1.675 m_f + 0.837 m_a + 4.187 m_m$$

Donde: m = fracción en peso y los subíndices c , p , f , a , m se refieren respectivamente a la composición del alimento.

Composición de la almendra:

Proteína: 15.8 %

Grasa: 60 %

CHO: 15.6 %

Ceniza: 3.4 %

Agua: 5.2 %

$$C_p = (1.424)(0.156) + (1.549)(0.158) + (1.675)(0.60) + (0.837)(0.034) + (4.187)(0.052)$$

$$C_p = 1.72 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

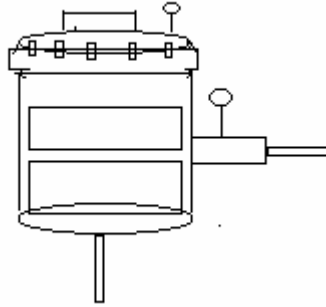
- Calor específico del aceite Inchi

$$C_p = 0.49 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

- Calor específico del hexano

$$C_p = 0.358 \text{ /L}$$

- Cocción



Para el lote 1 (0.5 kilogramos)

$$Q_{\text{nuez}} = m_{\text{nuez}} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{nuez}} = 0.47 \text{ kg} \times 1.72 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{nuez}} = \underline{80.84 \text{ KJ}} = 0.673 \text{ KJ/s}$$

120 s

$$Q_{\text{vapor condensado}} = m_{\text{vapor}} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{vapor condensado}} = 0.395 \text{ kg} \times 0.45 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{vapor condensado}} = \underline{17.775 \text{ kcal}} = 0.148 \text{ kcal/s} \longrightarrow 0.619 \text{ KJ/s}$$

120 s

$$Q_{\text{total}} = 1.292 \text{ KJ/s}$$

Para el lote 3 (1.5 kilogramos)

$$Q_{\text{nuez}} = m_{\text{nuez}} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{nuez}} = 1.24 \text{ kg} \times 1.72 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{nuez}} = \underline{213.28 \text{ KJ}} = 1.77 \text{ KJ/s}$$

120 s

$$Q_{\text{vapor condensado}} = m_{\text{vapor}} \times C_p \times \Delta T$$

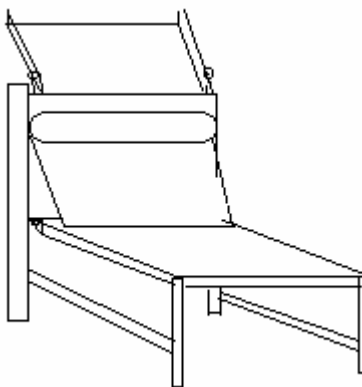
$$Q_{\text{vapor condensado}} = 0.66 \text{ kg} \times 0.45 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{vapor condensado}} = \underline{29.7 \text{ kcal}} = 0.2475 \text{ kcal/s} \longrightarrow 1.036 \text{ KJ/s}$$

120 s

$$Q_{\text{total}} = 2.806 \text{ KJ/s}$$

- Laminación



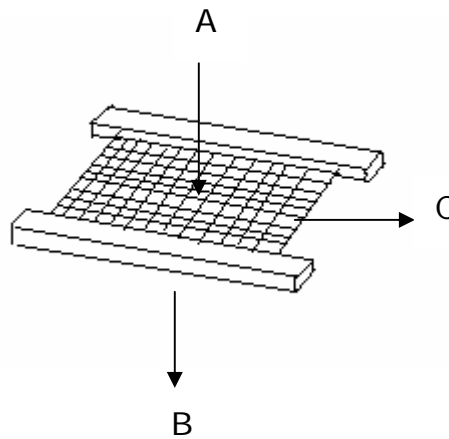
$$hp = 1.2 ; \quad A = 4/2 ; \quad 1700 \text{ Rpm} \quad 60 \text{ cm/s}$$

$$1, 2 \text{ hp} = 0.89484 \text{ Kw} \quad \text{kW} \times \text{tempo (h)} \quad P = 0.134226 \text{ KW/h}$$

