

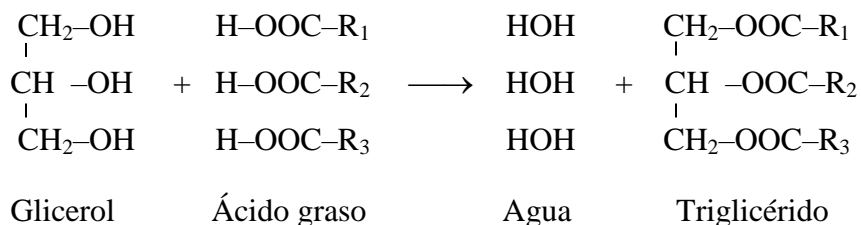
CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Aceite vegetal

En base a su origen, las grasas se clasifican en animales, vegetales y mezclas o grasas técnicas que consisten predominantemente en mezclas de ésteres de la glicerina con los ácidos grasos, es decir, glicéridos. (Bailey A. E.)

Los triglicéridos son los constituyentes principales de los aceites vegetales y las grasas animales. Los triglicéridos tienen densidades más bajas que el agua (flotan sobre el agua), y pueden ser sólidos o líquidos a la temperatura normal del ambiente. Cuando son sólidos se llaman "grasas", y cuando son líquidos se llaman "aceites". Un triglicérido, también llamado triacilglicérido, es un compuesto químico que consiste de una molécula de glicerol y tres ácidos grasos. (www.scientificpsychic.com)



El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía.

El aceite vegetal puede provenir de frutos o semillas como:

- La aceituna
- El girasol
- La soja
- La palma
- El sésamo
- El maní
- El arroz
- El maíz

- El lino
- El cártamo
- El cáñamo
- La colza
- La almendra
- La nuez
- La avellana
- Las pepitas de uva
- Las semillas de amapola
- Las semillas de calabaza
- La higuera

Contienen ácidos grasos mono-insaturados, ácidos grasos poli-insaturados (esenciales) y vitaminas, que tienen un efecto suavizante, nutritivo e hidratante, formando una fina capa protectora sobre la piel. (es.wikipedia.org)

1.2 Materia prima

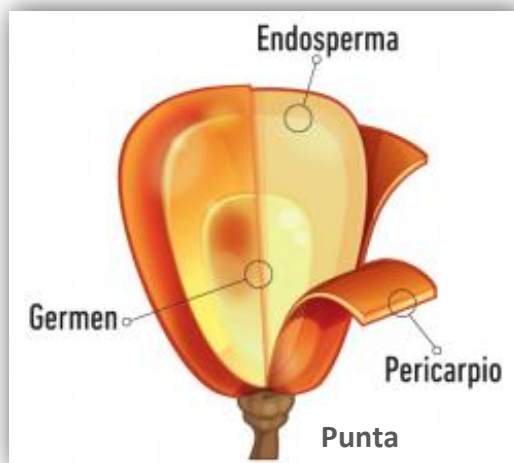
La materia prima de la cual se extrae el aceite de maíz está constituida, para el caso del presente trabajo de investigación; por materia prima indirecta, que es el maíz; y la materia prima directa, que es el germen del maíz.

1.2.1 Materia prima indirecta

El grano de maíz es de color muy variable; puede ser de color uniforme o diverso y abarca desde el blanco al pardo oscuro o púrpura. Los colores más corrientes son el blanco y el amarillo. (R. Carl Hoseney 1991)

Como es posible observar en el Gráfico I-1, las partes principales que conforman el grano de maíz son; el endospermo, germen, pericarpio y punta.

Figura 1-1
Partes principales del grano de maíz



El grano de maíz maduro tiene un peso promedio de 350 mg y su composición física se muestra en la Tabla I-1. (U. Gonzáles A. 1995)

Tabla I-1
Composición física del grano de maíz

Parámetro	Porcentaje en peso seco	
	Rango	Promedio
Endospermo	80.3-83.5	82.3
Germen	10.5-13.1	11.5
Pericarpio	4.4-6.2	5.3
Punta	0.8-1.1	0.8

Fuente: U. Gonzáles A. 1995

1.2.1.1 Usos industriales del maíz

La industrialización del maíz es una de las actividades agroindustriales que genera mayor valor agregado, puesto que permite obtener gran número de productos que se consumen en forma directa o son insumos de otras industrias. De particular importancia resulta su condición de materia prima renovable y no contaminante. (D. Franco)

La industrialización del maíz comprende dos procesos tecnológicamente diferentes: la molienda húmeda y la molienda seca. Cada uno de ellos permite obtener distintos productos. (D. Franco)

▪ Molienda húmeda

La molienda húmeda es un proceso altamente sofisticado que por medios físicos y químicos separa los componentes del grano de maíz en una serie de productos útiles. Por eso, los productos primarios son el almidón, proteína, aceite y fibra, en lugar de salvado, germen y endospermo que lo son en la molienda seca. (S. Acuña V. 2014)

La primera etapa del procedimiento es la inspección y limpieza, destinada a eliminar los materiales extraños que acompañan al maíz. Posteriormente, el cereal limpio se macera con agua a 50 °C en tanques de acero inoxidable durante 30 a 40 horas. En esta etapa la humedad se incrementa del 8 al 45 %. Asimismo, se debilitan los enlaces del gluten y se libera el almidón. (D. Franco)

Posteriormente el grano macerado se tritura groseramente para despegar el germen de los otros constituyentes. El resultante de la molienda, suspendido en una corriente de agua, se hace pasar por hidrociclones donde se separa el germen. Éste se destina posteriormente a la extracción de aceite, que es reconocido como uno de los de mejor calidad, superior a la mayoría de los obtenidos de las oleaginosas. Como residuo queda una torta, rica en proteína y otros nutrientes, que se usa en alimentación animal. (D. Franco)

El almidón, gluten y fibra contenidos en la suspensión son sometidos a una molienda fina. Por sus características, la fibra es menos afectada por la molienda y puede ser

separada mediante tamizado. Este subproducto se conoce como gluten feed y se destina a la producción de alimentos balanceados. El gluten y almidón que permanecen en la corriente de agua presentan diferente densidad, lo que permite separarlos mediante centrifugación. El gluten, o gluten meal separado, también se emplea en alimentación animal. (D. Franco)

El almidón, que se purifica hasta alcanzar una concentración de 99,5 %, puede secarse y comercializarse como almidón nativo o ser sometido a procesos posteriores para obtener edulcorantes nutritivos (jarabes, dextrosa). (D. Franco)

Para la elaboración de edulcorantes, la suspensión acuosa de almidón puede tratarse con ácido o con enzimas, lo que permite reducir las grandes moléculas de almidón a unidades más pequeñas. Este proceso, conocido como hidrólisis, puede realizarse en forma parcial o bien total para obtener azúcares simples. De esta manera el procedimiento se adapta para obtener edulcorantes con diferente dulzor y propiedades físicas. (D. Franco)

El jarabe de glucosa es un producto cristalino y viscoso resultante de una hidrólisis parcial. Esta solución contiene alrededor de 20% de dextrosa en base seca. Se utiliza, junto con azúcar, en caramelería, elaboración de dulces y mermeladas, helados, productos lácteos, panificación y galletería. Se lo emplea por su propiedad anticristalizante, higroscopicidad, cuerpo, textura y poder humectante. (D. Franco)

De la hidrólisis enzimática del almidón también puede obtenerse jarabe de maltosa o maltodextrina. Es un polvo blanco, rico en polisacáridos y triosas (moléculas de tres unidades de azúcar simple). Se utiliza en alimentos para bebés, bebidas cítricas en polvo, caramelos, pastelería, sopas y caldos y productos lácteos. Sus cualidades están referidas a su baja higroscopicidad, buena solubilidad y bajo poder edulcorante. (D. Franco)

La dextrosa se obtiene cuando el almidón se hidroliza en forma completa y posteriormente se refina y cristaliza. Tiene numerosos usos en la industria

alimenticia, tales como refrescos, jugos y productos lácteos, así como en especialidades medicinales. (D. Franco)

Un proceso adicional consiste en el tratamiento enzimático para transformar la glucosa en fructosa, de mayor poder endulzante. Los productos comerciales obtenidos presentan 42 y 55 % de fructosa. Los jarabes de maíz de alta fructosa se utilizan como sustitutos del azúcar de caña, en bebidas, gaseosas, jugos, licores y en general en todo proceso industrial que utiliza azúcar en fase líquida. En la elaboración de galletas o tortas, no sólo se lo usa por su poder edulcorante sino por sus cualidades como humectante y agente texturizador. (D. Franco)

▪ **Molienda seca**

El proceso de molienda seca apunta a una completa separación de las partes principales del grano de maíz (pericarpio, germen y endospermo) hasta donde sea económicamente factible; produciendo la máxima cantidad de endospermo removiendo tanto como sea posible el germen y pericarpio para dar un producto de baja grasa y baja fibra; recuperando la mayor proporción posible de germen como trozos grandes y limpios. (Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca Argentina 2010)

De esta molienda se obtiene también una importante variedad de productos, entre ellos cereales para desayuno, harinas y sémolas. Estas últimas pueden destinarse a la producción de cerveza, snacks o bien para la preparación de polenta. (D. Franco)

La harina de maíz se emplea en la elaboración de productos panificados. El germen, al igual que en la molienda húmeda, se separa y se destina a la extracción de aceite. La industria de la molienda seca de maíz exige granos duros, que rindan grandes proporciones de fracciones gruesas. (D. Franco)

1.2.2 Materia prima directa

El aceite de maíz es un valioso subproducto del proceso de industrialización de este cereal, de esta manera, el aceite de maíz se elabora a partir del germen del mismo debido al gran porcentaje de aceite que éste posee. (D. Franco)

En un rango promedio, el porcentaje que representa el germen en el grano de maíz es de un 11.5 %. (U. González A. 1995)

En la Foto 1-1 es posible apreciar el germen del maíz; separado del resto de los componentes del mismo.

Foto 1-1

Germen de maíz



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla I-2 se puede observar la distribución del aceite en las diferentes partes que conforman el grano de maíz. En la misma es posible evidenciar que el mayor porcentaje en contenido de aceite se encuentra en el germen llegando este valor hasta un 38,9 %.

Tabla I-2
Distribución del aceite en las diferentes fracciones del grano de maíz según
Inglett y Weber en base seca

Parámetro	Inglett 1970		Weber 1973	
	% peso	% aceite	% peso	% aceite
Punta	0,8	3,8	0,8	3,7-3,9
Pericarpio	5,3	1,0	4,4-6,2	0,7-1,2
Germen	11,5	34,5	10,2-14,1	31,1-38,9
Endospermo	82,3	0,8	79,7-83,5	0,7-1,1
Grano entero	100.0	4.8	100.0	3.9-5.8

Fuente: Morrison, 1978

La composición media del germen en estado natural es la que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla I-3
Composición de germen de maíz en estado natural

Parámetro	Porcentaje
Agua	35 al 45
Grasa	15 al 20
Sustancia nitrogenada y no nitrogenada	40 al 50

Cenizas	2 al 3
---------	--------

Fuente: Bernardini E. 1981

Si el germen no se deseca inmediatamente se producen fenómenos fermentativos y la acidez de la sustancia grasa aumenta sensiblemente. El germen secado tiene la composición media que se muestra en la Tabla I-4.

Tabla I-4

Composición del germen de maíz secado

Parámetro	Porcentaje
Agua	5 al 7
Grasa	30 al 35
Sustancia nitrogenada y no nitrogenada	55 al 60
Cenizas	3 al 5

Fuente: Bernardini E. 1981

1.3 Variedades de maíz

A continuación, se hace un resumen de las variedades de maíz que fueron obtenidas y que se producen en nuestro medio, además se hace un resumen de las variedades nativas. Resumen que fue obtenido de la tesis de grado titulada “Mejoramiento del Maíz Criollo (*Zea Mayz L.*) Variedad Kulli. Fase IV” del autor Wildo Pimentel Molina.

1.3.1 Variedades de importancia en nuestro medio

Estas variedades fueron obtenidas en nuestro medio por el que fuera Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, de ahí que deriva el nombre de la variedad.

1.3.1.1 IBTA-Algarrobal 101

Posee granos de color amarillo-naranja de tamaño mediano, presenta una textura de grano semidura. Se cultiva en la región chaqueña (Chuquisaca y Tarija) y zonas subtropicales. Esta variedad está destinada a la elaboración de alimentos balanceados.

1.3.1.2 IBTA-Algarrobal 102

Esta variedad tiene granos de color amarillo de tamaño mediano, la textura del grano es sedimentada, dura. Se cultiva en zonas del Chaco (Chuquisaca y Tarija) también en zonas subtropicales. Esta variedad es destinada a la elaboración de alimentos balanceados y consumo humano.

1.3.1.3 IBTA-Algarrobal 103

El grano de esta variedad es de color blanco de tamaño mediano, la textura de grano es aperlado, semiduro. Las zonas de cultivo de esta variedad es el Chaco (Chuquisaca y Tarija), también se cultiva en zonas subtropicales. Se lo consume en grano para alimentación humana.

1.3.1.4 IBTA-Algarrobal 105

Esta variedad presenta un grano pequeño, de color amarillo-naranja, la textura del grano es dura. Las zonas destinadas a producir esta variedad son Chuquisaca y Tarija, también es apta para las zonas subtropicales. Su forma de consumo es en la elaboración de alimentos balanceados.

1.3.1.5 IBTA-Algarrobal 108

El tamaño de grano de esta variedad es grande, de color amarillo, con la textura semidentado. Esta variedad se cultiva en el Chaco; de Chuquisaca y Tarija. Es consumido en estado de choclo, grano y harinas.

1.3.1.6 IBTA-Erquis 1

Esta variedad presenta granos pequeños a medianos, de color amarillo tendiente a blanco. Se cultiva en los valles de Tarija, Chuquisaca y Potosí (zonas con riego). Es consumido en estado de choclo.

1.3.1.7 IBTA-Erquis 2

Esta variedad presenta el grano de tamaño mediano, de color blanco. Las zonas de cultivo son los valles meso térmicos de Tarija y Chuquisaca. Se lo consume como choclo y grano.

1.3.1.8 IBTA-Erquis 3

Esta variedad presenta el tamaño de grano mediano, de color amarillo. Las zonas de cultivo son los valles de Tarija, Chuquisaca y Potosí. Las formas de consumo son en grano (mote, harinas, elaboración de chicha).

1.3.1.9 IBTA-Zudañez 1

Presenta un color de grano amarillo y rojo jaspeado, de tamaño mediano, la textura de grano es semidentado. Se cultiva en los valles templados de Chuquisaca, Tarija y Potosí. Se lo consume en forma de grano (mote, harinas, sopas, elaboración de chicha).

1.3.1.10 IBTA-Ibo 201

La variedad IBTA-Ibo 201 es de tamaño mediano, de color amarillo. Las zonas aptas para este cultivo son Chuquisaca y Tarija. Se utiliza para consumo humano y elaboración de alimentos balanceados.

1.3.1.11 IBTA-Ibo 202

Esta variedad presenta el grano de tamaño mediano, de color blanco. Se cultiva en zonas del Chaco, Chuquisaca y Tarija. Se consume en forma de grano, para alimentación humana (mote, humintas, sopas).

1.3.2 Variedades nativas

Las variedades nativas son, como su nombre lo dice, nativas u originarias que no han sido obtenidas a través de ninguna técnica. Entre las variedades nativas se tienen las que siguen a continuación.

1.3.2.1 Variedad morocho

Este tipo de maíz se está difundiendo en la zona andina. Este maíz es más tolerante a problemas que afectan a los maíces harinosos, son maíces que tienen el doble propósito de servir como uso humano y para la industria avícola.

1.3.2.2 Variedad cubano dentado

Como su nombre lo dice, es muy similar a los amarillos dentados comunes en las islas de las indias occidentales. Probablemente fue introducido a Bolivia como maíz comercial.

1.3.2.3 Variedad Pairumani-Aychasara

Tiene un color de grano blanco, tamaño de grano grande. Las condiciones de cultivo son en los valles de Tarija y Chuquisaca.

1.3.2.4 Variedad pisankalla

Esta variedad de maíz presenta mazorcas delgadas, de granos blancos y puntiagudos.

1.3.2.5 Variedad kulli

La variedad kulli presenta el color de grano pintado con mazorcas cortas, granos más o menos o ligeramente punteados con endospermo harinoso.

1.4 Aceite de maíz

Como se mencionó anteriormente, el aceite de maíz es extraído del germen del mismo, por lo tanto, es un valioso subproducto de la industrialización de este cereal. Dadas las características del proceso de obtención, las empresas del sector no elaboran aceite en forma exclusiva, sino una gran variedad de productos que se obtienen de la molienda. (D. Franco)

El aceite crudo de maíz tiene un color ámbar rojizo oscuro; aun después de refinado es de color considerablemente más oscuro que los otros aceites vegetales. Contiene grandes cantidades de fosfátidos y otras sustancias no grasas (frecuentemente un 2 %

o más) y su contenido en ácidos grasos libres (normalmente superior al 1,5 %) es, más alto que el de los demás aceites de semillas vegetales de buena calidad. El aceite refinado contiene trazas de ceras, que producen la turbidez del aceite, cuando se enfría a bajas temperaturas, a menos que se haya separado. Tiene un característico olor dulzón, reminiscente del de azúcar de maíz, que se elimina por desodorización. (Bailey A. E.)

