

## 1.1.ANTECEDENTES

En la actualidad existe una gran demanda a nivel internacional por los productos con alto valor nutricional y orgánico, tomando en cuenta esos aspectos en los alimentos nuestro país tiene la particularidad de generar productos agrícolas, gracias al suelo y al clima, que nos colocan en un lugar expectante para desarrollar una serie de cultivos que el mundo moderno demanda, y para mejor aprovechar este enorme potencial productivo se debe buscar sistemas de planificación que promuevan la producción, industrialización y comercialización de los productos agrícolas para que el país se favorezca con los beneficios económicos que genere (Vallardes, 2013).

La región de los Andes, cuna de grandes civilizaciones como la Incaica y Tiahuanacota, es considerada centro de origen de numerosas especies nativas como la *Chenopodium quinua Willd*, la misma que durante miles de años fue el principal alimento de las culturas antiguas de los Andes y que está distribuida en diferentes zonas agroecológicas de Bolivia que en la actualidad se encuentra en franco proceso de expansión porque representa un gran potencial para mejorar las condiciones de vida, de nuestro país, por las características intrínsecas sobresalientes que posee, tales como: Su amplia variedad genética, su calidad nutritiva y sus diversas formas de utilización (Rojas, 2011).

En Bolivia, se cultiva quinua en el Altiplano Norte, Central y Sur, Valles interandinos y en los Salares existentes al Sur que se caracterizan por tener un clima templado. La variedad de quinua más cotizada a nivel internacional es la Quinua Real que solo se produce en el Altiplano Sur y parte del Altiplano Central y no ha podido ser adaptada a otras regiones del mundo, ya que es una variedad de altura y su floración depende de un número de horas luz bien definido. En los últimos cinco años la superficie cultivada ha crecido y se estima actualmente en más de 50000 hectáreas en el Altiplano Boliviano (Rojas, 2011).

En el departamento de Tarija el cultivo de la quinua no es nuevo sobre todo en las zonas altiplánicas de Yunchará y El Puente por lo que en los dos últimos años se a observado la introducción de nuevas variedades con las características de la Quinua Real, que se diferencia de la quinua criolla principalmente por el tamaño del grano, condición mínima para promover su comercialización en el mercado nacional y de exportación por la gran demanda creciente en el mercado nacional e internacional por el alto valor nutricional que esta posee, que no solo aportaría beneficios económicos sino que fomentaría aún más el consumo de este grano nutritivo por las familias de las comunidades productoras y de todo el departamento (Rojas, 2011).

Las grasas y aceites representan la fuente principal de energía procedente de los alimentos, la ingestión moderada de aceites es fuente de ácidos grasos esenciales para el organismo ya que garantizan la absorción y transporte de las vitaminas A, D, K, E, y de sustancias con actividad antioxidante, como los carotenoides y compuestos fenólicos, que se encuentran disueltas en ellas; dichos ácidos participan en un sinnúmero de reacciones bioquímicas a nivel celular y en otros mecanismos, tales como la formación de tejido conjuntivo, producción hormonal, promoción de vitaminas y la gestación y manutención lipídica de las células (Lum y Theobald, 2006).

La mayoría de los ácidos grasos pueden ser sintetizados en el cuerpo, pero los seres humanos carecen de las enzimas necesarias para producir dos ácidos grasos, los cuales se denominan ácidos grasos esenciales y deben obtenerse ingiriéndolos como parte de la dieta. Los ácidos grasos esenciales que deben formar parte de la dieta humana, son el ácido  $\alpha$ -linolénico (poliinsaturado omega-3) y el ácidos  $\alpha$ -linoleico (poliinsaturado omega-6). Aun cuando los seres humanos pueden alargar el ácido  $\alpha$ -linolénico, proveniente de la dieta, y transformarlo en los ácidos de cadena larga eicosapentaenoico y decosahexaenoico (omega-3 poliinsaturados), la tasa de síntesis puede no ser suficiente para satisfacer los niveles necesarios, por lo que se recomienda que también se incluyan en la dieta fuentes ricas en estos ácidos grasos (Lum y Theobald, 2006).

La sustitución de ácidos grasos saturados ya sea con ácidos grasos monoinsaturados o ácidos grasos poliinsaturados omega-6, reduce el colesterol malo, reduciendo así el riesgo de desarrollar la enfermedad. Los ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico o los ácidos grasos monoinsaturados, también aumentan ligeramente el colesterol "bueno", lo que ayuda a la eliminación de los triacilgliceroles (TAG) de la sangre. Existen pruebas, aunque todavía no son concluyentes, de que estos ácidos grasos protegen contra las enfermedades cardíacas mortales (Lum y Theobald, 2006).