ANEXO F. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA DE LA OBTENCIÓN MECANICA DE ACEITE

1. Balance de materia

- Limpieza

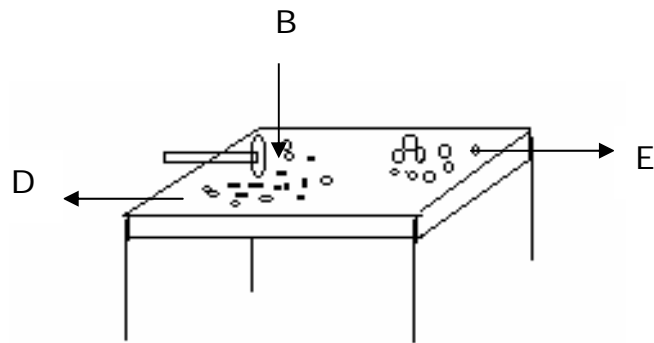


$$A = B + C$$

Lote 1: $500 \text{ g} = 497.8517 \text{ g} + 2.1483 \text{ g}$

Lote 3: $1500 \text{ g} = 1496.9983 \text{ g} + 3.0017 \text{ g}$

- Descascarillado

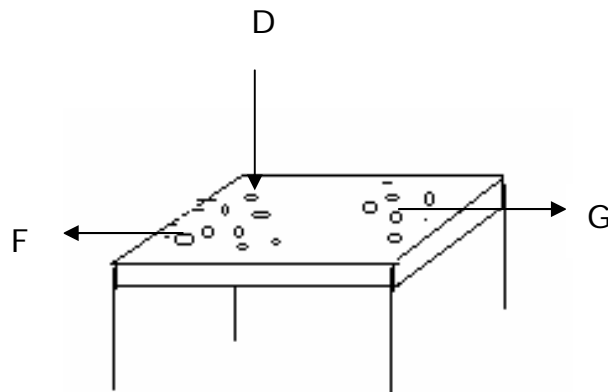


$$B = D + E$$

Lote 1: 497.8517 g = 408.6583 + 89.1934 g

Lote 3: 1496.9983 g = 1302.4482 + 194.5501 g

- Selección

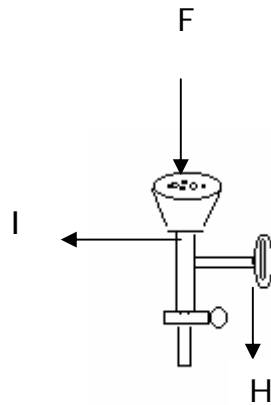


$$D = F + G$$

Lote 1: 408.6583 g = 398.3375 g + 10.3208 g

Lote 3: 1302.4482 g = 1277.1421 g + 25.3061 g

- Molienda

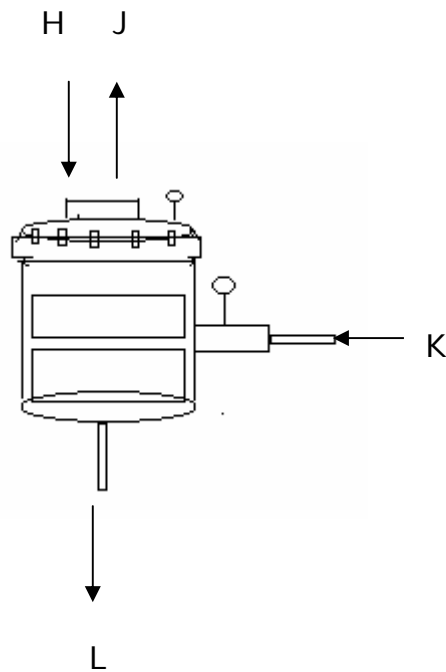


$$F = H + I$$

Lote 1: $398.3375 \text{ g} = 385 \text{ g} + 13.3375 \text{ g}$

Lote 3: $1277.1421 \text{ g} = 1250 \text{ g} + 27.1421 \text{ g}$

- Cocción

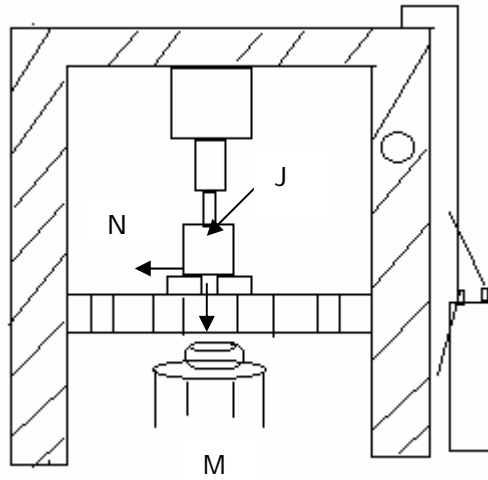


$$H + K = J$$

Lote 1: $385 \text{ g} + 465 \text{ g} = 850 \text{ g}$

Lote 3: $1250 \text{ g} + 650 \text{ g} = 1900 \text{ g}$

- Extracción

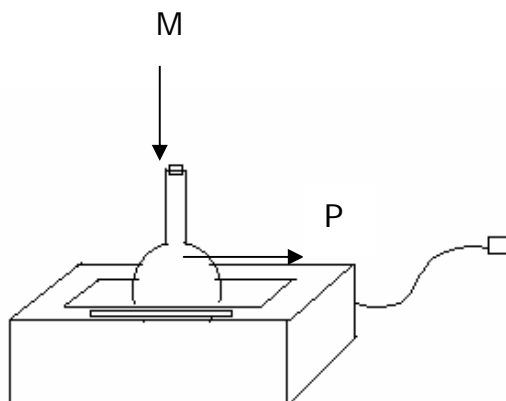


$$J = N + M$$

Lote 1: 850 g = 244 g + 135.9644 g

Lote 3: 1900 g = 795 g + 446.4406 g

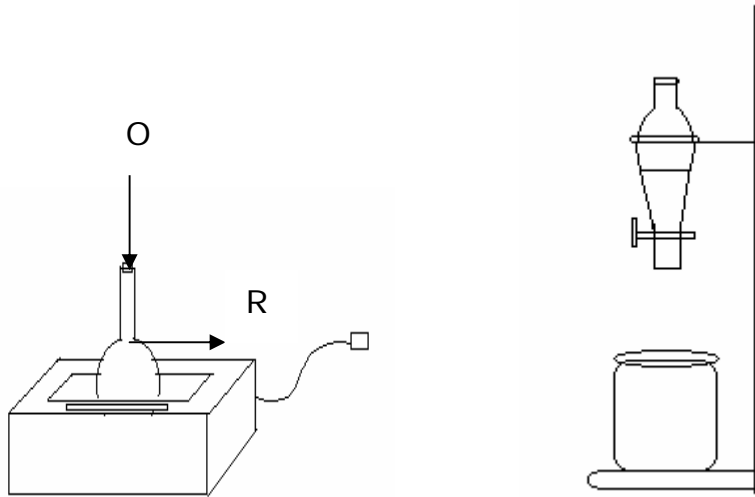
- Desgomado



$$M = O + P$$

Lote 1: 135 g = 130 g + 4.6451 g Lote 3: 446 g = 430 g + 16 g

- Neutralización



$$O = Q + R$$

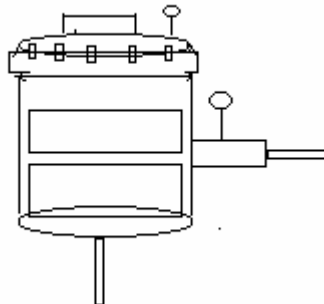
LAVADOS

Lote 1: $130 \text{ g} = 120 \text{ g} + 10 \text{ g}$

Lote 3: $430 \text{ g} = 399 \text{ g} + 31 \text{ g}$

2. Balance de energía

- Cocción



Para el lote 1 (0.5 kilogramos)