Este aceite es especialmente útil para comer crudo o cocinado, proporcionando abundantes ácidos grasos esenciales, que son aquellos que el organismo no puede fabricar y tiene que tomar de los alimentos. El mejor aceite de maíz es aquel que se obtiene por presión en frío, sin la intervención del calor, del germen del maíz. Este tipo de aceite es rico en vitamina E, que es un tipo de vitamina que se obtiene a través de las grasas vegetales y que constituye un gran antioxidante. (maiz.aceitescomestibles.com)

1.4.1 Características físico-químicas del aceite crudo de maíz

A continuación, en la Tabla I-5 se detallan las características físico-químicas que presenta el aceite crudo de maíz.

Tabla I-5

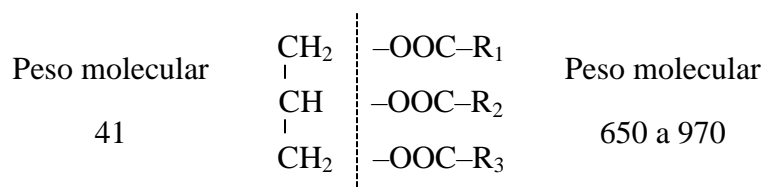
Características físico-químicas del aceite crudo de maíz

Indicador	Unidades	Valores
Densidad absoluta	g/ml	0,9104-0,9164
Índice de refracción	-	1,4707-1,4727
Índice de iodo	g I ₂ /100g	111,0-128,0
Índice de saponificación	mg KOH/g	188,0-193,0
Materia insaponificable	g/100 g	2,00 máximo
Acidez, expresada como ácido oleico	g/100 g	4,00 máximo

Fuente: Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM 2006

1.4.2 Ácidos grasos en el aceite de maíz

El peso de los átomos de la porción C_3H_5 de la molécula de un triglicérido es 41 y la suma de los pesos de los átomos de los radicales de ácidos grasos ($R-COO$), que comprenden el resto de la molécula, varía entre 650 y 970 en los diferentes aceites, es decir, que los ácidos grasos constituyen el 94-96 % del peso total de la molécula.



Debido a esta preponderancia ponderal y también por el hecho de que comprenden la parte activa de la molécula, los ácidos grasos ejercen una marcada influencia sobre el carácter de los glicéridos. Por consiguiente, la química de los aceites es una extensión de la de los ácidos grasos. (Bailey A. E.)

En la Tabla I-6 se presenta la composición de los ácidos grasos que contiene el aceite de maíz.

Tabla I-6
Composición de ácidos grasos del aceite de maíz

Ácidos grasos	Átomos de carbono	Dobles enlaces	Valores de referencia
Nombre	Número	Número	(%)
Láurico	12	0	<0,3
Ácido mirístico	14	0	<0,1
Ácido palmítico	16	0	9,0-14
Ácido palmitoleico	16	1	<0,5
Ácido esteárico	18	0	0,5-4,0
Ácido oleico (Omega 9)	18	1	24,0-42,0
Ácido linoleico (Omega 6)	18	2	34,0-62,0
Ácido linolénico (Omega 3)	18	3	<2,0
Ácido araquídico	20	0	<1,0
Ácido eicosenoico	20	1	<0,5
Ácido lignocérico	24	0	<0,5

Fuente: Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria Brasil-ANVISA 1999

El aceite de maíz es rico en ácidos grasos poliinsaturados (34-62 % de ácido linoleico), o monoinsaturados (24-42 % de ácido oleico) frente a los saturados (9-14 %, 0,5-4 % de ácido palmítico y esteárico respectivamente). Dentro de los ácidos grasos poliinsaturados, el aceite de maíz es rico en omega-6 (ácido linoleico). El omega-6 es un ácido graso esencial, cuya importancia en la salud del aparato circulatorio resulta trascendental (disminución de colesterol, prevención de la arteriosclerosis, disminución de los ataques de corazón). El aceite de maíz es uno de los aceites vegetales con mayor proporción de grasas poliinsaturadas, solamente superado por el aceite de nueces que contiene un 63,3%. Como la mayoría de los aceites vegetales, no contiene colesterol. (maiz.aceitescomestibles.com)

1.4.3 Beneficios y usos del aceite de maíz

El aceite de maíz, por su elevada cantidad de vitamina E (34 mg por cada 100 g de aceite), es un alimento beneficioso para nuestro sistema circulatorio. Este alimento tiene propiedades antioxidantes, es beneficioso para la vista y puede ayudar en la prevención de la enfermedad de Parkinson. (maiz.aceitescomestibles.com)

El efecto antioxidante es gracias a que la vitamina E previene la formación de radicales libres que son compuestos provenientes de la oxidación de las grasas y que favorecen el envejecimiento. Por no contener sodio, tomar el aceite de maíz es beneficioso para personas con hipertensión o que tengan exceso de colesterol. (maiz.aceitescomestibles.com)

El aceite de maíz refinado tiene mucho éxito ya que tiene una gran resistencia al enranciamiento y potencia el sabor de los alimentos. Es muy utilizado por ello para freír alimentos (en hostelería y en el hogar), se usa para ensaladas, platos al horno o guisos diversos, para la elaboración de margarinas, mayonesas, en la industria de la panificación, postres y siempre que se quiera sustituir la grasa animal. Se usa en masajes ya que es un buen vehículo de aceites esenciales. También es ideal en el cuidado corporal ya que nutre e hidrata (contiene mucha vitamina E). (propiedadesdelaceite.com)

1.5 Métodos de obtención de aceite

La extracción de aceite puede realizarse por métodos mecánicos como lo es el prensado, también se puede obtener aceite por medio de la extracción por solvente. Por otra parte, se encuentra el método de obtención Soxhlet que también utiliza solvente y es un método que se aplica en laboratorio, finalmente; se tiene el método de obtención supercrítica.

1.5.1 Métodos mecánicos

Entre los métodos mecánicos para la obtención de aceite están la extracción por prensado, propiamente dicho; y la extracción por prensado en frío.

1.5.1.1 Extracción por prensado

Es el procedimiento más antiguo y casi único de extracción de aceite que se basa en la aplicación de la presión sobre una masa de semillas o frutos oleaginosos confinados en bolsas, telas, mallas u otros artificios adecuados. (Bailey A. E.)

1.5.1.2 Prensado en frío

La extracción de aceite también se realiza mediante aparatos mecánicos, utilizando prensas. En este caso particular la extracción se lleva a cabo en un extrusor a tornillo sin fin, vigilando especialmente que la temperatura generada por la presión no supere los 45°C, por lo que se denomina prensado en frío, asegurando así la estabilidad molecular de los ácidos grasos poliinsaturados y evitando la disolución de ceras y otras sustancias y además ayuda al aceite a mantener su estado original, constituyentes e intensidad. (Bailey A. E.)

1.5.2 Extracción por solvente

Para el desarrollo de este punto se realizó un estudio bibliográfico que se plasma en un resumen que sigue a continuación, resumen que se extrajo del libro “Tecnología de Aceites y Grasas” del autor E. Bernardini, editorial Alambra, 1981.

La extracción del aceite de una semilla oleaginosa por medio de solvente es un procedimiento que se usa en la casi totalidad de las plantas que trabajan estos productos.

Los factores que influyen en el proceso de extracción y que se refieren al solvente son los siguientes:

- a) Tiempo de extracción.
- b) Cantidad de solvente.
- c) Temperatura del solvente.
- d) Tipo de solvente.

A continuación, se analizan cada uno de estos parámetros.

a) **Tiempo de extracción**

El tiempo de extracción tiene una importancia fundamental sobre la cantidad de aceite extraído, por lo que a mayor tiempo de extracción el rendimiento es mayor. Por otra parte, mayor parte del aceite se extrae en los primeros treinta minutos de la extracción y para poder dejar la harina con un aceite residual inferior al 1% se requiere un tiempo muy largo.

En la Tabla I-7 es posible apreciar la influencia que tiene el tiempo de extracción en el rendimiento, los datos se reflejan en el contenido residual de aceite en la harina después de la extracción.

Tabla I-7

Extracción de aceite a diferentes tiempos

Solvente	Contenido en aceite	Aceite residual 30 minutos	Aceite residual 60 minutos	Aceite residual 120 minutos
930 ml	(g)	(g)	(g)	(g)

Soya	19,69	1,27	0,96	0,35
Girasol	11,90	1,40	0,74	0,42
Maní	12,60	1,07	0,48	0,26

Los datos reflejados son a partir de 100 g de muestra a la misma temperatura para los diferentes tiempos de extracción.

b) Cantidad de solvente

A igual tiempo y temperatura la cantidad de solvente tiene una elevada importancia hasta llegar a una relación (peso-volumen) semilla/disolvente de 1:18. A partir de esta relación el rendimiento aumenta muy poco. Además, la cantidad de solvente necesaria para disminuir el contenido de aceite en la harina hasta el mismo valor es diferente según la semilla.

En la Tabla I-8 es posible observar la influencia que tiene la cantidad de solvente utilizado para la misma cantidad de muestra, 100 g, en el rendimiento para la extracción de aceite.

Tabla I-8

Extracción de aceite con diferentes cantidades de solvente

Tiempo de extracción	Contenido en aceite	Aceite residual con 930 ml	Aceite residual con 1860 ml	Aceite residual con 2790 ml
60 min	(g)	(g)	(g)	(g)
Soya	19,69	1,83	1,83	0,84
Girasol	11,90	1,44	0,74	0,73
Maní	12,60	1,05	0,48	0,45

En conclusión, manteniendo constante el tiempo y la temperatura de extracción, a

mayor cantidad de solvente utilizado el rendimiento es mayor.

c) Temperatura del solvente

La temperatura del solvente también constituye una variable importante en el rendimiento de la extracción de aceite. En la Tabla I-9 se puede evidenciar esta situación, donde es constante el tiempo de extracción y la cantidad de solvente para 100 g de muestra.

Tabla I-9

Extracción de aceite a diferentes temperaturas de solvente

Tiempo de extracción 2 h	Contenido en aceite (g)	Aceite residual (g)		
		30 °C	40 °C	50 °C
Soya	19,69	0,40	0,23	0,20
Girasol	11,90	0,51	0,36	0,28
Maní	12,60	0,35	0,20	0,19

Por lo tanto, el aumento de la temperatura del solvente favorece la extracción del aceite.

d) Tipo de solvente

Entre algunos solventes conocidos se tiene el n-hexano, el benceno, el sulfuro de carbono y el tricloroetileno.

En la Tabla I-10 se puede observar el poder extractivo que tiene cada uno de estos solventes, para 100 g de muestra.

Tabla I-10

Poder extractivo de diferentes tipos de solvente

4 h de extracción 2790 ml de solvente	Contenido en aceite (g)	Aceite residual (g)			
		Hexano	Benceno	Sulfuro de carbono	Tricloroetileno
Soya	19,69	0,40	0,44	0,32	0,18
Girasol	11,90	0,51	0,58	0,47	0,31
Maní	12,60	0,35	0,32	0,27	0,20

De esta manera, el hexano y el benceno tienen prácticamente el mismo poder solvente; el sulfuro de carbono tiene un poder solvente mayor que el hexano y el benceno; y el tricloroetileno tiene un poder solvente casi el doble que el del hexano y benceno.

Aunque de estos datos parece desprenderse que el tricloroetileno sería el mejor solvente para la extracción de semillas oleaginosas, no obstante, se debe tomar en cuenta la influencia que tiene el solvente en la calidad del aceite extraído, puesto que el mayor poder solvente va siempre acompañado de un empeoramiento de la misma.

Debiéndose elegir el solvente más adecuado para obtener la mejor calidad de aceite, la elección debe caer sobre el hexano o el benceno, dado que hoy casi todos los aceites vegetales van destinados a la alimentación humana, lo que exige que el producto sea lo más puro posible. Sin embargo, no es solamente el factor de calidad lo que determina la elección de estos solventes, sino que hay otros factores de carácter físico que es necesario tener en cuenta como el calor latente de vaporización y el punto de ebullición. El hexano y el benceno tienen un calor latente de vaporización mucho más bajo que el sulfuro de carbono y que el tricloroetileno; además, este último tiene un punto de ebullición más elevado.

Además de estos factores hay otros factores químicos que hacen preferible el hexano y el benceno al sulfuro de carbono y al tricloroetileno. Estos factores son fundamentalmente de acción corrosiva de estos últimos, y de sus vapores, a los materiales férricos con los que están en contacto. De hecho, el sulfuro de carbono, produce con el tiempo, compuestos sulfurados, y el tricloroetileno produce vapores clorados. Desde el punto de vista de la toxicidad, el sulfuro de carbono es el más peligroso, porque son suficientes 32 g por metro cúbico para producir un ambiente intolerable.

De todas estas consideraciones sobre estos cuatro tipos de solventes se concluye lo siguiente:

- Los solventes más aptos para la extracción de aceite de una semilla oleaginosa son el hexano y el benceno.
- El sulfuro de carbono hay que descartarlo, por su peligrosidad y toxicidad.
- El tricloroetileno podría utilizarse solamente en los casos en que es absolutamente necesario utilizar productos no inflamables y cuando la calidad del aceite no es de primordial importancia.

Además de estos solventes hay otros productos que se utilizan en casos especiales, entre ellos se encuentra el éter de petróleo, que se utiliza en los casos en que la temperatura de ebullición no debe superar ciertos límites (ejemplo: la extracción de aceites esenciales); la acetona que es un solvente selectivo para extracción del gossipol en la harina de semilla de algodón; el dicloroetileno, para la extracción de manteca de cacao, etc.

1.5.2.1 Procesos de extracción por percolación e inmersión

La extracción de aceite de una semilla oleaginosa por medio de lavado de solvente se puede realizar de tres maneras:

- Por percolación
- Por inmersión
- Por procedimiento mixto percolación – inmersión

El procedimiento de percolación se lleva a cabo mediante una lluvia del solvente de manera tal que llegue a toda la masa, pero sin llenar todos los espacios vacíos existentes entre las

semillas. En otras palabras, se realiza una verdadera percolación cuando el solvente envuelve a todas las partículas de la semilla con una película de líquido en continuo recambio.

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

Lo indicado comporta lo siguiente:

- En el procedimiento de percolación, la velocidad de solvente en contacto con la superficie de semilla es grande, ya que el film o la película de líquido escurre velozmente sobre las partículas por efecto de la fuerza de la gravedad.
- 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 si circula rápidamente.
- Para poder realizar el proceso de percolación es necesario que las partículas de la semilla tengan un tamaño que permita un fácil drenaje del solvente a través de la masa.
- El proceso de inmersión puede realizarse fácilmente, aunque la semilla haya sido reducida a partículas de pequeños tamaños.
- En ambos procesos, 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.

Se comprende que el proceso de percolación se presta muy bien para extraer el aceite de la semilla que se encuentra en estado libre por la acción de los tratamientos previos (extracción por solución), mientras que el proceso por inmersión es más adecuado para extraer el aceite de las células todavía enteras (extracción por difusión).

El proceso de percolación, al trabajar con grandes velocidades de paso del solvente, requiere, necesariamente, de varios reciclados del mismo, y por tanto, se deberá realizar varias etapas de lavado, con el fin de poner en contacto la semilla pobre en aceite con el solvente de menor contenido en dicho producto y viceversa. Se trata, por tanto, de una

extracción en diversas etapas, aunque sea de modo continuo, y nunca podrá realizarse un perfecto lavado en contracorriente.

El proceso de inmersión, que trabaja, por el contrario, 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 del proceso por inmersión, está compensado por un otro elemento que, por el contrario, es ventajoso para el proceso por percolación, y que se refiere a la concentración de aceite en la miscela de lavado, que en el proceso por percolación puede alcanzar valores muy altos, llegando al 35 % por efecto del reciclado de la miscela, mientras que en el proceso por inmersión esta concentración difícilmente llega al 15 %. Este hecho repercute sensiblemente sobre los costos de operación.

El proceso de extracción por percolación es adecuado para tratar semillas oleaginosas que han sido bien tratadas, con bajos porcentajes de finos, mientras el proceso por inmersión tendrá éxito en casos de que la semilla oleaginosa se presenta en pequeñas partículas y con altos porcentajes de finos.