Es un hecho bien conocido que las mujeres embarazadas deben tener un suministro adecuado de ácidos grasos poliinsaturados omega-3 de cadena larga antes y durante el embarazo y la lactancia para favorecer un desarrollo normal, así como un buen desarrollo neurológico y de la función cognitiva del bebé. Habida cuenta que los ácidos grasos poliinsaturados omega-6 son más abundantes en la dieta, resulta menos problemático conseguir una ingesta adecuada. Sin embargo, no ocurre lo mismo con los ácidos grasos poliinsaturados omega-3; aumentar el consumo de pescado a más de dos porciones por semana, o depender de la administración de complementos de aceite de pescado no es conveniente debido a los posibles problemas asociados con la contaminación del pescado con metales pesados, o los altos niveles de vitamina A en algunos complementos de aceite de pescado, para facilitar este consumo, los técnicos en alimentación recomiendan introducir en la dieta aceites que contengan ácidos grasos insaturados, sin necesidad de introducir un importante cambio en los hábitos alimentarios. De cualquier forma, los mensajes de salud pública en torno a la ingesta óptima de ácidos grasos deben ser claros y coherentes para garantizar que se produzca un cambio favorable en la relación a la importancia de los ácidos grasos en la dieta (Lunn y Theobald, 2006).

El aceite extraído de la quinua tiene propiedades nutritivas que otorgan suavidad a la piel y fortalece el cabello dejándolo suave y con brillo. Se lo utiliza para aplicarlo a la piel delicada de bebés que al estar expuesta al frío y al viento

necesita de un cuidado especial para evitar desecamientos cutáneos (Lunn y Theobald, 2006).

Estudios realizados al aceite de quinua demostraron que tiene propiedades regeneradoras de la piel por lo que su uso en cosmetología ha crecido enormemente en los países Europeos (Lunn y Theobald, 2006).

## **1.2.JUSTIFICACIÓN**

- En la composición de los lípidos de la semilla quinua dominan los ácidos grasos insaturados, destacando su alto contenido de ácido linoleico y oleico, y moderado de linolénico que son considerados ácidos grasos esenciales para la dieta humana por lo que la extracción de este aceite es un alternativa para enriquecer los aceites de las distintas semillas oleaginosas con la finalidad de elevar su calidad nutricional.
- El alto contenido de tocoferoles totales en el aceite extraído de la semilla de quinua le confiere a una buena protección frente a la rancidez oxidativa, es en este sentido que este aceite estaría enfocado para utilizarlo como conservante natural para otros aceites con bajo contenido en tocoferoles.
- El aceite de quinua, por sus características fisicoquímicas, es un potente protector y reparador de las células de la epidermis es por esta razón que los países Europeos lo están utilizando ampliamente en la elaboración de cosméticos de calidad, con esta orientación este aceite es una buena opción como producto de exportación.
- El rendimiento del aceite extraído de quinua puede superar fácilmente al del maíz, el trigo y otras semillas ya que se han obtenido cultivares con alto contenido graso (9,5%) y con mejor calidad de aceite que en los

cereales, por ello es que se podría incentivar su cultivo por su potencial oleaginoso.

- El presente trabajo está enfocado en promover la industrialización del grano de quinua para darle un mayor valor agregado y así las zonas productoras puedan aprovechar los beneficios de su cultivo y evitar que otros países se favorezcan de estos recursos al importarlo de nuestro país como materia prima para la obtención de aceite.

### **1.3.OBJETIVOS**

Los objetivos a ser desarrollados son:

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Obtener aceite de *Chenopodium quinua Willd* a escala de laboratorio mediante el proceso de extracción con solvente; con la finalidad de obtener un producto con características fisicoquímicas similares a la Norma Boliviana 685 – 2000.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características fisicoquímicas de la semilla de quinua con la finalidad de establecer la composición.
- Determinar el tiempo de secado de la semilla de quinua con la finalidad de regular el contenido de humedad.
- Determinar las variables del proceso de extracción y recuperación del solvente durante el proceso de obtención del aceite de quinua.

- Aplicar el diseño factorial  $2^3$  en el proceso de extracción de aceite de quinua con la finalidad de determinar la significancia de los factores.
- Calcular el rendimiento del proceso con la finalidad de obtener el contenido lipídico de la semilla de quinua.
- Realizar el balance de materia y energía en el proceso de extracción del aceite con la finalidad obtener los flujos de materia prima a la entrada y salida del proceso.
- Determinar el análisis fisicoquímico del producto con la finalidad de cuantificar porcentualmente los ácidos grasos saturados e insaturados que presenta en su composición.