$$Q_{\text{nuez}} = m_{\text{nuez}} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{nuez}} = 0.385 \text{ kg} \times 1.72 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{nuez}} = \underline{66.22 \text{ KJ}} = 0.551 \text{ KJ/s}$$

120 s

$$Q_{\text{vapor condensado}} = m_{\text{vapor}} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{vapor condensado}} = 0.465 \text{ kg} \times 0.45 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{vapor condensado}} = \underline{20.925 \text{ kcal}} = 0.174 \text{ kcal/s} \rightarrow 0.728 \text{ KJ/s}$$

120 s

$$Q_{\text{total}} = 1.279 \text{ KJ/s}$$

Para el lote 3 (1.5 kilogramos)

$$Q_{\text{nuez}} = m_{\text{nuez}} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{nuez}} = 1.25 \text{ kg} \times 1.72 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{nuez}} = \underline{215 \text{ KJ}} = 1.79 \text{ KJ/s}$$

120 s

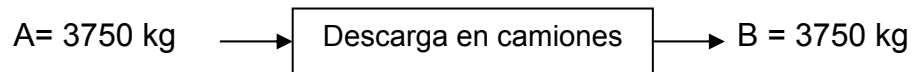
$$Q_{\text{vapor condensado}} = m_{\text{vapor}} \times C_p \times \Delta T$$

$$Q_{\text{vapor condensado}} = 0.65 \text{ kg} \times 0.45 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times (120-20 \text{ }^\circ\text{C})$$

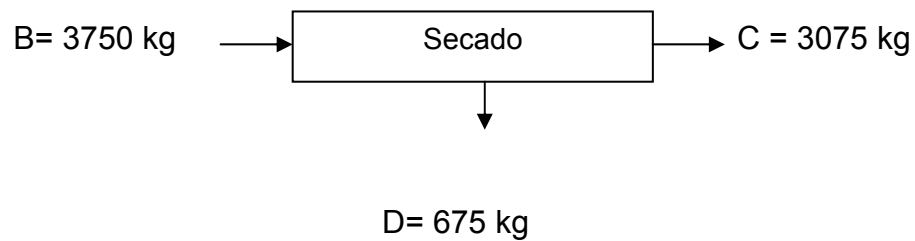
$$Q_{\text{vapor condensado}} = \underline{29.25 \text{ kcal}} = 0.2437 \text{ kcal/s} \rightarrow 1.020 \text{ KJ/s} \quad Q_{\text{total}} = 2.81 \text{ KJ/s}$$

120s

ANEXO G. BALANCES DE MATERIA DE LA OBTENCIÓN DE ACEITE POR SOLVENTE A NIVEL DE PLANTA PILOTO



$$A = B$$
$$3750 \text{ kg} = 3750 \text{ kg}$$

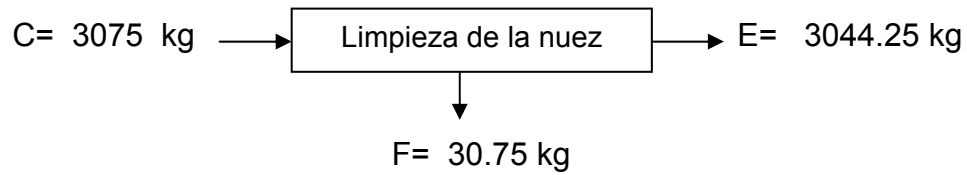


$$B = C + D$$
$$3750 \text{ kg} = 3075 \text{ kg} + 675 \text{ kg}$$

Entra: 3750 kg de semilla

Sale: 3075 kg de semilla

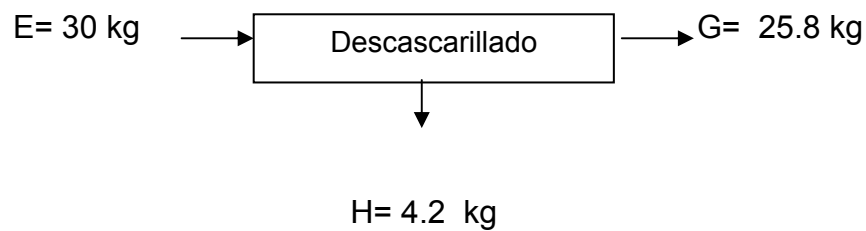
Perdidas por humedad: 675 kg (18%)



$$C = E + F$$

$$3075 \text{ kg} = 3044.25 \text{ kg} + 30.75 \text{ kg}$$

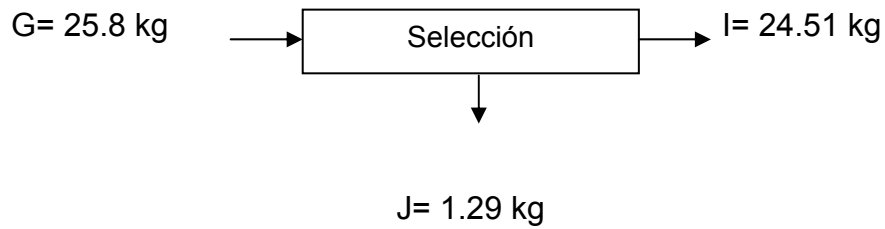
Entra: 3075 kg de semilla
 Sale: 3044.25 kg de semilla
 Impurezas: 30.75 kg (1%)



$$E = G + H$$

$$30 \text{ kg} = 25.8 \text{ kg} + 4.2 \text{ kg}$$

Entra: 30 kg de semilla
 Sale: 25.8 kg de nuez
 Cáscara: 4.2 kg. (14%)