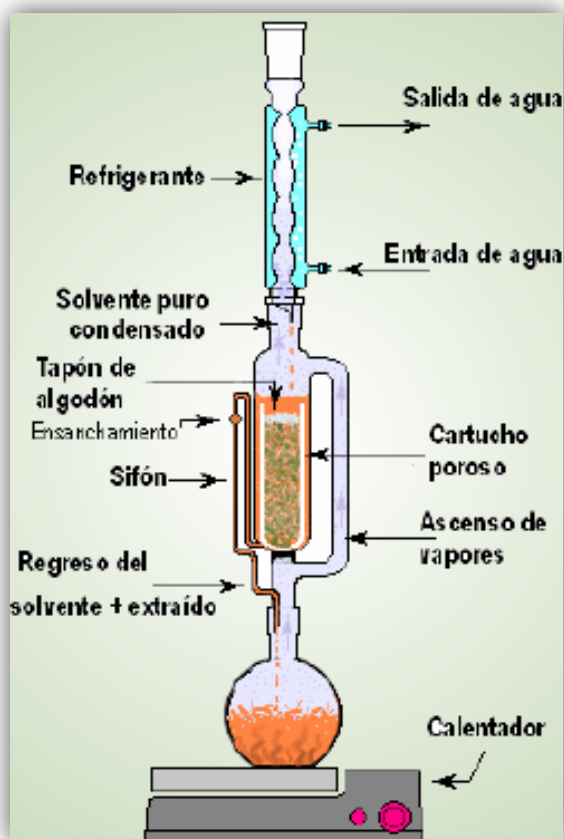
El dilema entre uno u otro procedimiento está resuelto en el aparato Soxhlet, donde se realiza una extracción mixta percolación – inmersión con resultados muy buenos, y tanto es así que este aparato se utiliza para la determinación analítica del contenido de aceite de una sustancia grasa.

1.5.3 Extracción Soxhlet

En la Figura 1-2 es posible apreciar un extractor Soxhlet convencional en pleno funcionamiento.

Figura 1-2

**Extracción con Soxhlet en el momento en que se produce el sifonamiento del
solvente**



La extracción Soxhlet fue diseñada por el químico alemán Franz Von Soxhlet en 1879. Es un tipo de material de vidrio utilizado para la extracción de compuestos, generalmente de naturaleza lipídica, contenidos en un sólido, a través de un disolvente afín. (es.wikipedia.org)

La extracción de tipo Soxhlet es una operación de transferencia de masa, donde un solvente orgánico, extrae selectivamente la materia grasa presente en la muestra; es un equipo que se suele usar en experimentos de laboratorio, aunque en instalaciones de pequeña capacidad y otros de funcionamiento análogo también se aplica. El solvente se hace hervir en el balón, y sus vapores condensados son enviados a un recipiente que contiene el sólido con el soluto a extraer. El extracto es enviado de nuevo al balón, donde vuelven a producirse vapores de solvente que se utilizan en nuevas extracciones. De este modo, en el balón se va acumulando el soluto, mientras que el solvente se va agotando en él. (J. Costa, S. Cervera)

1.5.4 Extracción supercrítica

La extracción supercrítica es una operación unitaria de transferencia de masa que se efectúa por encima del punto supercrítico del solvente, similar a la extracción clásica con la particularidad de utilizar como agente extractor un fluido supercrítico en lugar de un líquido. (A. M. Velásquez V.)

Los valores de la presión y temperatura críticos son característicos de cada sustancia, y pueden ser muy diferentes una de otra. Algunas sustancias tales como el dióxido de carbono o el monóxido de dinitrógeno alcanzan el estado supercrítico a temperaturas y presiones relativamente moderadas. Otras, sin embargo, necesitan condiciones de presión y/o temperatura muy drásticas para poder convertirse en fluidos supercríticos, siendo un ejemplo claro de este tipo de sustancias el agua o el amoníaco. Lógicamente, la mayor o menor facilidad para alcanzar el estado supercrítico será uno de los factores determinantes a la hora de elegir un compuesto para ser utilizado en este tipo de extracciones. De hecho, el fluido más ampliamente utilizado es el dióxido de carbono. (J. C. Herrera de P.)

En la Tabla I-11 se muestran los parámetros críticos del dióxido de carbono, del monóxido de dinitrógeno, del amoníaco, del metanol y del agua.

Tabla I-11

Parámetros críticos de algunos fluidos

Fluido	Temperatura crítica	Presión crítica
	(°C)	(atm)
CO ₂	31,2	72,9
N ₂ O	36,6	71,5
NH ₃	132,7	111,3
CH ₃ OH	239,6	79,9
H ₂ O	374,1	217,7

Fuente: Smith-Van Ness 6^{ta} edición

El dióxido de carbono, además de ser un gas a presión atmosférica, presenta otras importantes ventajas prácticas que han hecho que sea, con diferencia, el fluido más utilizado. De entre ellas pueden destacarse las siguientes: es inerte, no tóxico, barato, puede adquirirse con un alto grado de pureza y, tal como ya se ha comentado, adquiere el estado crítico a baja temperatura y a una presión de fácil manejo. (J. C. Herrera de P.)

1.5.4.1 Proceso de extracción supercrítica

El proceso de extracción con fluidos supercríticos básicamente consiste de cuatro etapas:

1. Etapa de presurización: se eleva la presión del gas a utilizar como solvente a un valor P_1 por encima de su presión crítica P_c ; esta operación se realiza por medio de un compresor o bomba.
2. Etapa de ajuste de temperatura: se remueve o adiciona energía térmica, ya sea con un intercambiador de calor, baños térmicos o resistencias eléctricas, para llevar el solvente comprimido a la temperatura de extracción requerida, estado que está por encima de su temperatura crítica.

3. Etapa de extracción: se conduce el fluido supercrítico al extractor donde se encuentra la muestra o materia prima que contiene el soluto de interés.

4. Etapa de despresurización: el gas se descomprime a una presión P2 inferior a la presión crítica, liberándose el soluto en un recipiente separador.

La mayor ventaja de la extracción mediante fluidos supercríticos es su menor impacto en el medio ambiente. Es una tecnología limpia porque, al usar sustancias como el dióxido de carbono o el agua, los residuos que se producen no son tóxicos y se reciclan fácilmente. La posibilidad de eliminar de forma rápida el exceso del fluido supercrítico por simple despresurización y recolección de los analitos concentrados es otra ventaja importante. (A. M. Velásquez V.)

La alta inversión requerida para el montaje de un equipo de extracción con fluidos supercríticos, así como los pocos datos relativos a equilibrios de fases y de transferencia de materia en sistemas complejos, han impedido el empleo masivo de esta técnica de extracción, obligando al investigador a diseñar empíricamente las condiciones operativas ingenieriles y termodinámicas en la mayoría de los casos. (A. M. Velásquez V.)

1.5.4.2 Aplicaciones de la extracción supercrítica

El proceso de extracción con fluidos supercríticos es altamente efectivo para aplicaciones en procesos químicos, farmacéuticos, alimentarios, de eliminación de residuos y en la industria del petróleo. Por ejemplo, en el caso del tratamiento de residuos, los fluidos supercríticos vienen a sustituir a la incineración, que debido a las altas temperaturas que requiere emite gran cantidad de sustancias tóxicas. (A. M. Velásquez V.)

Sin embargo, mediante el uso de fluidos supercríticos, se consiguen los mismos resultados y los residuos son tan sólo sustancias inorgánicas no contaminantes, como nitrógeno o dióxido de carbono. (A. M. Velásquez V.)

El principal aspecto innovador de la tecnología de los fluidos supercríticos reside en su uso para extraer el crudo derramado en alta mar. Los fluidos supercríticos reducen

la viscosidad de la mayor parte del crudo posibilitando su extracción hasta la superficie, donde es recogido. (A. M. Velásquez V.)

El proceso de extracción supercrítica se aplica en la extracción de productos naturales, como la cafeína del café y del té para obtener el descafeinado; en la extracción de alcaloides en general (por ejemplo, del lupino, del tabaco, etc.); en el refinamiento y recuperación de aceites; extracción de lípidos y colesterol, extracción de colorantes, en la limpieza y protección de superficies contaminadas con pesticidas u otros tipos de sustancias y la obtención de compuestos más pequeños y más fácilmente asimilables por el cuerpo que los obtenidos por los métodos tradicionales, son algunos de los procesos en los que se emplea esta tecnología. (A. M. Velásquez V.)

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Descripción de la materia prima utilizada

La materia prima directa que será utilizada en el presente trabajo de investigación es el maíz de la variedad IBTA-Algarrobal 102, la misma ha sido producida en la provincia O'Connor; obtenida de uno de los productores y comercializadores del lugar; que a la vez es un producto certificado por el INIAF.

Esta variedad tiene granos de color amarillo de tamaño mediano, la textura del grano es sedimentada, dura.

El peso promedio del grano de esta variedad de maíz y que fue utilizado en el presente trabajo es de 432,224 mg (ver Anexo C). En la Foto 2-1 se muestra la imagen del maíz de la variedad IBTA-Algarrobal 102.

Foto 2-1

Maíz de la variedad IBTA-Algarrobal 102



Fuente: Elaboración propia

2.2 Descripción y selección del método de investigación para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

La extracción de aceites vegetales básicamente se realiza de dos maneras; la extracción por solvente y la extracción por prensado.

La extracción de aceite mediante prensado sin calentamiento es el método más puro, y con frecuencia el resultado es un producto comestible sin refinar. La extracción de aceite con solvente es un método más eficaz que el prensado, en cuanto a la cantidad de aceite que se obtiene. (www.fao.org)

En instalaciones de la universidad y en nuestro medio no se cuenta con el equipamiento necesario para realizar una extracción por prensado, pero sí con el equipamiento para realizar una extracción por solvente a escala laboratorio. En instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) del Departamento de Procesos Industriales y Biotecnológicos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho se cuenta con el equipamiento y reactivos necesarios. Por lo tanto, para la realización del presente trabajo de investigación se opta por el método de extracción por solvente del tipo Soxhlet.

El método del tipo Soxhlet para la obtención del aceite crudo de maíz se basa en la técnica de separación sólido-líquido que es una operación unitaria de transferencia de masa cuya finalidad es la separación del aceite contenido en las partículas de germen del maíz, es decir, el componente contenido en una fase sólida; mediante la utilización de solvente, es decir, una fase líquida. El aceite que es transferido de la fase sólida a la líquida recibe el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte, y el solvente, en este caso n-hexano, es la parte líquida que entra en contacto con la parte sólida con el fin de retirar todo el compuesto soluble en ella; el aceite. (wikispaces.com)

Entre más grande sea la superficie de contacto entre la parte sólida y el líquido que le atraviesa aumenta la eficiencia de la extracción. (wikispaces.com)

Este método de extracción de aceite crudo de maíz, ya descrito, es el que se empleará para llevar a cabo el presente trabajo haciendo uso del equipo de extracción Soxhlet que es un aparato de extracción continua.

2.3 Diseño experimental para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas a qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto. (es.wikipedia.org)

El diseño experimental encuentra aplicaciones en la industria, la agricultura, la mercadotecnia, la medicina, la ecología, las ciencias de la conducta, etc. constituyendo una fase esencial en el desarrollo de un estudio experimental. (es.wikipedia.org)

Para optimizar procesos de fabricación, condiciones de reacción y métodos de análisis entre otros, es necesario conocer qué variables influyen significativamente en el sistema y cómo afectan. (J. Ferré)

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son óptimas para generar la información que se busca. Para el presente trabajo de investigación se aplicará una de estas estrategias: el diseño factorial completo 2^k . Éste describe los experimentos más adecuados para conocer simultáneamente qué efecto tienen k factores sobre una respuesta y descubrir si interaccionan entre ellos. (J. Ferré)

De esta manera, se tomará en cuenta tres diferentes variables, a dos niveles para cada una de ellas; para ver cuál es el efecto de éstas en la variable respuesta, es decir, la cantidad de aceite obtenido para el proceso de extracción de aceite crudo de maíz.

2.3.1 Factores y dominio experimental para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

En la siguiente tabla se observa tanto los factores, así como el dominio experimental de los mismos. Se muestra las variables que se tomará en cuenta en el presente trabajo y también los valores o niveles de éstas.

Tabla II-1

Factores y dominio experimental

Factores	Dominio experimental	
	Nivel (-)	Nivel (+)
x ₁ : tamaño de partícula (mm)	0,25	0,5
x ₂ : temperatura de extracción (°C)	55	65
x ₃ : tiempo de extracción (h)	3	4

Fuente: Elaboración propia

2.3.2 Matriz de experimentos: diseño factorial 2³ para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

El diseño factorial 2³ da como resultado: $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$, es decir, ocho pruebas; que son las que se llevará a cabo en laboratorio y que harán un total de 16 debido a las dos repeticiones para cada prueba; la matriz de experimentos para el presente trabajo se muestra en la Tabla II-2, además del plan de experimentación que se llevará a cabo.

Tabla II-2

Matriz de experimentos y plan de experimentación

Prueba	Factores			Plan de experimentación		
	x ₁	x ₂	x ₃	Tamaño (mm)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)
1	-	-	-	0,25	55	3
2	+	-	-	0,5	55	3
3	-	+	-	0,25	65	3
4	+	+	-	0,5	65	3
5	-	-	+	0,25	55	4
6	+	-	+	0,5	55	4
7	-	+	+	0,25	65	4
8	+	+	+	0,5	65	4

Fuente: Elaboración propia

2.4 Descripción de los equipos utilizados en el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

Los equipos que fueron necesarios utilizar para llevar a cabo el desarrollo de la parte experimental del proceso de obtención del aceite crudo de maíz fueron: termostato de inmersión, procesador de alimentos, balanza de humedad, estufa, balanza analítica, tamiz vibratorio y el equipo principal; el extractor Soxhlet.

2.4.1 Termostato de inmersión

El equipo consta de un calefactor, el cual calienta el medio de calefacción (agua) hasta la temperatura requerida, manteniéndola constante; tiene una graduación que va desde 5 a 100 °C, con una estabilidad de $\pm 0,2$ °C gracias a un termómetro de contacto eléctrico regulado mediante un circuito que regula la potencia de calefacción; además está equipado por una bomba para la agitación y circulación del líquido. (Manual del equipo)

El termostato es utilizado en una de las primeras etapas en la obtención del aceite crudo de maíz, es decir, para la etapa de maceración, con la finalidad de ablandar el maíz hasta un contenido de humedad del 45% durante un periodo de 30 horas para facilitar la etapa posterior, que es la degerminación.

Foto 2-2

Termostato de inmersión



Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Procesador de alimentos

Es un procesador doméstico provisto de unas aspas metálicas accionadas por un motor eléctrico de 500 W.

Utilizado para la trituración del maíz para facilitar la determinación de la humedad del mismo; antes, durante y después de la maceración. También fue utilizado para la reducción del tamaño de partícula del germen para; por una parte, determinar su contenido de humedad; y por otra, acondicionarlo para la extracción del aceite.

Foto 2-3

Procesador de alimentos



Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Balanza de humedad

Utilizada para la determinación de la humedad de la materia prima, así también se utilizó en las diferentes etapas del proceso de obtención del aceite crudo de maíz, en las que se requerían. De esta manera la balanza de humedad fue utilizada para la determinación de la humedad del maíz durante la etapa de maceración para determinar la evolución del contenido de agua del mismo hasta las 30 horas de la etapa; además se usó para la determinación de la humedad del germen después de ser secado.

Foto 2-4

Balanza de humedad



Fuente: Elaboración propia

2.4.4 Estufa

La estufa consta de un regulador de temperatura que va desde 40 a 250 °C, la distribución del calor en su interior es por convección natural. (Manual del equipo)

Se utilizó para el secado del germen una vez terminada la etapa de degerminación, trabajando a una temperatura de 50 °C, hasta dejarlo con un contenido residual de humedad aproximada del 4 %.

Foto 2-5

Estufa



Fuente: Elaboración propia

2.4.5 Balanza analítica

Esta cuenta con una calibración automática y una pantalla digital, con un rango de precisión de 0,01 g y una capacidad máxima de 510 g y una capacidad mínima de 1 g. (Manual del equipo)

Se utilizó para la obtención de datos de peso en las diferentes etapas del proceso de obtención del aceite crudo de maíz en las que era necesario. Por ejemplo, en la determinación del porcentaje de los componentes físicos del grano de maíz y también en la determinación de la cantidad del producto que se obtenía para cada prueba, determinado por diferencia de peso; y otros.

Foto 2-6

Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia

2.4.6 Tamiz vibratorio

Este equipo es de una buena estabilidad, sin necesidad de sujetar a la masa de trabajo, así como de fácil manejo tanto de sus controles eléctricos como en el intercambio de los tamices. Cuenta con un juego de mallas de 5, 4, 2, 1, 0.5, 0.25 y 0.063 mm norma española UNE, además de una bandeja de recepción de la muestra. (Manual del equipo)

El equipo se utilizó para realizar el análisis granulométrico del germen una vez que fue secado y molido, y de esta manera se pudo obtener el tamaño de partícula que era requerido para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz.