#### **1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA GENERAL**

Las enfermedades cardiovasculares, caracterizadas por el endurecimiento y estrechamiento de los vasos sanguíneos y/o el desarrollo de coágulos de sangre, es una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en todo el mundo; un factor de riesgo bien establecido para estos problemas de salud es la elevada concentración plasmática de colesterol "malo"; que es absorbido por el organismo cuando se aumenta el consumo de grasas saturadas. El tipo y la cantidad total de materia grasa en la dieta desempeñan claramente una función en la manera en la que afectan al nivel de riesgo de enfermedad de una persona; ya que los ácidos grasos no son una mera fuente de energía, sino que son necesarios para que el cuerpo cumpla otras funciones.

La mayoría de los ácidos grasos pueden ser sintetizados en el cuerpo, pero los seres humanos carecen de las enzimas necesarias para producir dos ácidos grasos; los cuales se denominan ácidos grasos esenciales y deben obtenerse ingiriéndolos como parte de la dieta. Los ácidos grasos esenciales que deben formar parte de la dieta humana, son el ácido  $\alpha$ -linolénico y el ácido  $\alpha$ -linoleico, aun cuando los

seres humanos pueden alargar el ácido  $\alpha$ -linolénico, proveniente de la dieta, y transformarlo en ácidos de cadena larga eicosapentenoico y decosahexenoico. La tasa de síntesis puede no ser suficiente para satisfacer los niveles necesarios, por lo que se recomienda también se incluyan en la dieta fuentes ricas en estos ácidos grasos.

Por estos motivos, a nivel mundial existe una tendencia al consumo de productos naturales con baja cantidad de colesterol y elevada cantidad en ácidos grasos insaturados; debido a todos los beneficios saludables que estos nos proporcionan. por esta razón, se necesita aumentar el consumo de ácidos grasos insaturados de cadena larga y disminuir la ingesta de ácidos grasos saturados. Para mejorar la dieta alimentaria, se recomienda el consumo de aceite de quinua o la incorporación de este en otros aceites de consumo masivo con la finalidad de enriquecerlos y así evitar un cambio radical en los hábitos alimentarios.

### **1.5.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el proceso de extracción con solvente a nivel de laboratorio adecuado, para obtener aceite de *Chenopodium quinua Willd* con características fisicoquímicas similares a la Norma Boliviana 685 – 2000?

### **1.6.PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS**

Mediante la aplicación del proceso de extracción con soxhlet y solvente n-Hexano; semilla de quinua al 6 % de humedad, harina de quinua con tamaño de partícula de 0,50 mm y tiempo de extracción de 4,5 horas, se obtiene aceite de quinua con características fisicoquímicas similares a los límites permisibles por la Norma Boliviana 685–2000 y porcentaje de ácidos grasos poliinsaturados de 45,18 % y un 39,22 % ácidos grasos monoinsaturados.

## **2.1. ORIGEN DE LA QUINUA**

La quinua es un producto originario de los países andinos, principalmente de la región del Lago del Titicaca. Su consumo es ancestral en la dieta de la población campesina ya que ha sido cultivada en el altiplano sudamericano desde la época prehispánica (Zegarra, 2010).

Con la introducción del trigo, la quinua fue desplazada hacia tierras más altas, disminuyendo su producción. El cultivo de este grano fue artesanal en las zonas alto andinas hasta la década de los 90, tiempo en el que se produjo una importante demanda de exportación a los mercados norteamericano y europeo (Zegarra, 2010).

## **2.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA Y TAXONÓMICA DE LA QUINUA**

La quinua es una planta anual, dicotiledónea, usualmente herbácea, que alcanza una altura de 0,2 a 3,0 m. Las plantas pueden presentar diversos colores que van desde verde, morado a rojo y colores intermedios entre estos tal como se muestra en la figura 2.1 (Rojas, 2011).

El tallo principal puede ser ramificado o no, depende del ecotipo, raza, densidad de siembra y de las condiciones del medio en que se cultiven, es de sección circular en la zona cercana a la raíz, transformándose en angular a la altura de las ramas y hojas. Es más frecuente el hábito ramificado en las razas cultivadas en los valles interandinos del sur del Perú y Bolivia, en cambio el hábito simple se observa en pocas razas cultivadas en el altiplano y en una buena parte de las razas del centro y norte del Perú y Ecuador (Rojas, 2011).

**Figura 2.1**  
**Planta de *Chenopodium quinua* Willd**



Fuente: Zegarra, 2010.