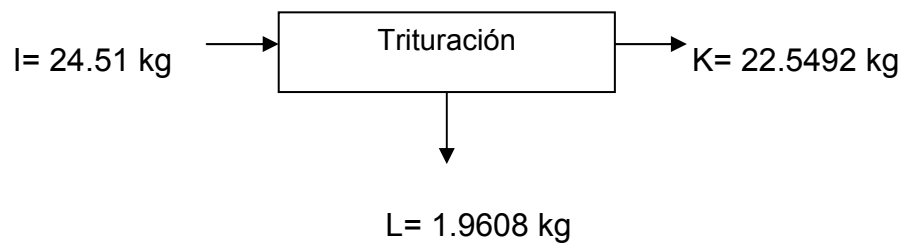
$$G = I + J$$

$$25.8 \text{ kg} = 24.51 \text{ kg} + 1.29 \text{ kg}$$

Entra: 25.8 kg de semilla

Sale: 24.51 kg de semilla

Impurezas: 1.29 kg (5%)



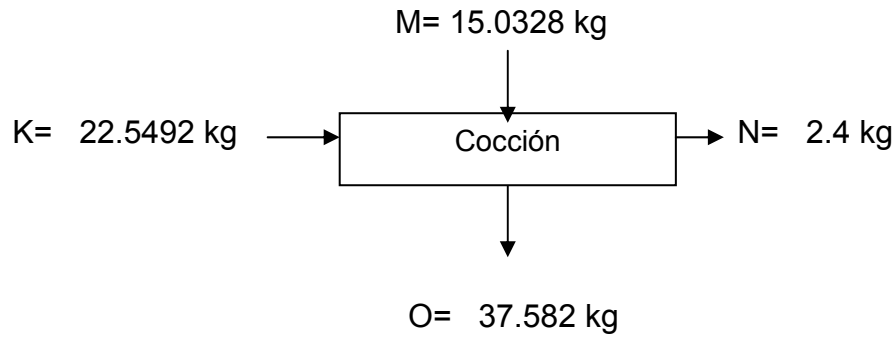
$$I = K + L$$

$$24.51 \text{ kg} = 22.5492 \text{ kg} + 1.9608 \text{ kg}$$

Entra: 24.51 kg de semilla

Sale: 22.5492 kg de semilla

Perdida en el molino: 1.9608 kg. (8%)



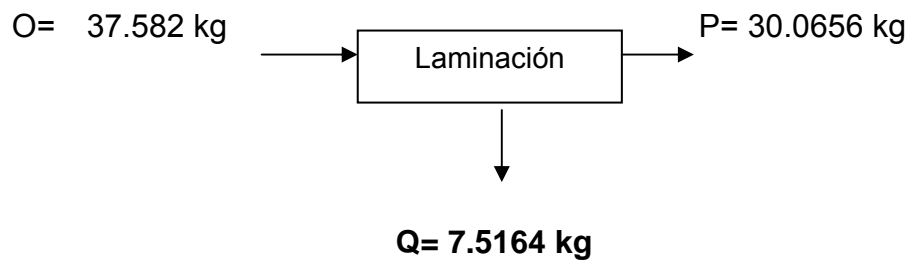
$$K + M = O$$

$$22.5492 \text{ kg} + 15.0328 \text{ kg} = 37.582 \text{ kg}$$

Entra: 22.5492 kg de semilla

Sale: 37.582 kg de semilla con vapor

Vapor: 15.0328 kg (40%)



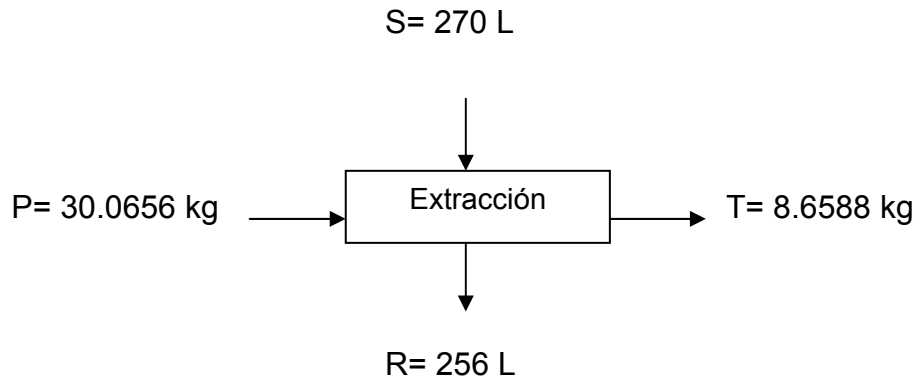
$$O = P + Q$$

$$37.582 \text{ kg} = 30.0656 \text{ kg} + 7.5164 \text{ kg}$$

Entra: 37.582 kg de semilla con vapor

Sale: 30.0656 kg de semilla con vapor

Perdidas: 7.5164 kg (20%)