Foto 2-7

Tamiz vibratorio

Fuente: Elaboración propia

2.4.7 Extractor Soxhlet

Es un equipo moderno de material de vidrio utilizado para la extracción de grasas o sustancias solubles mediante disolvente. El equipo cuenta con un refrigerante provisto de una chaqueta de 10 cm de longitud, con espigas para la entrada y salida del agua de enfriamiento. El extractor tiene una capacidad total de 6 g de muestra, contando con dos cartuchos de celulosa de 26 mm de diámetro exterior por 60 mm, la capacidad de cada cartucho es de 3 g de muestra. Además, el equipo cuenta con dos vasos metálicos donde es depositado el aceite extraído. (Manual del equipo)

Entre las aplicaciones con las que cuenta el extractor estan las siguientes:

- Practicamente en todos los análisis que incluyen la extracción Soxhlet pueden sustituirse los extractores Soxhlet clásicos por este equipo moderno.
- Determinación del contenido de grasas en carnes, piensos, alimentos prefabricados, pescados, etc.
- También para la extracción de componentes solubles en pasta de papel, fibratextiles, etc.

Foto 2-8

Extractor Soxhlet



Fuente: Elaboración propia

Foto 2-9**Accesorios del extractor Soxhlet**

Fuente: Elaboración propia

2.5 Descripción de los materiales y reactivos utilizados en el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

Para el desarrollo del trabajo de obtención del aceite crudo de maíz fueron necesarios los siguientes materiales, detallados a continuación, en la Tabla II-3.

Tabla II-3**Materiales utilizados**

Material	Detalle	Cantidad
Termómetro	0-100 °C	1
Probeta	50 ml	1
Tubos de ensayo	3 ml	20
Espátula	-	1
Papel filtro	Pliegue	4
Frascos	Vidrio	8
Bandeja	-	4

Fuente: Elaboración propia

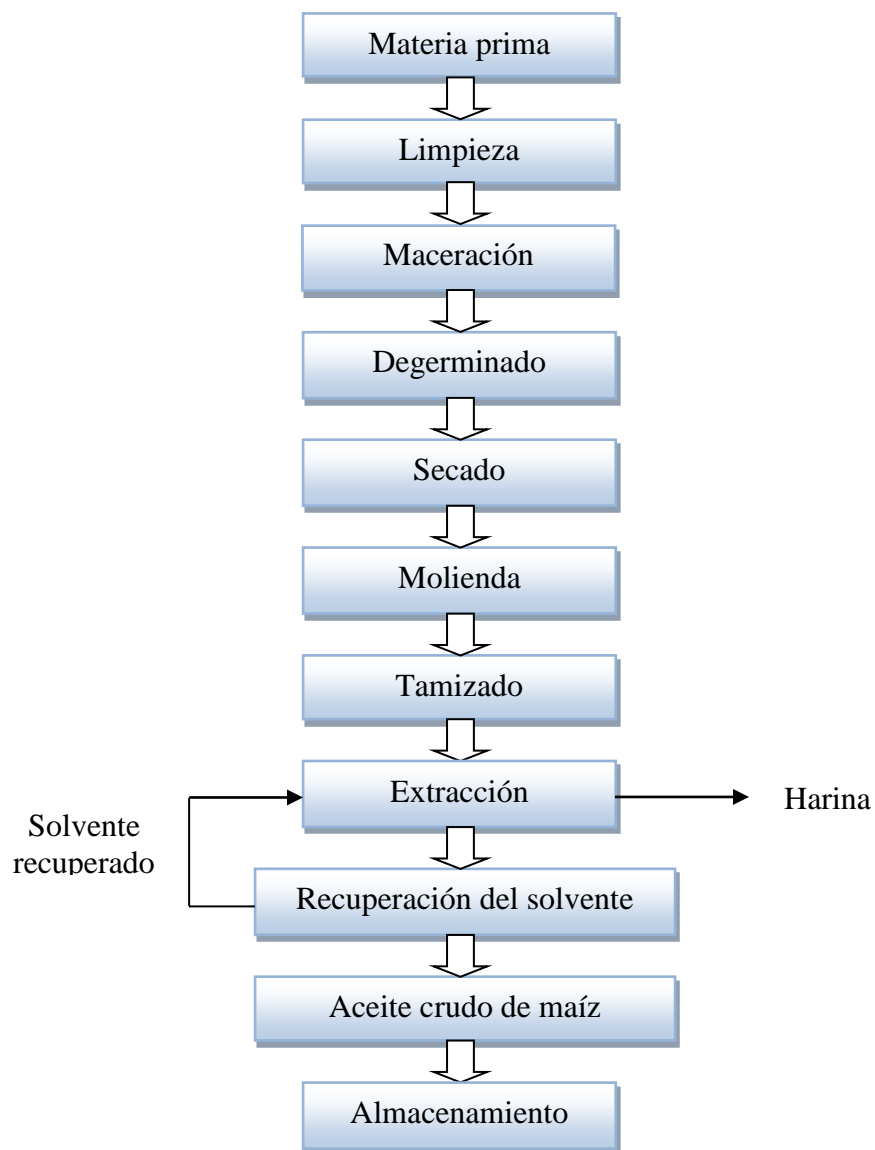
El único reactivo que fue necesario utilizar en el trabajo del proceso de obtención del aceite crudo de maíz fue el n-hexano, necesario para la extracción del aceite contenido en el interior de las partículas del germen del maíz. (hoja de seguridad del n-hexano ANEXO D)

2.6 Descripción del proceso de obtención del aceite crudo de maíz

El proceso experimental llevado a cabo en laboratorio para la obtención del aceite crudo de maíz consta de diferentes etapas que se presentan a continuación, en el Diagrama de bloques II-1.

Diagrama de bloques II-1

Etapas del proceso experimental para la obtención del aceite crudo de maíz



Fuente: Elaboración propia

2.6.1 Materia prima

La materia prima que fue empleada en el presente trabajo de investigación corresponde a la variedad IBTA-Algarrobal 102, la misma que se produce en las provincias Gran Chaco y O'Connor del Departamento de Tarija, es una de las

variedades que se produce en mayor cantidad respecto a las demás, tiene buen rendimiento en comparación con las variedades nativas.

2.6.2 Limpieza

Etapa destinada a la eliminación de materiales extraños que acompañan al maíz. En la misma, la materia prima fue sometida a una limpieza consistente en la separación de materiales tales como pequeñas cascarillas que se desprende de parte de la punta del maíz; también granos de maíz no aptos para ser procesados, unos por su falta de desarrollo, es decir, granos de maíz demasiado pequeños, y otros por tener la parte del germen dañado o directamente no lo tienen, por ser atacado por plagas. Además, se hizo la separación de pequeños restos de chala y de restos de cabellos de maíz, lo que es posible apreciar en la foto que sigue a continuación.

Foto 2-10

Desechos separados en la etapa de limpieza



Fuente: Elaboración propia

Todos estos desechos fueron fácilmente separados del maíz de manera manual. En la etapa de maceración también se detectaron algunos granos de maíz que no estaban en

condiciones de ser procesados por lo que se procedía con la separación de los mismos.

2.6.3 Maceración

La maceración implica la inmersión del maíz en agua, y es importante para el ablandamiento del maíz y así facilitar el proceso siguiente. Para esta etapa del proceso de obtención del aceite crudo de maíz se utilizó el termostato de inmersión utilizando agua, manteniéndola a una temperatura constante de 49 °C. Esta temperatura es la que se utiliza en el proceso de maceración del maíz a nivel industrial, aunque puede variar de más o menos 42 °C hasta 52 °C, ya que esta etapa es requerida para la molienda húmeda del maíz donde la finalidad es la separación de los constituyentes químicos del maíz, y se debe cuidar de no dañar la materia a mayores temperaturas.

Una vez limpio el maíz se procedió con la maceración, utilizando frascos de vidrio, poniendo una cantidad de 200 g de maíz, aproximadamente, por frasco; introduciéndolos posteriormente al termostato de inmersión. Este proceso de maceración tuvo una duración de 30 horas, en el cual el contenido de humedad en el maíz aumenta de un 9,26 % a un 45 %; posterior a las 30 horas de maceración el contenido de humedad prácticamente se mantiene constante. En la Foto 2-11 se observa el maíz dispuestos en los frascos para su maceración.

Foto 2-11

Maceración del maíz



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en esta etapa fue necesario el recambio de agua de los frascos que contenían el maíz, cada cierto tiempo en cuanto era posible; cada 3, 6 o cada 15 horas con la finalidad de mantener el agua siempre limpia, por tema de conservación del maíz.

2.6.4 Degerminado

El degerminado consiste en la separación del germen del resto de los componentes del maíz, este trabajo se facilita gracias al ablandamiento del maíz durante la etapa de maceración. En la siguiente foto se observa el germen separado del resto de los componentes del maíz.

Foto 2-12

Germen separado del resto del maíz



Fuente: Elaboración propia

Una vez transcurridas las 30 horas de maceración del maíz, se procedió a la separación del germen, trabajo realizado manualmente; separando el germen grano por grano, siendo necesario un tiempo considerable para esta etapa. Sin embargo, este proceso se aceleró posteriormente con la ayuda de un previo aplastamiento leve del maíz, permitiendo liberar el germen parcialmente facilitando su posterior extracción de forma manual.

2.6.5 Secado

Se define secado, como la eliminación total o parcial de un líquido desde un material sólido por aplicación de calor.

El contenido de líquido de una sustancia seca varía de un producto a otro. Ocasionalmente el producto no contiene líquido y recibe el nombre de “totalmente seco”, pero lo más frecuente es que el producto contenga algo de líquido. La sal de mesa, por ejemplo, contiene del orden de 0,5 % de agua, el carbón seco un 4 % y la caseína un 8 %. Secado es un término relativo y tan solo quiere decir que hay una reducción del contenido de líquido. (W. L. McCabe, J. C. Smith, P. Harriott)

En la Foto 2-13 se puede apreciar el germen en las bandejas, listo para ser sometido al proceso de secado.

Foto 2-13**Secado de germen en estufa**

Fuente: Elaboración propia

Una vez que el germen ha sido extraído del resto de los componentes del maíz, fue sometido al proceso de secado. El secado se llevó a cabo en estufa a una temperatura de 50 °C, con el propósito de no dañar la materia prima; puesto que, si el germen es secado a mayor temperatura, éste se oscurece considerablemente. Al finalizar la etapa de secado, el germen queda con un contenido residual de humedad aproximada del 4%, dato que se registró una vez que la muestra de germen de maíz tomada para ser pesada obtuvo un peso constante.

2.6.6 Molienda

Como parte de la preparación y acondicionamiento, el germen de maíz es sometido a tratamientos previos a la extracción que permitan que el mismo se encuentre en las mejores condiciones para obtener los mejores resultados. Por lo tanto, el tamaño de partícula es un factor importante que se determina a través de una molienda y posterior selección por tamizado, y de esta manera poder determinar el tamaño de la muestra para la extracción.

En la siguiente foto se observa el germen del maíz en pleno proceso de molienda.

Foto 2-14**Molienda de germen**

Fuente: Elaboración propia

Una vez concluido el proceso de secado del germen, se procedió a su molienda en un procesador de alimentos doméstico con el objeto de reducir al mínimo el tamaño de partícula. Esta etapa se la realizó por un tiempo de 60 a 90 segundos con intervalos de descanso cada 30 segundos, para evitar el calentamiento del molino.

2.6.7 Tamizado

Para determinar el tamaño de partícula del germen molido, éste fue sometido a un análisis por tamizado, empleando diferentes tamices con tamaños de malla desde 4, 2, 1, 0,5, 0,25 y 0.063 mm. En la Foto 2-15 se observa el germen del maíz siendo recogido una vez que ya fue sometido al proceso de tamizado.

Foto 2-15**Tamizado de germen**



Fuente: Elaboración propia

Se procedió a introducir la muestra en la zaranda ordenando los tamices de mayor a menor tamaño de malla y tamizando durante un tiempo de 15 minutos a 2 pulsos por segundo seguido de 15 minutos a 7 pulsos por segundo, para asegurar un buen tamizado.

2.6.8 Extracción

El proceso de extracción se llevó a cabo en el extractor Soxhlet, se tomó dos tamaños de partícula según el análisis granulométrico realizado, de esta manera se tomaron las muestras de los tamaños de 0,5 y 0,25 mm de germen del maíz. Además, se hizo la extracción tomando en cuenta dos datos diferentes de tiempo que fueron de 3 y 4 horas a diferentes temperaturas, de 55 °C y 65 °C.

En la tabla que sigue a continuación es posible apreciar la influencia que tiene el tiempo de extracción en la cantidad de aceite de maíz que se obtiene, manteniendo constantes el tamaño de partícula y la temperatura; es así que no porque la muestra sea sometida a un tiempo mayor de extracción, se vaya a obtener mayor cantidad de aceite, sino que hay un tiempo de extracción óptimo. Es por esta razón que las diferentes pruebas de extracción se realizaron para un tiempo de 3 y 4 horas y no a tiempos mayores.

Tabla II-4

Cantidad de aceite crudo de maíz obtenido a diferentes tiempos de extracción

Parámetro	Tiempo de extracción		
	3 horas	4 horas	5 horas
Muestra antes de la extracción (g)	3	3	3
Muestra después de la extracción (g)	1,852	1,538	1,548
Aceite obtenido (g)	1,148	1,462	1,452
Aceite obtenido (%)	38,267	48,733	48,400

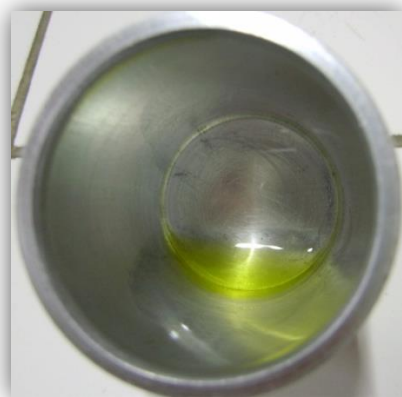
Fuente: Elaboración propia

Para no contaminar las muestras y asegurar los resultados, la manipulación se realizó con las manos cubiertas con guantes de látex desechables.

El equipo de extracción funciona con un tiempo previo de calentamiento, aproximado de 30 minutos hasta alcanzar la temperatura requerida, posteriormente se carga el germen, previamente acondicionado durante las etapas anteriores; en el cartucho de celulosa - que tiene una capacidad de 3 g - recubierto por dentro con papel filtro para asegurar su mayor de duración, también se introduce el solvente en el vaso de aluminio; entonces se inicia el proceso de extracción donde hay un tiempo en el que el germen está en contacto directo con el solvente y otro tiempo donde el germen está en contacto con los vapores del solvente, haciendo un tiempo total de 3 o 4 horas, según la prueba a realizar. El aceite extraído queda depositado en el vaso de aluminio donde originalmente se introduciría el solvente, como se puede apreciar en la siguiente foto.

Foto 2-16

Aceite crudo de maíz extraído



Fuente: Elaboración propia

Foto 2-17

Germen de maíz antes y después de la extracción del aceite



Fuente: Elaboración propia

Los datos para la prueba que dieron mejores resultados para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz se muestran en la siguiente tabla:

Tabla II-5

Condiciones que registran el mejor resultado para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

Tamaño partícula	Temperatura	Tiempo	Aceite obtenido
(mm)	(° C)	(h)	(%)
0,25	55	4	50,600

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, de todas las pruebas realizadas en laboratorio, la mayor cantidad de aceite crudo de maíz obtenida alcanza al 50,600 % para un tiempo de extracción de 4 horas a una temperatura de 55 °C utilizando un tamaño de partícula del germen de 0,25 mm; haciendo uso de una relación muestra/solvente de 3/50, (g/ml).

2.6.9 Recuperación del solvente

La destilación del hexano es necesaria una vez concluido el tiempo de extracción del aceite, este proceso es para recuperar el solvente quedando así en el recipiente el aceite obtenido. Este proceso es realizado en el mismo equipo de extracción Soxhlet, y es posible cerrando la llave de teflón de la columna. El solvente evaporado se condensa y no retorna al vaso de aluminio, sino que es retenido en la parte superior de la columna por encima del collar. Para esta fase no fue necesario más de 20 minutos que son los suficientes para recuperar teóricamente los 50 ml de solvente. Al concluir la operación de esta fase, el vaso de aluminio solamente contiene el aceite del germen de maíz extraído desde la muestra.

Posteriormente, le sigue la fase de evaporación del solvente, para el cual se rota la válvula a la posición de evaporación, se acciona el interruptor de circulación de aire que se encuentra en la unidad de calentamiento del mismo equipo. El objetivo de esta fase es el de eliminar los remanentes de solvente del aceite de maíz que se encuentra en el vaso de aluminio haciendo circular por él aire caliente para garantizar la ausencia absoluta de solvente en el aceite extraído.