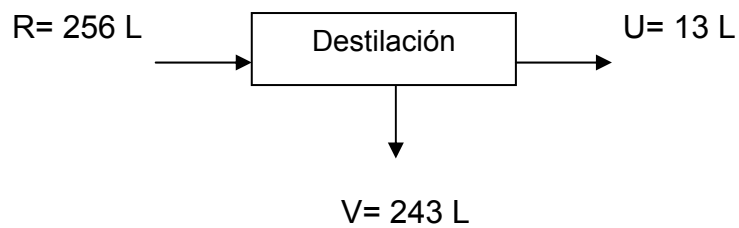
$$P + S = R + T$$

$$30.0656 \text{ kg} + 270 \text{ L} = 256 \text{ L} + 8.6588 \text{ kg}$$

Entra: 30.0656 kg de semilla con vapor + 270 L de hexano

Sale: 256 L de hexano con aceite + 8.6588 kg de torta

Perdidas hexano: 27 kg (10%)



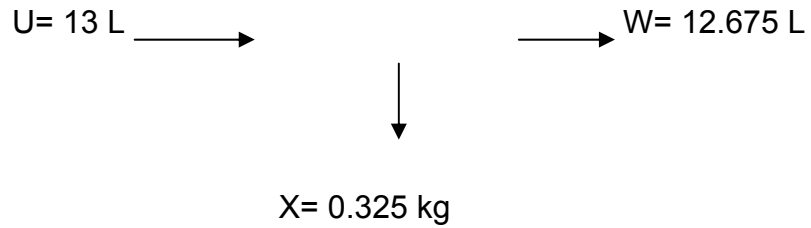
$$R = U + V$$

$$256 \text{ L} = 13 \text{ L} + 243 \text{ L}$$

Entra: 256 L de hexano con aceite

Sale: 13 L de aceite + 243 L de hexano





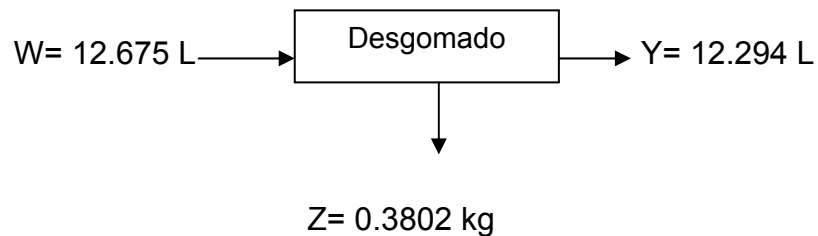
$$U = W + X$$

$$13 \text{ L} = 12.675 \text{ L} + 0.325 \text{ kg}$$

Entra: 13 L aceite

Sale: 12.675 L de aceite filtrado

Perdidas: 0.325 kg (2.5%)



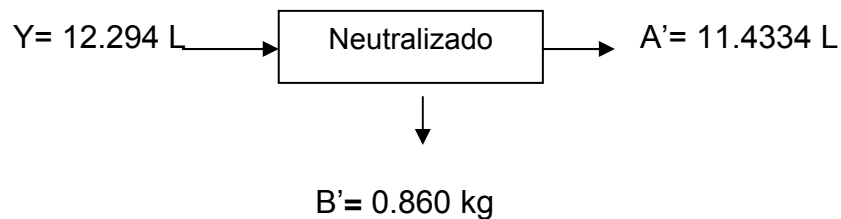
$$W = Y + Z$$

$$12.675 \text{ L} = 12.294 \text{ L} + 0.3802 \text{ kg}$$

Entra: 12.675 L aceite filtrado

Sale: 12.294 L aceite desgomado

Perdidas: 0.3802 kg (3%)



$$Y = A' + B'$$

$$12.294 \text{ L} = 11.4334 \text{ L} + 0.860 \text{ kg}$$

Entra: 12.294 L aceite desgomado

Sale: 11.4334 L aceite neutralizado

Pérdidas: 0.860 kg (7%)

ANEXO H. BASE DE CALCULOS Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS PROXIMAL DE LA ALMENDRA Y TORTA RESIDUAL.

1. ALMENDRA

- Porcentaje de humedad de la almendra

$$\% \text{ Base seca} = \frac{W_R}{W_M} \times 100 \quad \% \text{ Base húmeda} = 100 - \text{Base seca}$$

$$W_M$$

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% BASE SECA	% BASE HUMEDA
MUESTRA 1	3.0109	2.8575	94.90	5.1
MUESTRA 2	3.0573	2.8974	94.76	5.23
MUESTRA 3	3.0275	2.8707	94.82	5.17
PROMEDIO			94.83	5.17

- Porcentaje de cenizas de la almendra

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W_R}{W_M} \times 100$$

$$W_M$$

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% CENIZAS
MUESTRA 1	2.0093	0.0679	3.3793
MUESTRA 2	2.0003	0.0695	3.4744
MUESTRA 3	2.0009	0.0684	3.4150
PROMEDIO			3.4232

- Porcentaje de grasa de la almendra

$$\% \text{ Grasa} = \frac{W_R}{W_M} \times 100$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL ALMENDRA (g)	PESO GRASA (g)	% GRASA
MUESTRA 1	5.8974	2.0869	3.0723	60.5
MUESTRA 2	5.0350	2.3724	2.5863	60.07
MUESTRA 3	5.0600	2.3744	2.6114	60.07
PROMEDIO			2.7567	60.21

- Porcentaje de azúcares totales de la almendra

$$\text{Titulo de Felhing} = \frac{\text{volumen sln patrón (ml)} \times \text{concentración (g)}}{100 \text{ ml}}$$

100 ml

$$\text{Azúcares totales \% glucosa} = \frac{\text{titulo Felhing} \times \text{factor dilución} \times 100}{\text{Volumen totales} \times W_{\text{MUESTRA}}}$$

Volumen totales

W_{MUESTRA}

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% GLUCOSA
MUESTRA 1	10.0303	12.8	19.62
MUESTRA 2	10.0621	12.1	20.7
MUESTRA 3	10.0233	12	20.95
PROMEDIO			20.42

- Porcentaje de proteína de la almendra

Factor de conversión = 6.25

% Proteína = $\frac{(V_M - V_b) \times N_{HCL} \times \text{peq N} \times \text{Factor de conversión} \times 100}{W_M}$

W_M

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% PROTEINA
MUESTRA 1	0.6068	11.14	15.83
MUESTRA 2	0.6035	10.87	15.53
MUESTRA 3	0.6087	10.99	15.57
MUESTRA 4	0.6091	11.07	15.67
MUESTRA 5	0.6046	11.04	15.75
PROMEDIO			15.67

- pH de la almendra

	CON AGUA		CON ALCOHOL ETÍLICO	
	pH	T (°C)	pH	T (°C)
MUESTRA 1	6.25	17.6	6.37	17.9
MUESTRA 2	6.12	17.5	6.31	17.8
MUESTRA 3	6.15	17.4	6.35	17.9
PROMEDIO	6.17		6.34	

- Porcentaje de acidez de la almendra

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(V_M - V_B) \times N}{W_M}$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% ACIDEZ
MUESTRA 1	10.1528	58	8.3
MUESTRA 2	10.1784	60.4	8.7
MUESTRA 3	10.1244	59.5	8.6
PROMEDIO			8.5

2. TORTA RESIDUAL EXTRAIDA POR SOLVENTE

- Porcentaje de humedad de la torta

$$\% \text{ Base seca} = \frac{W_R}{W_M} \times 100 \quad \% \text{ Base húmeda} = 100 - \text{Base seca}$$

$$W_M$$

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% BASE SECA	% BASE HUMEDA
MUESTRA 1	2.0972	1.9607	93.49	6.5
MUESTRA 2	2.0950	1.9471	92.94	7.1
MUESTRA 3	2.0483	1.9053	93.02	6.98
PROMEDIO			93.15	6.86

- Porcentaje de cenizas de la torta

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W_R}{W_M} \times 100$$

$$W_M$$

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% CENIZAS
MUESTRA 1	1.4705	0.0991	6.6358
MUESTRA 2	1.4705	0.0983	6.6848
MUESTRA 3	1.4658	0.0997	6.8017
PROMEDIO			6.7074

- Porcentaje de grasa de la torta

$$\% \text{ Grasa} = \frac{W_R}{W_M} \times 100$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	PESO GRASA (g)	% GRASA
MUESTRA 1	5.0198	0.2791	5.5599
MUESTRA 2	5.0658	0.2946	5.8155
MUESTRA 3	5.0126	0.2803	5.5919
PROMEDIO			5.6558

- Porcentaje de azúcares totales de la torta

$$\text{Titulo de Felhing} = \frac{\text{volumen sln patrón (ml)} \times \text{concentración (g)}}{100 \text{ ml}}$$

100 ml

$$\text{Azúcares totales \% glucosa} = \frac{\text{titulo Felhing} \times \text{factor dilución} \times 100}{\text{Volumen totales} \times W_{\text{MUESTRA}}}$$

Volumen totales

W_{MUESTRA}

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% GLUCOSA
MUESTRA 1	10.0360	9	10.96
MUESTRA 2	10.0678	9.2	10.68
MUESTRA 3	10.0501	9.1	10.82
PROMEDIO			10.82

- Porcentaje de proteína de la torta

Factor de conversión = 6.25

% Proteína = $\frac{(V_M - V_b) \times N_{HCL} \times \text{peq N} \times \text{Factor de conversión} \times 100}{W_M}$

W_M

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% PROTEINA
MUESTRA 1	1.0984		25.86
MUESTRA 2	1.0051		26.04
MUESTRA 3	1.0887		25.99
PROMEDIO			25.96

- pH de la torta

	CON AGUA		CON ALCOHOL ETILICO	
	pH	T (°C)	pH	T (°C)
MUESTRA 1	6.77	17.3	6.98	17.3
MUESTRA 2	6.78	17.3	6.86	17.2
MUESTRA 3	6.77	17.1	6.87	17.3
PROMEDIO	6.77		6.90	

- Porcentaje de acidez de la torta

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(V_M - V_B) \times N}{W_M}$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% ACIDEZ
MUESTRA 1	10.3498	16.3	0.029
MUESTRA 2	10.0774	16.3	0.029
MUESTRA 3	10.1002	17.2	0.031
PROMEDIO			0.030

3. TORTA RESIDUAL EXTRAIDA MECÁNICAMENTE

- Porcentaje de humedad de la torta

$$\% \text{ Base seca} = \frac{W_R}{W_M} \times 100 \quad \% \text{ Base húmeda} = 100 - \text{Base seca}$$

$$W_M$$

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% BASE SECA	% BASE HUMEDA
MUESTRA 1	4.8607	4.5284	93.16	6.84
MUESTRA 2	4.4008	4.1058	93.30	6.7
MUESTRA 3	4.8065	4.4732	93.10	6.9
PROMEDIO			93.19	6.81