Foto 2-18

Unidad de calentamiento del extractor Soxhlet



Fuente: Elaboración propia

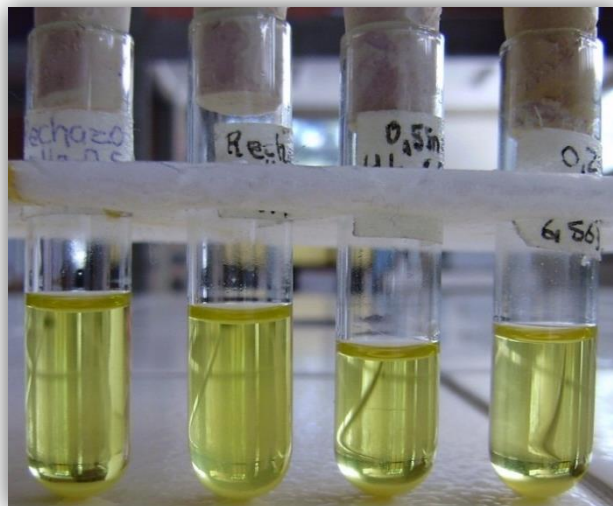
Al finalizar todo el proceso descrito anteriormente se saca cuidadosamente el vaso de aluminio que contiene el aceite, además se retira el cartucho de celulosa conteniendo la harina, y finalmente se obtiene el solvente en otro recipiente, abriendo la llave de teflón de la columna.

2.6.10 Almacenamiento

Una vez extraído el aceite, este fue sometido a su enfriamiento, proceso que se realizó al ambiente, por un tiempo aproximado de 3 horas. Entonces se procedió a su almacenamiento a vacío, para su mayor duración; en tubos de ensayo de 3 ml tapándolos herméticamente con tapones de goma, y succionando el aire del mismo con la ayuda de una jeringa, quedando de manera que se muestra en la foto a continuación.

Foto 2-19

Aceite crudo de maíz



Fuente: Elaboración propia

2.7 Balance de materia para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

El balance de materia se realizó para cada una de las etapas del proceso de obtención del aceite crudo de maíz, para poder determinar los porcentajes de variación de la cantidad de materia en cada etapa, y, finalmente, establecer la cantidad de aceite obtenido.

Se toma como partida de materia prima la cantidad de 10 kg de maíz, que es la cantidad promedio que fue necesario utilizar para llevar a cabo todas las pruebas además de las extracciones extras necesarias para obtener una cantidad de aceite que permita realizar los ensayos requeridos para determinar la calidad del mismo. Por otra parte, cabe mencionar que los datos utilizados para los balances de materia en cada etapa son fruto del trabajo de investigación realizado durante la parte experimental.

2.7.1 Limpieza

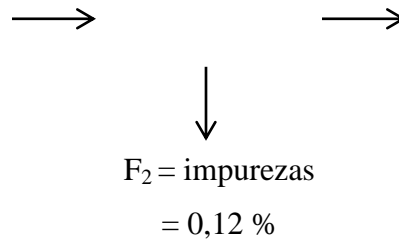
$$F_1 = 10 \text{ kg} \\ = 10.000 \text{ g}$$

$$\text{Humedad} = 9,26 \%$$

Limpieza

$$F_3 = \text{maíz limpio}$$

$$\text{Humedad} = 9,26 \%$$



Balance global:

$$F_1 = F_2 + F_3$$

Determinación de impurezas:

$$F_2 = 10.000 \text{ g} * (0,12/100)$$

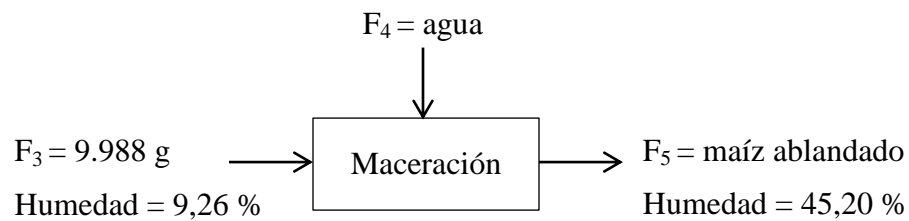
$$F_2 = 12 \text{ g}$$

Maíz limpio:

$$F_3 = F_1 - F_2 = 10.000 \text{ g} - 12 \text{ g}$$

$$F_3 = 9.988 \text{ g}$$

2.7.2 Maceración



Balance global:

$$F_3 + F_4 = F_5$$

Determinación de la cantidad de agua incorporada en el maíz:

$$F_5 = F_3 + F_4$$

$$F_5 * 0,452 = F_3 * 0,0926 + F_4$$

$$(F_3 + F_4) * 0,452 = F_3 * 0,0926 + F_4$$

$$F_3 * 0,452 - F_3 * 0,0926 = F_4 - F_4 * 0,452$$

$$F_4 = F_3 * (0,359 / 0,548)$$

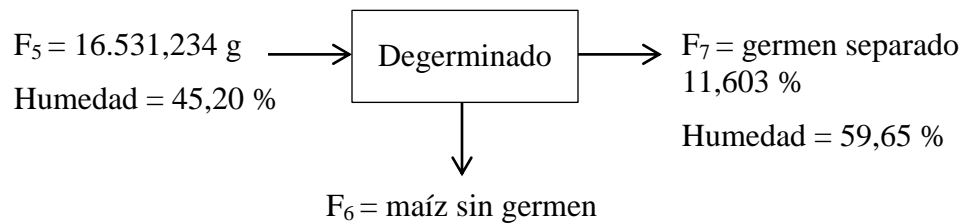
$$F_4 = 6.543,234 \text{ g}$$

Maíz ablandado; con 45,20 % de humedad:

$$F_5 = F_3 + F_4 = 9.988 \text{ g} + 6.543,234 \text{ g}$$

$$F_5 = 16.531,234 \text{ g}$$

2.7.3 Degerminado



Balance global:

$$F_5 = F_6 + F_7$$

Determinación de la cantidad de maíz sin germen:

$$F_6 = 16.531,234 \text{ g} * (88.397 / 100)$$

$$F_6 = 14.613,060 \text{ g}$$

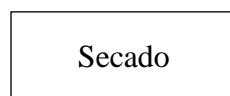
Germen separado:

$$F_7 = F_5 - F_6 = (16.531,234 - 14.613,060) \text{ g}$$

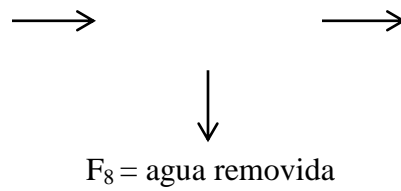
$$F_7 = 1.918,174 \text{ g}$$

2.7.4 Secado

$F_7 = 1.918,174 \text{ g}$
Humedad = 59,65 %



$F_9 = \text{germen seco}$
Humedad = 3,963 %



Balance global:

$$F_7 = F_8 + F_9$$

Determinación de la cantidad de germen seco:

$$F_7 * 0,5965 = F_8 + F_9 * 0,03963$$

$$F_8 = F_7 - F_9$$

$$F_7 * 0,5965 = (F_7 - F_9) + F_9 * 0,03963$$

$$F_9 - F_9 * 0,03963 = F_7 - F_7 * 0,5965$$

$$F_9 = F_7 * (0,4035/0,96037)$$

$$F_9 = 805,992 \text{ g}$$

Agua removida:

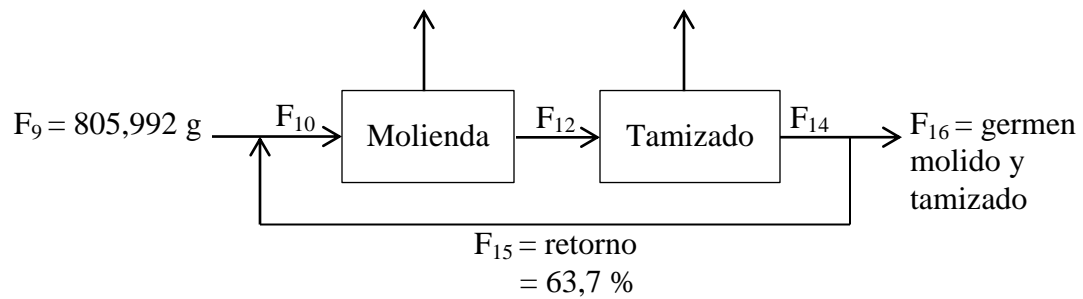
$$F_8 = F_7 - F_9 = (1.918,174 - 805,992) \text{ g}$$

$$F_8 = 1.112,252 \text{ g}$$

2.7.5 Molienda y tamizado

$$F_{11} = \text{pérdidas} \\ = 0,22 \%$$

$$F_{13} = \text{pérdidas} \\ = 0,55 \%$$



La molienda se llevó a cabo en el procesador de alimentos que tiene una capacidad aproximada de 200 g, y el tamizador tiene una capacidad aproximada de 400 g, por lo tanto; para someter los 805,992 g de germen de maíz a molienda fue necesario utilizar el equipo en varias oportunidades y de igual manera el tamizador; se considera, además, un 63,7 % de materia que retorna del tamizado a la molienda. En el siguiente cuadro se resume los datos de las corrientes de entrada y salida para la molienda y tamizado, todos expresados en gramos.

Donde:

$$F_{11} = F_{10} * 0,0022$$

$$F_{12} = F_{10} - F_{11}$$

$$F_{13} = F_{12} * 0,0055$$

$$F_{14} = F_{12} - F_{13}$$

$$F_{15} = F_{14} * 0,637$$

$$F_{16} = F_{14} - F_{15}$$

Tabla II-6

Corrientes de entrada y salida para la molienda y tamizado por corrida y total

F₁₀	F₁₁	F₁₂	F₁₃	F₁₄	F₁₅	F₁₆
200	0,44	-	-	-	-	-
200	0,44	399,12	2,195	396,925	252,841	144,084
200	0,44	-	-	-	-	-
205,992	0,44	405,099	2,228	402,871	256,629	146,242
252,841	0,556	252,285	-	-	-	-
256,629	0,565	256,064	2,796	505.553	322,037	183,516
150	0,33	-	-	-	-	-
172,037	0,378	321,329	1,767	319,562	203,561	116,001
203,561	0,448	203.113	1,117	201,996	128,671	73,325
128,671	0,283	128,388	0,706	127,682	81,333	46,349
81,333	0,179	81,154	0,446	80,708	51,411	29,297
51,411	0,113	51,298	0,282	51,016	32,497	18,519
2102,472	4,625	2097,85	11,537	2086,313	1328,98	757,333

Fuente: Elaboración propia

Entonces los valores de las corrientes tanto de entrada como las de salida de las etapas de molienda y tamizado quedan de la siguiente manera:

$$F_9 = 805,992 \text{ g}$$

$$F_{10} = 2102,472 \text{ g}$$

$$F_{11} = 4,625 \text{ g}$$

$$F_{12} = 2097,85 \text{ g}$$

$$F_{13} = 11,537 \text{ g}$$

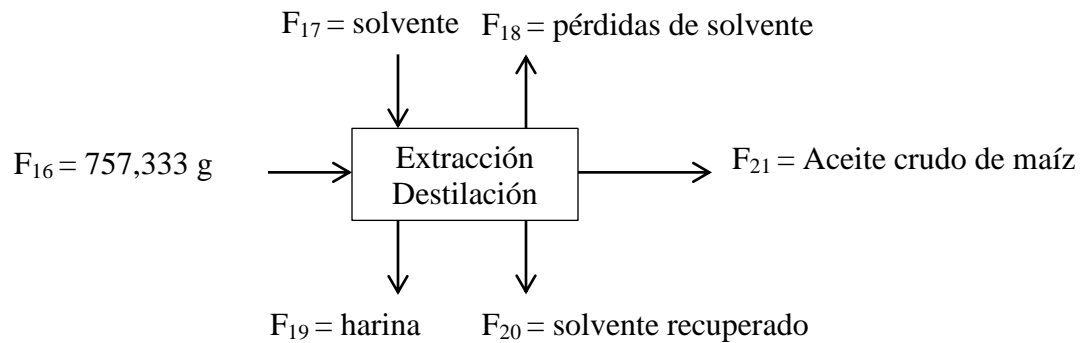
$$F_{14} = 2086,313 \text{ g}$$

$$F_{15} = 1328,98 \text{ g}$$

$$F_{16} = 757,333 \text{ g}$$

Cabe mencionar que quedan unos 32,497 g de germen que ya no son procesados por ser poca cantidad, lo que significa que este germen ya no es sometido nuevamente a molienda, y, por lo tanto, tampoco es tamizado.

2.7.6 Extracción y recuperación del solvente



Balance global:

$$F_{16} + F_{17} = F_{18} + F_{19} + F_{20} + F_{21}$$

La relación muestra-solvente es de 3 – 50 (g – ml)

Determinación de la cantidad de solvente:

$$F_{17} = F_{16} * (50/3) = 757,333 \text{ g} * (50 \text{ ml}/3\text{g})$$

$$F_{17} = 12.622,217 \text{ ml} = 12,622 \text{ l}$$

$$\rho_{\text{hexano}} = 0,6603 \text{ kg/l}$$

$$F_{17} = 0,6603 \text{ kg/l} * 12,622 \text{ l} = 3,195 \text{ kg}$$

$$F_{17} = 8.334,451 \text{ g}$$

Determinación de las pérdidas de solvente:

Al final del proceso de obtención del aceite crudo de maíz se recupera un 82,125 % de solvente; por lo tanto, las pérdidas del mismo corresponden a un 17,875 %:

$$F_{18} = 8.334,451 \text{ g} * (17,875/100)$$

$$F_{17} = 1.489,783 \text{ g}$$

Determinación de la cantidad de harina:

Según las pruebas realizadas en la parte experimental, el mejor resultado promedio para la obtención de aceite crudo de maíz alcanza a 50,095 % en contenido del mismo, entonces el restante 49,905 % corresponde al residuo, es decir, a la harina.

Por lo tanto:

$$F_{19} = 757,333 \text{ g} * (49,905/100)$$

$$F_{19} = 377,947 \text{ g}$$

Determinación de la cantidad de solvente recuperado:

$$F_{20} = 8.334,451 \text{ g} * (82,125/100)$$

$$F_{20} = 6.844,668 \text{ g}$$

Determinación de la cantidad de aceite crudo de maíz obtenido:

$$F_{16} + F_{17} = F_{18} + F_{19} + F_{20} + F_{21}$$

$$F_{21} = F_{16} + F_{17} - F_{18} - F_{19} - F_{20}$$

$$F_{21} = (757,333 + 8.334,451 - 1.489,783 - 377,947 - 6.844,668) \text{ g}$$

$$F_{21} = 379,386 \text{ g}$$

2.8 Balance de energía para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

El balance de energía se realizó solo en aquellas etapas donde era necesario, con el fin de conocer los requerimientos energéticos y de esta manera poder determinar el costo de la energía eléctrica utilizada por los equipos para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz.

2.8.1 Consumo energético etapa de maceración

En esta etapa fue necesario utilizar el termostato de inmersión que tiene una potencia de 960 W. El tiempo de uso de este equipo es de 30 horas, pero tomando en cuenta que en el termostato sólo entran un total de 8 frascos en los que se introducía el maíz en una cantidad de no más de 200 g por frasco, entonces se puede decir que el termostato fue necesario utilizar en un total de siete veces cubriendo así los 10000 g de maíz que se utilizaron. De esta manera, el tiempo de uso del termostato de inmersión es:

$$\text{Tiempo}_{\text{uso termostato}} = 30 \text{ h} * 7 = 210 \text{ h}$$

Entonces se puede calcular la energía utilizada:

$$\text{Energía}_{\text{termostato}} = \text{potencia} * \text{tiempo} = 960 \text{ W} * (1 \text{ KW}/1000 \text{ W}) * 210 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{termostato}} = 201,600 \text{ KWh}$$

2.8.2 Consumo energético etapa de secado de germen

La estufa utilizada para el secado del germen tiene una potencia de 2.000 W. Para el secado de una muestra de 5,008 g se necesita un tiempo de 200 min, entonces para secar 1.918,174 g (ver sección 2.7.3) de germen de maíz se necesita un tiempo de:

$$\text{Tiempo}_{\text{uso estufa}} = (1.918,174 \text{ g} * 200 \text{ min})/5,008 \text{ g} = 76.604,393 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo}_{\text{uso estufa}} = 76.604,393 \text{ min} * (1 \text{ h}/60 \text{ min}) * (1 \text{ día}/24 \text{ h}) = 53,2 \text{ días}$$

Tiempo_{uso estufa} = 53,2 días para secar 1.918,174 g de germen de maíz a una temperatura de 50 °C

$$\text{Energía}_{\text{estufa}} = \text{potencia} * \text{tiempo} = (2000/1000) \text{ KW} * 1.276,740 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{estufa}} = 2.553,480 \text{ KWh}$$

2.8.3 Consumo energético etapa de molienda

El procesador de alimentos utilizado para la molienda del germen tiene una potencia de 500 W, el mismo se utilizó tomando en cuenta una capacidad aproximada de 200 g por molienda, tomando un tiempo promedio de 150 segundos; entonces para moler los 2.102,472 g (ver sección 2.7.5) de germen de maíz, el procesador fue utilizado en total de 12 oportunidades haciendo un tiempo total de:

$$\text{Tiempo}_{\text{uso procesador}} = (12 * 150 \text{ seg}) = 1800 \text{ seg} * (1 \text{ h}/3600 \text{ seg})$$

$$\text{Tiempo}_{\text{uso procesador}} = 0,5 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{procesador}} = \text{potencia} * \text{tiempo} = (500/1000) \text{ KW} * 0,5 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{procesador}} = 0,250 \text{ KWh}$$

2.8.4 Consumo energético etapa de tamizado

El equipo tamizador tiene una potencia de 100 W. Para los 2.097,850 g (ver sección 2.7.5) de germen de maíz ya sometido a molienda se puede calcular el tiempo de uso del tamizador tomando en cuenta que por tamizada se toma un tiempo total de 30 minutos y que el equipo fue utilizado en 8 oportunidades teniendo una capacidad aproximada de 400 g:

$$\text{Tiempo}_{\text{uso tamizador}} = (30 \text{ min} * 8) = 240 \text{ min} * (1 \text{ h}/60 \text{ min})$$

$$\text{Tiempo}_{\text{uso tamizador}} = 4 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{tamizador}} = \text{potencia} * \text{tiempo} = (100/1000) \text{ KW} * 4 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{tamizador}} = 0,400 \text{ KWh}$$

2.8.5 Consumo energético etapa de extracción y recuperación del solvente

Tanto la extracción del aceite como la recuperación del solvente son realizadas en el mismo equipo extractor que tiene una potencia de 2.000 W.

Según el diseño experimental planteado, la cantidad total de pruebas realizadas es de 16, sin embargo, para obtener el tiempo total de uso del equipo extractor, se debe tomar en cuenta la prueba adicional que fue necesario realizar, entonces se tiene un total de 17 pruebas con un tiempo de extracción de 3 horas para 8 pruebas y 4 horas para otras 8 y 5 horas para la prueba restante. Además, hay que tomar en cuenta el tiempo de calentamiento previo que tiene el extractor que es de 30 minutos, y la fase de recuperación del solvente que tiene un total de 40 minutos. Sumando estos dos últimos tiempos hacen un total de 1,167 horas adicionales por prueba realizada. Entonces:

$$\text{Tiempo}_{\text{uso extractor}} = 8 \text{ pruebas} * (3 \text{ h} + 1,167 \text{ h}) + 8 \text{ pruebas} * (4 \text{ h} + 1,167 \text{ h}) + (5 \text{ h} + 1,167 \text{ h})$$

$$\text{Tiempo}_{\text{uso extractor}} = 80,839 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{extractor}} = \text{potencia} * \text{tiempo} = (2000/1000) \text{ KW} * 80,839 \text{ h}$$

$$\text{Energía}_{\text{extractor}} = 161,678 \text{ KWh}$$

2.8.6 Estimación de costos del consumo energético para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

Para poder obtener el costo del consumo energético de los equipos utilizados para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz se necesita el valor del consumo energético total, resumen que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla II-7

Consumo energético

Equipo	Consumo energético
	KWh
Termostato	201,600
Estufa	2.553,480
Procesador de alimentos	0,250
Tamizador	0,400
Extractor	161,678
Total	2.917,408

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, según información obtenida de Servicios Eléctricos de Tarija SETAR, la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho se encuentra dentro de la categoría

general mayor G-2. En la siguiente tabla se encuentran los detalles de dicha categoría (ver Anexo B):

Tabla II-8
Servicios Eléctricos de Tarija-Tarifas vigentes

Categoría general mayor G-2		
Aplicación: a usuarios de tipo general, con un consumo de energía mayor a 350 KWh		
Cargo mínimo	Bs.	33,372
De 0 a 40 KWh	Bs./KWh	2,238
De 41 a adelante	Bs./KWh	2,189

Fuente: Servicios Eléctricos de Tarija SETAR 2015

Con los datos de las dos tablas anteriores se puede determinar los costos del consumo energético para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz, estos costos se detallan a continuación.

Tabla II-9
Costos del consumo energético

Rango	Consumo energético	Costo
	KWh	Bs.
Cargo mínimo	-	33,372
De 0 a 40 KWh	40	89,520
De 41 a adelante	2.877,408	6.298,646
Total	2.917,408	6.421,538

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, el costo total por el consumo energético de los equipos que se utilizaron durante el proceso de obtención del aceite crudo de maíz es de 6.421,538 bolivianos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de la materia prima utilizada para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

El trabajo de análisis de la materia prima fue realizado en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias; donde se realizó tanto la composición, así como el contenido de humedad del maíz.

3.1.1 Composición del grano de maíz

Como ya se mencionó anteriormente, los principales componentes del grano de maíz son el endospermo, germen, pericarpio y punta. El endospermo es el componente que representa mayor porcentaje; y, por el contrario, la punta es el componente que representa menor porcentaje.

Para la determinación de los componentes del grano de maíz se procedió con el proceso de maceración del mismo, es decir, la inmersión del maíz en agua a una temperatura de 49 °C durante un tiempo de 30 horas hasta alcanzar una humedad del 45 %; con el propósito de ablandarlo, se trabajó con estos parámetros de tiempo y temperatura por ser los mismos con los que se trabajó para la etapa de maceración del maíz. Posteriormente se procedió a tomar una muestra representativa de maíz para la separación de cada uno de los componentes, para cada grano de la misma, trabajo realizado de manera manual, teniendo mucho cuidado de no perder materia y verificando que cada componente sea separado en su totalidad para cada grano de maíz.

Una vez separados ya el endospermo, el germen, el pericarpio y la punta se los llevó a estufa para su respectivo secado a una temperatura de 50 °C, para evitar dañar la materia y posteriormente poder utilizar el germen en las pruebas de extracción de aceite. Procediendo entonces a tomar una muestra para ser pesada cada 2 y 4 horas hasta obtener un peso constante en dos pesadas sucesivas, lo que significa que la muestra ya está seca. Finalmente, se sacó los porcentajes de cada uno de los componentes del grano de maíz secos; los resultados se muestran en la Tabla III-1.

Tabla III-1

Composición física del grano de maíz variedad IBTA-Algarrobal 102

Componente	Peso seco
	(%)
Endospermo	79.67
Germen	10.01
Pericarpio	6.61
Punta	3.72

Fuente: Elaboración propia

En la Foto 3-1 es posible apreciar físicamente la imagen por separado de los componentes principales del grano de maíz, de la variedad empleada para el presente trabajo de investigación. Así, se observa que el endospermo es el componente presente en mayor porcentaje.

Foto 3-1

Principales componentes del grano de maíz variedad IBTA-Algarrobal 102



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Contenido de humedad de la materia prima

La cantidad de agua incorporada en el maíz se determinó por método gravimétrico en el analizador de humedad Sartorius a 105 °C de temperatura. Los datos para la curva de secado se muestran a continuación, además de la gráfica.

Tabla III-2

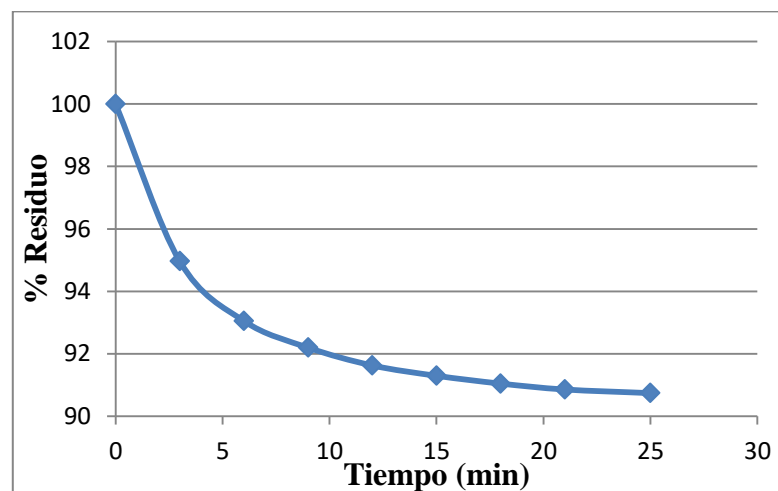
Datos para la elaboración de la curva de secado en la determinación de la humedad del maíz

Tiempo	Residuo	Tiempo	Residuo
(min)	(%)	(min)	(%)
0	100	15	91,295
3	94,963	18	91,045
6	93,049	21	90,856
9	92,197	25	90,740
12	91,626		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3-1

Curva de secado – determinación de humedad del maíz



Fuente: Elaboración propia

El contenido de humedad del maíz, así como la pérdida de peso y el residuo se muestran en la Tabla III-3, para una muestra de 5,001 g.

Tabla III-3

Resultados finales obtenidos en el analizador de humedad en la determinación de la humedad del maíz

Humedad	Pérdida peso	Residuo
%	mg	g
9,260	- 463,093	4,538

Fuente: Elaboración propia

Una vez terminado el análisis de la determinación de la humedad de la materia prima utilizada para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz se llega a la conclusión que ésta tiene un contenido de humedad del 9,26 %.

3.2 Presentación de resultados para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

La presentación de resultados para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz se detalla en los siguientes puntos, para las etapas que así lo requieren.

3.2.1 Presentación de resultados para la etapa de limpieza

Todos los materiales extraños que acompañaban al maíz además de aquellos granos extraídos, por sus condiciones no aptas para ser procesados, representan un porcentaje en peso seco del 0,12 % del total del maíz. Como se puede observar en la siguiente tabla; donde los datos mostrados son para 10 kg de maíz que es la cantidad utilizada para el balance de materia.

Tabla III-4

Datos obtenidos en la etapa de limpieza

Peso inicial de maíz (g)	10.000
Peso final de maíz (g)	9.988
Desechos (g) = peso inicial - peso final	12
Porcentaje de desechos	0,12

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, en la etapa de limpieza para 10.000 g de maíz se separa 12 g de desechos lo que significa un 0,12 %.

3.2.2 Presentación de resultados para la etapa de maceración

En la siguiente tabla se muestran los datos del contenido de humedad que va adquiriendo el maíz a través del transcurso del tiempo durante la etapa de maceración.

Tabla III-5

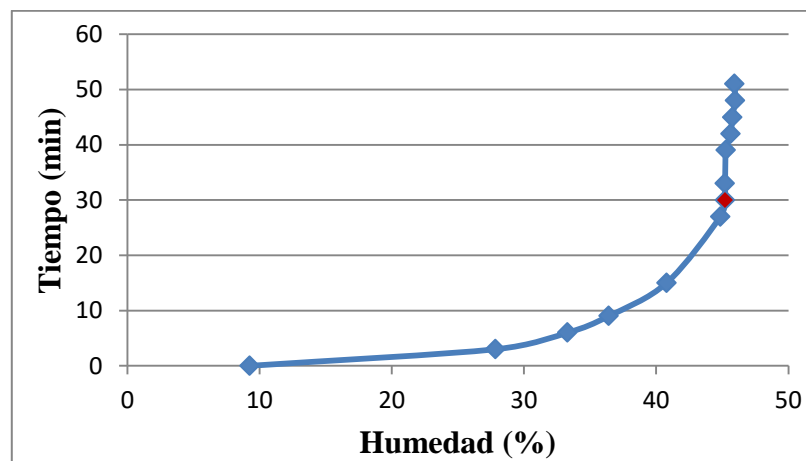
Datos para la elaboración de la curva de humedad vs tiempo para la etapa de maceración

Tiempo	Humedad	Tiempo	Humedad	Tiempo	Humedad
(h)	(%)	(h)	(%)	(h)	(%)
0	9.26	18	41,47	39	45,28
3	27.86	21	41,82	42	45,64
6	33.30	24	42,70	45	45,75
9	36.41	27	44,86	48	45,97
12	37,22	30	45,20	51	45,93
15	40,79	33	45,21		

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3-2

Humedad adquirida por el maíz con el transcurso del tiempo durante la etapa de maceración



Fuente: Elaboración propia

Como es evidente apreciar en la Gráfica 3-2, el maíz parte con un contenido de humedad original del 9,26 % y durante las primeras 3 horas de maceración adquiere una cantidad de humedad importante llegando al 27,86 %, posteriormente el contenido de humedad tiene un aumento paulatino hasta llegar al 45,20 % a las 30 horas en la etapa de maceración; así, el maíz ya está lo suficientemente blando como para extraer el germen.

3.2.3 Presentación de resultados para la etapa de secado del germen de maíz

En la Tabla III-6 se muestran los datos de tiempo y residuo obtenidos para una muestra de germen de 5.008 g sometida al secado a una temperatura de 50 °C una vez separada del resto de los componentes del maíz, es decir, después de la etapa de degerminación; con la finalidad de determinar el tiempo de secado. Resultando éste un tiempo final de 200 minutos lo que es igual a 3,3 horas de secado hasta obtener un peso final constante de la muestra.

Tabla III-6

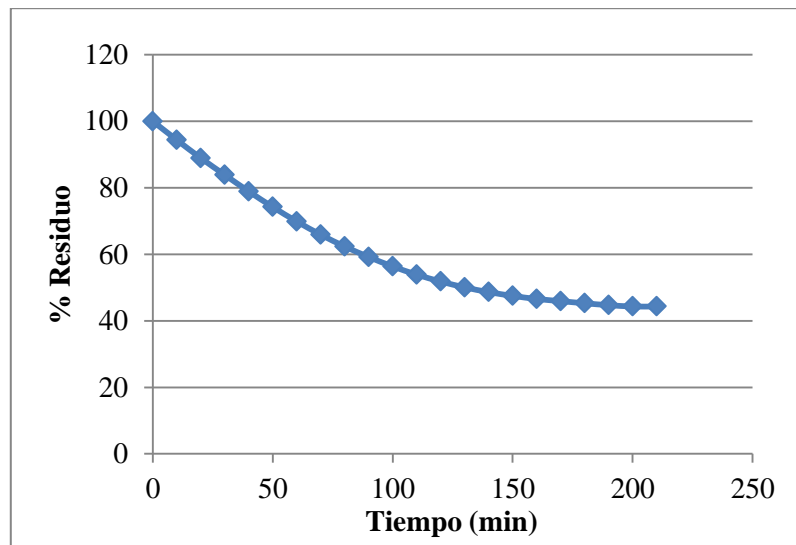
Datos para la elaboración de la curva de secado del germen de maíz

Tiempo	Residuo	Tiempo	Residuo	Tiempo	Residuo
(h)	(%)	(h)	(%)	(h)	(%)
0	100	80	62,352	150	47,498
10	94,38	90	59,196	160	46,576
20	88,939	100	56,358	170	45,925
30	83,879	110	53,9	180	45,274
40	78,916	120	51,82	190	44,715
50	74,229	130	50,06	200	44,313
60	69,88	140	48,639	210	44,313
70	65,906				

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3-3

Curva de secado – etapa de secado del germen



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el contenido de humedad en base húmeda, es la que expresa la humedad de un material como porcentaje del peso del sólido mojado. (Martínez, E. y Lira, L. 2010). Se define como:

$$\% h = [W_{\text{material a secar}} - W_{\text{material seco}}] / W_{\text{material a secar}} * 100$$

Donde:

$$W_{\text{material a secar}} = 5,008 \text{ g}$$

$$W_{\text{material seco}} = (5,008 \text{ g} * 44,313 \%) / 100 \% = 2,213 \text{ g}$$

Entonces:

$$\% h = (5,008 - 2,213) \text{ g} / 5,008 \text{ g} * 100 \% = 55,81 \%$$

En conclusión, la cantidad de agua evaporada de la muestra de germen de maíz en la etapa de secado fue del 55,81 %.

Una vez cumplido del tiempo de secado del germen en estufa, se extrajo una muestra del mismo para ser triturado y sometido a la determinación de humedad remanente en

el analizador de humedad a una temperatura de 105 °C, los datos para la muestra de 4,006 g se muestran en la Tabla III-7, además, se observa la curva de secado en la Gráfica 3-4.

Tabla III-7

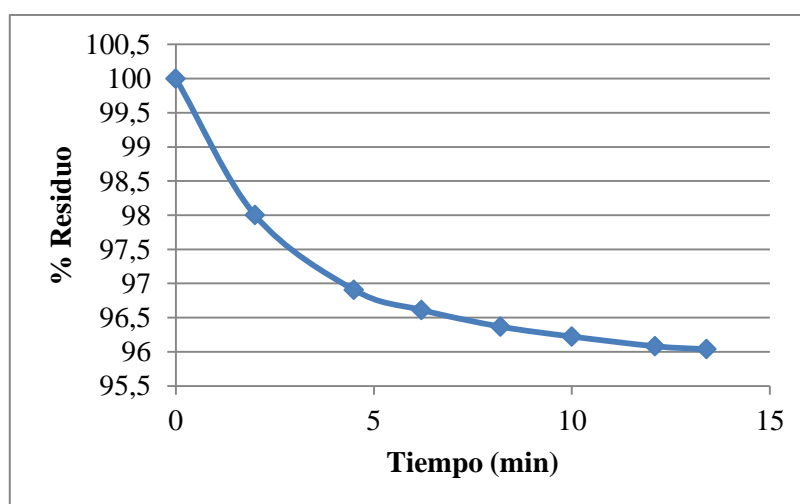
Datos para la elaboración de la curva de secado de una muestra de germen después de secado en estufa

Tiempo	Residuo	Tiempo	Residuo
(min)	(%)	(min)	(%)
0	100	8,2	96,368
2	98	10	96,223
4,5	96,907	12,1	96,081
6,2	96,612	13,4	96,037

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3-4

Curva de secado de una muestra de germen después de secado en estufa



Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-8 se detallan los resultados finales obtenidos en el analizador de humedad, dando como resultado de 3,963 % de humedad, que es la humedad final con la que queda el germen después de la etapa de secado.