- Porcentaje de cenizas de la torta

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{W_R}{W_M} \times 100$$

$$W_M$$

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% CENIZAS
MUESTRA 1	1.7094	0.0713	4.1710
MUESTRA 2	1.9344	0.0797	4.1201
MUESTRA 3	1.7616	0.0712	4.0418
PROMEDIO			4.1110

- Porcentaje de grasa de la torta

$$\% \text{ Grasa} = \frac{W_R}{W_M} \times 100$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	PESO GRASA (g)	% GRASA
MUESTRA 1	5.0204	1.3881	27.65
MUESTRA 2	5.0172	1.5733	31.36
MUESTRA 3	5.0169	1.247	24.86
PROMEDIO			27.96

- Porcentaje de azúcares totales de la torta

$$\text{Titulo de Felhing} = \frac{\text{volumen sln patrón (ml)} \times \text{concentración (g)}}{100 \text{ ml}}$$

100 ml

$$\text{Azúcares totales \% glucosa} = \frac{\text{titulo Felhing} \times \text{factor dilución} \times 100}{\text{Volumen totales} \times W_{\text{MUESTRA}}}$$

Volumen totales

W_{MUESTRA}

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% GLUCOSA
MUESTRA 1	10.0356	11.75	7.03
MUESTRA 2	10.0399	9.9	8.35
MUESTRA 3	10.0796	11.95	6.9
PROMEDIO			7.43

- Porcentaje de proteína de la torta

Factor de conversión = 6.25

$\% \text{ Proteína} = \frac{(V_M - V_b) \times N_{\text{HCL}} \times \text{peq N} \times \text{Factor de conversión}}{W_M} \times 100$

W_M

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% PROTEINA
MUESTRA 1	1.0277	23.89	23.65
MUESTRA 2	1.0059	23.39	24.36
MUESTRA 3	1.0141	24.02	24.81
PROMEDIO			24.28

- pH de la torta

	CON AGUA		CON ALCOHOL ETILICO	
	PH	T (°C)	Ph	T (°C)
MUESTRA 1	6.74	17.3	6.78	17.3
MUESTRA 2	6.71	17.1	6.79	17.1
MUESTRA 3	6.75	17.2	6.79	17.1
PROMEDIO	6.73		6.79	

- Porcentaje de acidez de la torta

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(V_M - V_B) \times N}{W_M}$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	VOLUMEN GASTADO (ml)	% ACIDEZ
MUESTRA 1	10.0245	18.6	0.054
MUESTRA 2	10.1184	18.5	0.052
MUESTRA 3	10.0037	18.5	0.051
PROMEDIO			

ANEXO I. BASE DE CALCULOS Y RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CALIDAD DEL ACEITE INCHI.

1. ACEITE INCHI EXTRAIDOPOR SOLVENTES

- Índice de refracción de aceite extraído por solvente

MUESTRAS	INDICE DE REFRACCIÓN	TEMPERATURA (°C)
M1	1.4645	25
M2	1.460	25
M3	1.4601	25
PROMEDIO	1.4615	

- Índice de rancidez hidrolítica

No hubo cambio de color. Prueba negativa (-)

- Índice de aldehídos grasos de aceite extraído por solvente

W MUESTRA	4.9383 g
ABSORBANCIA BLANCO	2.040
ABSORBANCIA DEL ESTANDAR	0.029
INDICE DE ALDEHIDOS GRASOS	0.0201

- Índice de esteres de aceite extraído por solvente

IE = Índice saponificación – Índice acidez

MUESTRA	I. SAPONIFICACIÓN (meq/g)	I. ACIDEZ (meq)	INDICE DE ESTERES (meq/g)
1	179.59	0.00573	179.58
2	183.47	0.00563	183.46
3	190.15	0.00566	190.14

- Densidad de aceite extraído por solvente

$$D = \frac{P - P_1}{M}$$

M

	DENSIDAD (g/ ml)	TEMPERATURA (°C)
MUESTRA 1	0.9162	25
MUESTRA 2	0.9183	25
MUESTRA 3	0.9168	25
PROMEDIO	0.9171	

- Humedad de aceite extraído por solvente

$$\% \text{ Base seca} = \frac{W_R}{W_M} \times 100 \quad \% \text{ Base húmeda} = 100 - \text{Base seca}$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% BASE SECA	% BASE HUMEDA
MUESTRA 1	2.3474	2.3460	99.94	0.060
MUESTRA 2	2.6467	2.6451	99.94	0.060
MUESTRA 3	3.1360	3.1339	99.93	0.067
PROMEDIO			99.93	0.062

- Índice de yodo de aceite extraído por solvente

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{tiosulfato}} \times 12.69 \text{ g}}{W_{\text{muestra g}}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE DE YODO (meq/g)
MUESTRA 1	0.3986 g	0.9	63.99
MUESTRA 2	0.3415 g	0.95	74.50
MUESTRA 3	0.3037 g	0.92	83.90
PROMEDIO			74.13

Volumen del blanco: 21 ml; Tiosulfato de sodio: 0.1 N

- Índice de saponificación de aceite extraído por solvente

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{HCl}} \times 56.1 \text{ mg}}{W_{\text{muestra g}}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE DE SAPONIFICACION (meq/g)
MUESTRA 1	1.9992 g	15.5	179.59
MUESTRA 2	1.9875 g	15.3	183.47
MUESTRA 3	1.9324 g	15.2	190.15
PROMEDIO			184.40