Tabla III-8

Resultados finales obtenidos en el analizador de humedad de germen seco

Humedad	Pérdida peso	Residuo
%	mg	g
3,963	-159	3,847

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Presentación de resultados para la etapa de molienda del germen de maíz

A continuación, en la Tabla III-9 se muestran los datos correspondientes a la etapa de molienda, dando como resultado que en esta etapa existe un 0.22 % de pérdidas. Los datos mostrados corresponden a un promedio de un total de 5 muestras de germen sometidas a la molienda.

Tabla III-9

Datos correspondientes a la etapa de molienda del germen

Peso inicial (g)	207,014
Peso final (g)	206,558
Pérdidas (g)	0,455
Pérdidas (%)	0,22

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Presentación de resultados para la etapa de tamizado

Después del procedimiento descrito en la sección 2.6.7 para el tamizado del germen se procede con el análisis granulométrico para posteriormente poder realizar la gráfica con el número de malla y el porcentaje de rechazo y así es posible observar el comportamiento del tamaño de partícula.

En la Tabla III-10 se muestra los resultados obtenidos para esta etapa; partiendo de 99,604 g de muestra.

Tabla III-10

Datos del análisis granulométrico del germen molido

Abertura de malla	Peso malla	Peso malla con muestra	Rechazo
(mm)	(g)	(g)	(g)
4	456,475	456,497	0,022
2	435,580	437,461	1,881
1	435,193	444,875	9,682
0,5	444,942	496,334	51,392
0,25	417,935	453,938	36,003
0,063	389,507	389,592	0,085
Base	464,838	464,849	0,011
Total	-	-	99,054

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla III-11 se encuentran los datos para la elaboración de la curva N° malla vs % rechazo obtenidos de los datos de la tabla del análisis granulométrico del germen molido, y en la Gráfica 3-5 están representados estos valores.

Tabla III-11

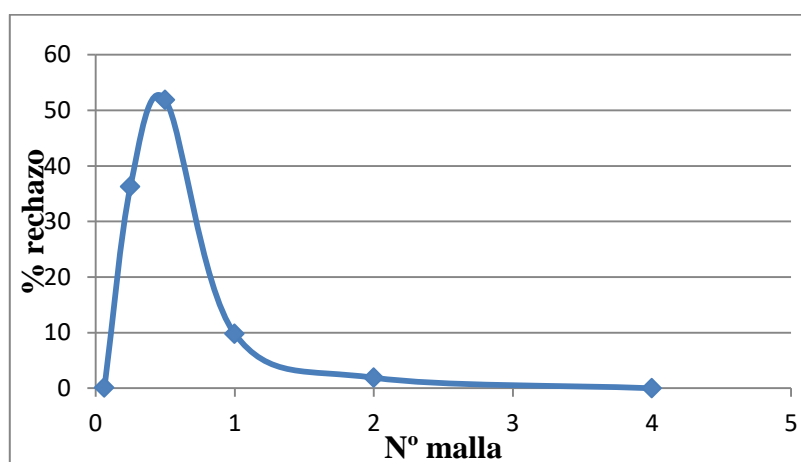
Datos del análisis granulométrico de germen molido para la curva N° malla vs % rechazo

N° de malla (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0,063	Base
Rechazo (%)	0,0	1,9	9,8	51,9	36,3	0,1	0,0

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 3-5

Curva N° malla vs porcentaje de rechazo



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el porcentaje de acumulación mayor lo registran los rechazos de las mallas de 0,5 y 0,25 mm, con el 51,9 y el 36,3 % respectivamente.

El porcentaje de pérdidas en esta etapa es:

$$\% \text{ pérdidas} = 99,604 \text{ g} * [(99,604 - 99,054) \text{ g} / 100]$$

$$\% \text{ pérdidas} = 0,55 \%$$

3.2.6 Presentación de resultados para la etapa de extracción

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante la parte experimental del proceso de obtención de aceite crudo de maíz para la etapa de extracción para la matriz y plan de experimentos presentado en la sección 2.3.2. La cantidad de muestra por prueba es de 3 g que corresponde a la capacidad que tiene el extractor.

Tabla III-12

Resultados para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz de acuerdo al diseño experimental planteado

Factores			Respuesta 1		Respuesta 2		Promedio
Tamaño (mm)	Temp. (° C)	Tiempo (h)	Aceite (g)	Aceite (%)	Aceite (g)	Aceite (%)	Aceite (%)
0,25	55	3	1,274	42,47	1,350	44,99	43,730
0,5	55	3	1,148	38,27	1,056	35,20	36,735
0,25	65	3	1,342	44,73	1,354	45,12	44,924
0,5	65	3	0,682	22,73	0,805	26,83	24,780
0,25	55	4	1,518	50,60	1,487	49,59	50,095
0,5	55	4	1,462	48,73	1,322	44,07	46,400
0,25	65	4	1,375	45,83	1,249	41,62	43,725
0,5	65	4	1,226	40,87	1,169	38,95	39,910

Fuente: Elaboración propia

Es así que, las condiciones que dan los mejores resultados de acuerdo al diseño experimental planteado en el presente trabajo de investigación para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz son de; 0,25 mm para el tamaño de partícula a una temperatura de 55 °C y un tiempo de 4 h de extracción; obteniendo en estas condiciones una cantidad de aceite de maíz que se registra en un 50,095 %.

3.2.7 Presentación de resultados para la etapa de recuperación del solvente

El hexano recuperado al final de la etapa de extracción del aceite crudo de maíz alcanza en promedio el 82,125 %, como es posible apreciar en la tabla que sigue a continuación, donde los datos que se muestran representan un promedio del total de las 16 pruebas llevadas a cabo de acuerdo al diseño experimental. La cantidad de hexano al iniciar el proceso de extracción es la misma para todas las pruebas realizadas y es de 50 ml de acuerdo al diseño y capacidad del equipo extractor.

Tabla III-13

Datos correspondientes a la etapa de recuperación del solvente

Hexano inicio del proceso (ml)	50
Hexano final del proceso (ml)	41,063
Hexano recuperado (%)	82,125
Hexano perdido (ml)	8,938
Hexano perdido (%)	17,875

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el porcentaje de pérdida del solvente al finalizar la etapa de extracción es del 17,875 %.

Una parte del 17,875 % de pérdidas del hexano corresponde a pérdidas por volatilización en la etapa de extracción y la otra parte corresponde a pérdidas debido a que parte de éste se queda en el residuo que se genera en la etapa de extracción del aceite crudo de maíz; es decir, en la harina.

3.3 Análisis estadístico del diseño experimental para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz

Para realizar el análisis estadístico del diseño experimental se utilizó el programa SPSS 17.0 que en sus siglas en inglés significa *Statistical Package for the Social Sciences*, (paquete estadístico para las ciencias sociales) para Windows, el cual permite un tratamiento integrado de todas las fases que conlleva el análisis de datos, obteniéndose resultados representativos y confiables.

Los resultados obtenidos de cada combinación de las variables estudiadas facilitan el diseño experimental y de este modo se determina las variables más significativas para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz.

La variable respuesta de los datos experimentales será expresada a través de la cantidad de aceite obtenido en porcentaje.

3.3.1 Cálculo del análisis de varianza

El análisis de varianza muestra las variables principales que influyen en el proceso de extracción del aceite crudo de maíz, en función de la variable respuesta. También se observa la influencia de todas las posibles interacciones en la variable respuesta y la significación de los mismos.

En la siguiente tabla se observa los factores que intervienen en el proceso de extracción del aceite crudo de maíz, cada uno de estos factores presentan en un nivel superior 1 y en un nivel inferior -1.

Tabla III-14**Factores inter-sujetos**

		N
Tamaño	-1,00	8
	1,00	8
Tiempo	-1,00	8
	1,00	8
Temperatura	-1,00	8
	1,00	8

Fuente. Elaboración propia

La siguiente tabla detalla el resultado del análisis de varianza aplicado al diseño experimental empleado para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz.

Tabla III-15**Análisis de varianza**

Variable dependiente: Aceite					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	805,492 ^a	6	134,249	14,937	,000
Intersección	27274,523	1	27274,523	3034,735	,000
Tamaño	300,156	1	300,156	33,397	,000
Tiempo	139,476	1	139,476	15,519	,003
Temperatura	224,400	1	224,400	24,968	,001
Tamaño * Tiempo	44,023	1	44,023	4,898	,054
Tamaño * Temperatura	96,334	1	96,334	10,719	,010
Tiempo * Temperatura	1,102	1	1,102	,123	,734
Error	80,887	9	8,987		
Total	28160,902	16			
Total corregida	886,379	15			

a. R cuadrado = .909 (R cuadrado corregida = .848)

Fuente. Elaboración propia

Se observa que las variables con un nivel de significancia menor a 0,05 influyen en el proceso lo que implica que son significativas para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz con una confianza del 95 %.

De esta manera se concluye que la interacción tamaño*tiempo y la interacción tiempo*temperatura no son significativas para el modelo. Por el contrario, las variables tamaño, tiempo y temperatura, además de la interacción tamaño*temperatura tienen un valor de significancia menor a 0,05 por lo que se considera que influyen de manera significativa en el modelo experimental, por lo tanto, serán las variables utilizadas para realizar el cálculo del modelo matemático que posee el diseño factorial.

Entonces, para la determinación del modelo matemático se descarta la interacción tamaño*tiempo y la interacción tiempo*temperatura. En consecuencia, la siguiente tabla muestra los coeficientes del modelo matemático que genera el programa SPSS 17.0 con el diseño experimental realizado para el proceso del trabajo de obtención del aceite crudo de maíz.

Tabla III-16

Coeficientes

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	41,288	,846		48,794	,000	39,425	43,150
Tamaño	-4,331	,846	-,582	-5,119	,000	-6,194	-2,469
Tiempo	2,953	,846	-,397	-3,489	,005	-4,815	-1,090
Temperatura	3,745	,846	,503	4,426	,001	1,883	5,607
TamTemp	2,454	,846	,330	2,900	,014	,591	4,316

a. Variable dependiente: Aceite

Fuente. Elaboración propia

$$\text{Aceite} = 41,288 - 4,331 \cdot \text{tam} + 2,953 \cdot \text{tiem} + 3,745 \cdot \text{temp} + 2,454 \cdot (\text{tam} \cdot \text{temp})$$

Del análisis estadístico se puede concluir que las variables tamaño, tiempo, temperatura y la interacción tamaño*tiempo son significativas en el proceso de extracción del aceite crudo de maíz.

3.4 Análisis y calidad del producto obtenido para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

Los parámetros para determinar la calidad del aceite obtenido fueron realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla III-17

Resultados del análisis del aceite crudo de maíz obtenido

Indicadores	Unidades	Valores
Densidad (20 °C)	g/ml	0,9120
Índice de refracción	-	1,4723
Índice de peróxidos	meqO ₂ /kg	4,84
Acidez (ácido oleico)	%	0,20

Fuente: CEANID 2015

Como se observa en la tabla anterior, para el aceite crudo de maíz obtenido en el presente trabajo de investigación se determinó la densidad, el índice de refracción, índice de peróxidos y la acidez.

Los parámetros analizados del aceite crudo de maíz son aquellos exigidos por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM.

Además, se realizó la determinación del perfil de ácidos grasos presentes en el aceite crudo de maíz, este análisis fue realizado en el Centro de Alimentos y Productos Naturales CAPN, laboratorio dependiente de la Universidad San Simón de Cochabamba.

La siguiente tabla detalla los resultados obtenidos.

Tabla III-18

Perfil de ácidos grasos presentes en el aceite crudo de maíz

Ácido graso	Fórmula	%
Ácido palmítico	C16:0	10,69
Ácido palmitoleico	C16:1	0,02
Ácido heptadecanoico	C17:0	0,04
Ácido heptadecanoico cis 10	C17:1	0,03
Ácido esteárico	C18:0	0,42
Ácido elaídico	C18:1n9t	0,10
Ácido oleico	C18:1n9c	28,57
Ácido linolelaídico	C18:2n6t	0,01
Ácido linoleico	C18:2n6c	39,23
Ácido linolénico	C18:3n3	0,43
Ácido cicosadienoico cis 11, 14	C20:2	0,02
Ácido behénico	C22:0	0,04
Ácido lignocérico	C24:0	0,03

Fuente: Centro de Alimentos y Productos Naturales CAPN 2016

Los datos de la última tabla reflejan que el aceite crudo de maíz contiene un total de 11,22 % de ácidos grasos saturados; y, por el contrario, contiene un total de 68,43 % de ácidos grasos insaturados.

3.5 Discusión de resultados para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz

En esta sección se hace un análisis y comparación de parámetros como; la composición y el contenido de humedad del grano de maíz, la cantidad de aceite obtenido en la extracción; la influencia que tiene el tamaño de partícula, la temperatura y el tiempo en la cantidad de aceite obtenido durante el proceso de extracción del aceite crudo de maíz. Además, se hace una comparación del análisis y calidad del producto obtenido. Este análisis y comparación es realizado en base a datos obtenidos en el presente trabajo de investigación, comparándolos con otros datos de referencia.

3.5.1 Composición del grano de maíz

En la Tabla III-19 se muestran datos haciendo una comparación respecto a la composición del grano de maíz correspondiente a la variedad IBTA-Algarrobal 102, trabajo desarrollado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU); y la composición del grano de maíz registrado según bibliografía, del libro “El maíz y su conservación” del autor U. Gonzales A.

Tabla III-19

Comparación de la composición física del grano de maíz variedad IBTA-Algarrobal 102 y la composición del grano de maíz según bibliografía

Parámetro	Porcentaje en peso seco	
	U. Gonzáles A.	LOU
Endospermo	80,3-83,5	79,67
Germen	10,5-13,1	10,01
Pericarpio	4,4-6,2	6,61
Punta	0,8-1,1	3,72

Fuente: Elaboración propia

Como es evidente apreciar en la última tabla presentada, los datos correspondientes a la composición del grano de maíz de la variedad empleada en el presente trabajo son próximos a los registrados según bibliografía, pero no se encuentran dentro de dichos rangos. Los datos registrados para la composición del germen, realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias; componente de mayor interés en el presente trabajo, es ligeramente inferior al rango menor que se tiene registrado según bibliografía. Sin embargo, cabe mencionar que en el libro “Tecnología de aceites y grasas” del autor E. Bernardini en la página 65, menciona que el peso del germen representa alrededor del 4 al 6 %, que es un dato muy inferior incluso al registrado del germen utilizado en el presente trabajo para la extracción del aceite crudo de maíz.

Por otra parte, cabe resaltar que los datos registrados para la composición de la punta del grano de maíz son los que tienen mayor desviación respecto a los registrados según bibliografía.

3.5.2 Contenido de humedad de la materia prima

El contenido de humedad de una semilla tiene una gran importancia para una buena conservación de la misma. Por lo común, se almacena con humedad del 5 al 7 %, máximo del 8 %. Si la semilla llega con una humedad superior al 8 %, se deberá realizar un secado previo al almacenamiento. (E. Bernardini 1981)

Por otra parte, en la página digital de Slideshare en su artículo “Tipo y almacenamiento de maíz” dice que, un mal almacenamiento del grano provoca pérdida de peso, calidad, capacidad alimentaria y consecuentemente reducción de ingresos. Lo más importante de un buen almacenamiento es la humedad adecuada del grano, el grano húmedo causa muchos problemas en el almacén. El grano y el aire tienen humedad, interactúan una con la otra, si el grano de maíz está muy húmedo, parte de esa humedad se encuentra rodeando a la semilla. Para un buen almacenamiento el grano éste debe tener entre 12 y 14 por ciento de humedad, con una temperatura de 25°C y 30°C.

En un clima muy frío los insectos y hongos crecen despacio o no crecen del todo y las semillas no respiran. En lugares cálidos el grano entra caliente al almacén y a medida que la temperatura exterior aumenta la temperatura del grano almacenado se incrementa. Cuando la temperatura del grano aumenta, ciertos fenómenos comienzan a suceder. Los insectos inician la reproducción; los hongos comienzan a germinar y a multiplicarse. Los hongos, insectos y semillas respiran más rápido, causando un incremento en la temperatura y en la humedad del grano almacenado, debido a la transpiración. Estos factores explican la necesidad de mantener el grano seco y fresco. Es importante mantener los almacenes protegidos de los rayos del sol, ya que éstos calientan el depósito y este calor se extiende hacia el interior. Creando condiciones favorables para el crecimiento de hongos e insectos.

Por lo tanto, tomando como referencia las dos bibliografías mencionadas anteriormente respecto a la humedad del maíz, se puede decir que la humedad del maíz que fue utilizado en el presente trabajo de investigación para la obtención del aceite crudo de maíz se encuentra dentro de los parámetros correctos, registrando un dato de humedad del 9,260 %. En resumen, estos datos se muestran claramente en la siguiente tabla.

Tabla III-20

Contenido de humedad del maíz según diferente bibliografía

Referencia	Humedad
	Porcentaje
E. Bernardini	5-8
Slideshare	12-14
Maíz IBTA-Algarrobal 102	9,260

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Cantidad de aceite crudo de maíz obtenido en la etapa de extracción

En la Tabla III-21 se presenta datos del contenido de aceite que se encuentra presente en el germen del maíz según diferentes autores.

Las referencias de Inglett 1970 y Weber 1973, se encuentran en el libro “El Maíz y su Conservación” del autor Ubaldo Gonzáles Alquinzones (1995), en el mismo se señala que el contenido de aceite en el germen del maíz es de 34,5 % y 31,1 - 38,9 %, respectivamente. En cambio, en el libro “Tecnología de Aceites y Grasas” del autor Bernardini E. (1981) dice que el contenido de aceite en el germen del maíz es entre 30 y 35 %.

Por su parte, en el proyecto de grado “Extracción de aceite de germen de maíz usando CO₂ supercrítico” de la Universidad del Valle de Cali, Colombia; se obtiene un 54,54 % en la extracción del aceite. Mientras que el aceite obtenido en el presente trabajo de investigación alcanza a un contenido del 50,095 %.

Tabla III-21

Contenido de aceite en el germen del maíz según diferente bibliografía

Referencia	Aceite
	Porcentaje
Inglett 1970	34,5
E. Bernardini 1981	30 - 35
Weber 1973	31,1 - 38,9
Univ. del Valle (Cali-Colombia)	54,54
UAJMS (Tarija-Bolivia)	50,095

Fuente: Elaboración propia

El contenido de aceite en el germen del maíz obtenido en el presente trabajo de investigación muestra un importante valor que es del 50,095 % que está muy por encima de los valores registrados en los libros ya mencionados, sin embargo, este

rendimiento es inferior al registrado en el proyecto de grado “Extracción de aceite de germen de maíz usando CO₂ supercrítico”, dejando de manifiesto que con la extracción supercrítica se obtienen mejores resultados en cuanto a la cantidad de aceite.

3.5.4 Influencia del tamaño de partícula

La influencia del tamaño de partícula es determinante para la cantidad de aceite que se obtiene en el proceso de extracción del aceite crudo de maíz; mientras menor es el tamaño de partícula, mayor es la cantidad de aceite que se obtiene. Como se muestra en la tabla a continuación, donde se mantiene constante la temperatura y el tiempo de extracción, los datos son extraídos de la Tabla III-11, para una cantidad de muestra de germen de maíz de 3 g.

Tabla III-22

Influencia del tamaño de partícula en la cantidad de aceite obtenido

Tamaño partícula	Aceite	Aceite
(mm)	(g)	(%)
0,5	1,392	46,400
0,25	1,503	50,095

Fuente: Elaboración propia

Para un tamaño de partícula de 0,5 mm la cantidad de aceite crudo de maíz obtenido alcanza el 46,4 %, mientras que, si el tamaño de partícula es menor, 0,25 mm; la cantidad de aceite crudo de maíz obtenido es mayor, alcanzando un 50,095 %. Este hecho se observa claramente en la siguiente foto, que son las muestras obtenidas durante la parte experimental para los parámetros ya descritos.

Foto 3-2

Diferencia en la cantidad de aceite crudo de maíz obtenido tomando en cuenta diferente tamaño de partícula



Fuente: Elaboración propia

3.5.5 Influencia de la temperatura

La influencia de la temperatura también es determinante para la cantidad de aceite que se obtiene, es decir, que existe una temperatura óptima para obtener el mejor resultado que para el caso del germen del maíz se registra en 55 °C, si el proceso se realiza a mayor temperatura la cantidad de aceite que se obtiene es menor; así lo demuestran los valores de los datos contenidos en la siguiente tabla; extraídos de la Tabla III-11. Donde los parámetros, tamaño de partícula y tiempo de extracción permanecen constantes para una cantidad de muestra de germen de maíz de 3 g.

Tabla III-23**Influencia de la temperatura en la cantidad de aceite obtenido**

Temperatura	Aceite	Aceite
(° C)	(g)	(%)
55	1,503	50,095
65	1,312	43,725

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del aceite crudo de maíz, se tiene un mejor resultado a una temperatura de extracción de 55 °C, alcanzando a un 50,095 % de aceite obtenido; en cambio si esta temperatura es mayor, 65 °C, la cantidad de aceite obtenido es menor, 43,725 %. A continuación, se muestran las pruebas realizadas con los parámetros de operación ya descritos.

Foto 3-3**Diferencia en la cantidad de aceite crudo de maíz obtenido tomando en cuenta diferente temperatura en el proceso de extracción**

Fuente: Elaboración propia

3.5.6 Influencia del tiempo de extracción

El tiempo es otro factor importante a controlar en el proceso de extracción del aceite crudo de maíz, puesto que es determinante para obtener el mejor resultado. Para las pruebas realizadas en laboratorio y de acuerdo al diseño experimental planteado; se muestra en la tabla que sigue los datos correspondientes a muestras de 3 g de germen de maíz sometidas a dos diferentes tiempos de extracción, manteniendo constante el tamaño de partícula y la temperatura de extracción.

Tabla III-24

Influencia del tiempo en la cantidad de aceite obtenido

Tiempo	Aceite	Aceite
(horas)	(g)	(%)
3	1,312	43,730
4	1,503	50,095

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos demuestran que a un tiempo de 3 horas la cantidad de aceite crudo de maíz obtenido es del 43,730 %, en cambio, si se aumenta el tiempo de extracción a 4 horas, entonces, se obtiene un 50,095 % de aceite crudo de maíz, esta situación se observa en la siguiente foto.

Foto 3-4

Diferencia en la cantidad de aceite crudo de maíz obtenido tomando en cuenta diferente tiempo de extracción



Fuente: Elaboración propia

3.5.7 Análisis y calidad del producto obtenido

Para hacer una relación y poder establecer si los resultados determinados en laboratorio, del aceite crudo de maíz obtenido en el presente trabajo de investigación, cumple con los requisitos de calidad, los mismos son comparados con los datos que ofrece la norma IRAM 5535 para aceites vegetales, más específicamente, para el aceite crudo de maíz.

En la siguiente tabla se encuentran los valores de los parámetros determinados en laboratorio (CEANID) y los valores de dichos parámetros establecidos por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM.

Tabla III-25

Comparación de los requisitos de calidad para el aceite crudo de maíz obtenido

Parámetro	Unidades	Valores	
		IRAM 5535	CEANID
Densidad	g/ml	0,9104-0,9164	0,9120
Índice de refracción	-	1,4707-1,4727	1,4723
Índice de peróxidos	meqO ₂ /kg	-	4,84
Acidez (ácido oleico)	%	4 máximo	0,20

Fuente: IRAM 2006, CEANID 2015

En consecuencia, observando los valores de los parámetros analizados, se puede establecer que el aceite crudo de maíz obtenido en laboratorio para el presente trabajo de investigación se encuentra dentro de los requisitos de calidad establecidos por la norma argentina, en Bolivia no existe ninguna normalización respecto a la calidad para el aceite de maíz.

Por otra parte, en la siguiente tabla se hace una comparación de los valores obtenidos del perfil de ácidos grasos presentes en el aceite crudo de maíz. Se toma como referencia los datos que brinda la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (en portugués Agência Nacional de Vigilância Sanitária) ANVISA que es un organismo regulador autónomo del gobierno de Brasil. También se toma en cuenta los datos que brinda el Codex Alimentarius (palabra latín: "código de los alimentos") que es una colección reconocida internacionalmente de estándares, códigos de prácticas, guías y otras recomendaciones relativas a los alimentos, su producción y seguridad alimentaria, bajo el objetivo de la protección del consumidor. Oficialmente este

código es mantenido al día por la Comisión del Codex Alimentarius, un cuerpo conjunto con la Food and Agriculture Organization (FAO) organismo perteneciente a las Naciones Unidas y a la Organización Mundial de la Salud (OMS) cuyo objeto ya desde 1963 es la protección de la salud de los consumidores y asegurar las prácticas en el comercio internacional de alimentos. (es.wikipedia.org/wiki/Codex_Alimentarius)

Por lo tanto, los valores de los datos brindados por las dos referencias anteriores son comparadas con los valores de los datos obtenidos del aceite crudo de maíz obtenido en el presente trabajo de investigación y que fueron realizados en el Centro de Alimentos y Productos Naturales CAPN de Cochabamba. A continuación, en la siguiente tabla, se resumen todos estos datos.

Tabla III-26

Comparación del perfil de ácidos grasos presentes en el aceite crudo de maíz

Ácidos grasos	Fórmula	Valores de referencia (%)		
		ANVISA	CODEX	CAPN
Ácido láurico	12:0	<0,3	0,05-0,3	-
Ácido mirístico	14:0	<0,1	0,05-0,3	-
Ácido palmítico	16:0	9,0-14	8,6-16,5	10,69
Ácido palmitoleico	16:1	<0,5	0,05-0,5	0,02
Ácido heptadecanoico	17:0	-	0,05-0,1	0,04
Ácido heptadecanoico cis 10	17:1	-	0,05-0,1	0,03
Ácido esteárico	18:0	0,5-4,0	0,05-3,3	0,42
Ácido elaídico	18:1n9t	-	-	0,10
Ácido oleico	18:1n9c	24,0-42,0	20,0-42,0	28,57
Ácido linolelaídico	18:2n6t	-	-	0,01
Ácido linoleico	18:2n6c	34,0-62,0	34,0-65,0	39,23
Ácido linolénico	18:3	<2	0,05-2,0	0,43
Ácido araquídico	20:0	<1	0,3-1,0	-
Ácido eicosenoico	20:1	<0,5	0,2-0,6	-
Ácido behénico	22:0	-	0,05-0,5	0,04

Ácido lignocérico	24:0	<0,5	0,05-0,5	0,03
-------------------	------	------	----------	-------------

Fuente: ANVISA 1999, CODEX 1999, CAPN 2016

Haciendo un análisis de los datos presentados en la tabla anterior, es posible advertir que el contenido de los ácidos grasos más importantes presentes en el aceite crudo de maíz de la variedad IBTA-Algarrobal 102 se encuentran dentro del rango de valores que exigen tanto la ANVISA como así también el CODEX. Estos ácidos grasos insaturados presentes en mayor cantidad en el aceite crudo de maíz son el ácido oleico (28,57 %) y el ácido linoleico (39,23 %), este último, es decir; el omega 6, es el más importante ya que es un ácido graso esencial pues el ser humano no puede sintetizarlo en el organismo y debe obtenerlo por medio de la dieta. El ácido graso saturado presente en mayor cantidad en el aceite crudo de maíz es el ácido palmítico (10,69 %).

El resto de los ácidos grasos presentes en el aceite crudo de maíz se encuentran en cantidades muy pequeñas. El contenido de ácido palmitoleico presente en el aceite crudo de maíz obtenido en el presente trabajo tiene un valor de 0,02 %, siendo éste inferior al rango que establece el CODEX, pero este valor sí se encuentra dentro de los valores que establece la ANVISA, de la misma manera sucede con el ácido lignocérico. La cantidad de los ácidos heptadecanoico, heptadecanoico cis 10 y el ácido behénico es inferior a lo establecido por el CODEX. En cambio, la cantidad de ácido esteárico y ácido linolénico presente en el aceite crudo de maíz está dentro de los rangos establecidos tanto por la ANVISA como así también por el CODEX.

En resumen, el aceite crudo de maíz contiene un total de 11,22 % de ácidos grasos saturados; y un total de 68,43 % de ácidos grasos insaturados.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- De acuerdo a lo establecido en la propuesta de trabajo, se realizó la extracción del aceite crudo de maíz basado en la técnica de separación sólido-líquido que es una operación unitaria de transferencia de masa, mediante la cual se realizó la separación del aceite contenido en las partículas del germen de maíz, es decir, el componente contenido en fase sólida; mediante la utilización de solvente, o sea, mediante la utilización de una fase líquida. Haciendo uso del equipo de extracción Soxhlet que es un aparato de extracción continua, utilizando n-hexano como solvente.
- Se llevó a cabo la determinación de la composición de la materia prima, maíz de la variedad IBTA-Algarrobal 102, así, se pudo conocer el porcentaje con el que participa cada componente en el grano del maíz. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Endospermo: 79,67 %

Germen: 10,01 %

Pericarpio: 6,61 %

Punta: 3,72 %

Así también, se realizó el análisis del contenido de humedad de la materia prima; resultando este valor en 9,26 %.

- Las variables que se tomaron en cuenta para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz fueron; tamaño de partícula, temperatura de extracción y tiempo de extracción, las condiciones que dieron los mejores resultados son: para el tamaño de partícula, 0,25 mm; para la temperatura de extracción, 55 °C y; finalmente, el tiempo de extracción con el que se obtuvo la mayor cantidad de aceite crudo de maíz, fue de 4 horas.
- Según el balance de materia realizado para el proceso de extracción del aceite crudo de maíz, al extractor ingresaron 757,333 g de materia, es decir, de germen; de lo cual se obtuvo 379,386 g de aceite crudo de maíz que corresponde al 50,095 %. Así también, se determinó que el porcentaje de recuperación del solvente es del 82,125 %; por lo tanto, se pierde un 17,875 % de solvente. Y el residuo generado en la etapa de extracción del aceite crudo de maíz corresponde al 49,905 % de harina.
- El balance de energía realizado para el proceso de obtención del aceite crudo de maíz determinó la cantidad de energía requerida por los equipos utilizados y de esta manera se pudo conocer el costo del consumo energético, siendo éste de 6.421,538 bolivianos.
- El contenido de aceite presente en el germen del maíz que se produce en nuestro departamento y que fue el utilizado para el presente trabajo de investigación, alcanza a un porcentaje promedio en peso del 50,095 %, superando así las expectativas que se tenían antes de la realización del presente estudio, puesto que según datos bibliográficos consultados, el porcentaje de aceite contenido en el germen de maíz registra datos inferiores, que van del 30 al 39 %, exceptuando el método de extracción supercrítica.
- El control de calidad al cual fue sometido el producto para determinar su calidad, fue realizado en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID dependiente de la universidad, dando como resultado datos que se encuentran dentro de los parámetros establecidos por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM 5535 para la calidad del aceite crudo de maíz, y por lo tanto; se llega a la conclusión de que el producto obtenido, aceite

crudo de maíz, cumple con los requisitos de calidad establecidos. Estos requisitos y sus resultados son los siguientes:

Densidad (20 °C): 0,9120 g/ml

Índice de refracción: 1,4723

Índice de peróxidos: 4,84 meqO₂/kg

Acidez (ácido oleico): 0,20%

La determinación del perfil de ácidos grasos presentes en el producto obtenido fue realizado en el Centro de Alimentos y Productos Naturales CAPN, laboratorio dependiente de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba, revelando como resultado valores, de los ácidos grasos presentes en mayor cantidad; que se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la ANVISA y por el CODEX. El resumen es el siguiente:

Ácidos saturados totales: 11,22 %

Ácidos monoinsaturados totales: 28,73 %

Ácidos poliinsaturados totales: 39,70 %

Ácidos insaturados totales: 68,43

Ácidos grasos omega 3: 0,43

Ácidos grasos omega 6: 39,23

4.2 Recomendaciones

- Es recomendable extender los estudios a variedades de maíz que están en amplio desarrollo como las variedades híbridas que son las que tienen mejores rendimientos, aunque por el costo de producción aún están rezagadas.
- Los resultados obtenidos motivan a recomendar un estudio más detallado del proceso de extracción, el cual permita evaluar parámetros como la relación sólido/líquido.

- De ser factible, se recomienda el estudio de la extracción del aceite crudo de maíz haciendo uso de diferentes tipos de solvente y así determinar el solvente con el que se obtiene los mejores resultados en cuanto al contenido de aceite.
- Por otra parte, también se recomienda el estudio de ciertas aplicaciones para uno de los residuos que se generó en el presente trabajo de investigación que es el maíz que queda sin germen, por ejemplo, se podría emplear para la elaboración de harina o la obtención de almidón, ya que este residuo que se separa durante el proceso de obtención del aceite crudo de maíz constituye el mayor porcentaje de la composición del grano de maíz.
- También es recomendable ampliar los estudios para la harina residual del proceso de extracción del aceite crudo de maíz puesto que es una materia con un buen contenido proteico que se puede utilizar para hacer alimento balanceado, por ejemplo.