Volumen del blanco: 28.3 ml; Ácido clorhídrico: 0.1 N

- Índice de peróxidos de aceite extraído por solvente

$$\text{Índice de peroxido} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{tiosulfato}} \times 1000 \text{ g}}{W_{\text{muestra}} \text{ g}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE DE PEROXIDO (meq/g)
MUESTRA 1	1.9674	5.35	25.41
MUESTRA 2	1.8176	5	25.58
MUESTRA 3	1.9042	5.1	24.94
PROMEDIO			25.31

Volumen del blanco: 0.35 ml; Tiosulfato de sodio: 0.01 N

- Índice de acidez de aceite extraído por solvente

$$\text{Índice de acidez} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{BASE}} \times 56.1 \text{ mg}}{W_{\text{muestra}} \text{ g}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE (meq/mg)	% ACIDO OLEICO
MUESTRA 1	5.1628	53.7	0.00573	3.13
MUESTRA 2	5.1023	52.15	0.00563	3.11
MUESTRA 3	5.1394	52.8	0.00566	3.10
PROMEDIO			0.00567	3.11

Volumen del blanco: 0.9 ml; Hidróxido de potasio: 0.01 N

2. ACEITE INCHI EXTRAIDO MECANICAMENTE

- Índice de refracción de aceite extraído por prensa

MUESTRAS	INDICE DE REFRACCIÓN	TEMPERATURA (°C)
M1	1.4768	25
M2	1.4762	25
M3	1.4762	25
PROMEDIO	1.4761	

- Índice de rancidez hidrolítica

No hubo cambio de color. Prueba negativa (-)

- Índice de aldehídos grasos de aceite extraído por prensa

W MUESTRA	5.0 g
ABSORBANCIA BLANCO	0.026
ABSORBANCIA DEL ESTANDAR	0.023
INDICE DE ALDEHIDOS GRASOS	0.0201

- Índice de esteres de aceite extraído por prensa

IE = Índice saponificación – Índice acidez

MUESTRA	I. SAPONIFICACIÓN (meq/g)	I. ACIDEZ (meq)	INDICE DE ESTERES (meq/g)
1	177.17	0.00861	177.16
2	174.01	0.00748	174
3	165.89	0.00747	165.88

- Densidad de aceite extraído por prensa

$$D = \frac{P - P1}{M}$$

M

	DENSIDAD (g/ ml)	TEMPERATURA (°C)
MUESTRA 1	0.9156	25
MUESTRA 2	0.9189	25
MUESTRA 3	0.9104	25
PROMEDIO	0.9150	

- Humedad de aceite extraído por prensa

$$\% \text{ Base seca} = \frac{W_R}{W_M} \times 100 \quad \% \text{ Base húmeda} = 100 - \text{Base seca}$$

W_M

	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	% BASE SECA	% BASE HUMEDA
MUESTRA 1	2.2438	2.2426	99.95	0.05
MUESTRA 2	2.0736	2.0725	99.95	0.05
MUESTRA 3	2.2441	2.2368	99.67	0.33
PROMEDIO			99.86	0.14

- Índice de yodo de aceite extraído por prensa

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{tiosulfato}} \times 12.69 \text{ g}}{W_{\text{muestra}} \text{ g}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE DE YODO(meq/g)
MUESTRA 1	0.2269	2	122.14
MUESTRA 2	0.1205	10.1	98.95
MUESTRA 3	0.1501	10.3	79.13
PROMEDIO			100.07

Volumen del blanco (M1): 18.8 ml; Volumen del blanco (M2,M3) : 62.3 ml

Tiosulfato de sodio (M1): 0.13 N; Tiosulfato de sodio (M2, M3): 0.018 N

- Índice de saponificación de aceite extraído por prensa

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{HCl}} \times 56.1 \text{ mg}}{W_{\text{muestra}} \text{ g}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE DE SAPONIFICACIÓN (meq/g)
MUESTRA 1	2.0280	11.1	177.17
MUESTRA 2	2.0255	3.65	174.01
MUESTRA 3	2.0525	4	165.89
PROMEDIO			172.35

Volumen del blanco (M1): 21.60 ml; Ácido clorhídrico (M1): 0.61 N

Volumen del blanco (M2,M3): 13.95 ml; Ácido clorhídrico (M2,M3): 0.61 N

- Índice de peróxidos de aceite extraído por prensa

$$\text{Índice de peroxido} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{tiosulfato}} \times 1000 \text{ g}}{W_{\text{muestra}} \text{ g}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE DE PEROXIDO (meq/g)
MUESTRA 1	2.0312	2.3	13.44
MUESTRA 2	2.0172	2	13.01
MUESTRA 3	2.0063	1.75	9.96
PROMEDIO			12.13

Volumen del blanco (M1): 0.20 ml; Tiosulfato de sodio (M1): 0.013 N

Volumen del blanco (M2,M3): 0.95 ml; Tiosulfato de sodio (M2,M3):0.025 N

- Índice de acidez de aceite extraído por prensa

$$\text{Índice de acidez} = \frac{(V_{\text{del blanco}} - V_{\text{de la muestra}}) \times N_{\text{BASE}} \times 56.1 \text{ mg}}{W_{\text{muestra}} \text{ g}}$$

	PESO (g)	VOLUMEN GASTADO EN MUESTRA (ml)	INDICE (meq)	% ACIDO OLEICO
MUESTRA 1	5.0075	60	0.00861	3.33
MUESTRA 2	5.1644	28.05	0.00748	1.5
MUESTRA 3	5.0184	27.2	0.00747	1.5
PROMEDIO				2.11

Volumen del blanco: 0.88 ml; Hidróxido de potasio: 0.013 N

Volumen del blanco: 0.45 ml; Hidróxido de potasio: 0.025 N