Las hojas son de carácter polimórfico en una sola planta; las basales son grandes y pueden ser romboidales o triangulares, mientras que las hojas superiores generalmente alrededor de la panoja son lanceoladas. Su color va desde el verde hasta el rojo, pasando por el amarillo y el violeta, según la naturaleza y la importancia de los pigmentos. Son dentadas en el borde pudiendo tener hasta 43 dientes. Contienen además gránulos en su superficie dándoles la apariencia de estar cubiertas de arenilla. Estos gránulos contienen células ricas en oxalato de calcio y son capaces de retener una película de agua, lo que aumenta la humedad relativa de la atmósfera que rodea a la hoja y, consecuentemente, disminuye la transpiración (Rojas, 2011).

Las flores son muy pequeñas y densas, lo cual hacen difícil la emasculación, se ubican en grupos formando glomérulos, son sésiles, de la misma coloración que los sépalos y pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles. Las flores permanecen abiertas por un período que varía de 5 a 7 días, y como no se abren simultáneamente, se determinó que el tiempo de duración de la floración está entre 12 a 15 días (Rojas, 2011).

El fruto es un aquenio indehiscente que contiene un grano que puede alcanzar hasta 2,66 mm de diámetro de acuerdo a la variedad. El perigonio cubre a la semilla y se desprende con facilidad al frotarlo. El episperma que envuelve al grano está compuesto por cuatro capas: la externa que determina el color de la semilla, es de superficie rugosa, quebradiza, se desprende fácilmente con agua, y contiene a la saponina (Rojas, 2011).

La quinua pertenece al género *Chenopodium*, familia *Chenopodiaceae*. El género *Chenopodium* es el principal dentro de esta familia y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies, algunos taxones y poblaciones se caracterizan por tolerar y resistir el ataque de insectos y enfermedades, de heladas y sequías; además poseen características favorables en cuanto al valor nutritivo y duración del ciclo de producción (Rojas, 2011). En lo que respecta a su clasificación taxonómica, es la que se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1**  
**Clasificación taxonómica de la quinua**

<b>División</b>	Magonoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Caryophyllidae
<b>Orden</b>	Caryophyllales
<b>Familia</b>	Chenopodiaceae
<b>Género</b>	Chenopodium
<b>Sección</b>	Chenopodia
<b>Subsección</b>	Cellulata

Fuente: Rojas, 2011.

Dentro del género *Chenopodium* existen especies cultivadas como plantas alimenticias: como productoras de grano, *Chenopodium quinoa Willd* y *Chenopodium pallidicaule Aellen*, en Sudamérica; como verduras *Chenopodium nuttalliae Safford* y *Chenopodium ambrosioides L.* en México; como verduras o medicinales *Chenopodium carnosolum Moq.* Y *Chenopodium ambrosioides L.* en Sudamérica (Rojas, 2011).

### **2.3. DIVERSIDAD GENÉTICA Y VARIEDADES**

La región Andina es considerada como uno de los ocho centros de origen y de diversidad de los cultivos. Es el lugar donde existe la mayor diversidad genética de quinua tanto silvestre como cultivada que todavía se pueden encontrar en condiciones naturales y en campos de cultivo de los agricultores andinos (Zegarra, 2010).

Las evaluaciones de la variabilidad genética disponible permitió agrupar a las quinuas en cinco grupos mayores según sus características de adaptación y algunas morfológicas de alta heredabilidad, fácilmente detectables y capaces de mantenerse en toda el área de difusión (Zegarra, 2010).

A continuación se describen los cinco grupos de quinua:

- **Quinuas de nivel del mar:** Son plantas más o menos robustas, de 1,0 a 1,4 m de altura, de crecimiento ramificado, y producen granos de color crema transparente (tipo Chullpi) (Rojas, 2011).
- **Quinuas de valles interandinos:** Son las que se adaptan entre los 2500 a 3500 msnm, se caracterizan por su alto desarrollo hasta 2,5 m o más de altura y con muchas ramificaciones con inflorescencia laxa y que normalmente presentan resistencia al mildiu (Rojas, 2011).
- **Quinuas de altiplano:** Se desarrollan en áreas mayores como cultivos puros o únicos y, entre los 3600 a 3800 msnm, corresponde a la zona del altiplano peruano-boliviano. En esta área se encuentra la mayor variabilidad de caracteres y se producen los granos más especializados en su uso. En este grupo es donde se encuentra el mayor número de variedades mejoradas (Rojas, 2011).
- **Quinuas de salares:** Son las que crecen en las zonas de los salares al sur del altiplano boliviano, la zona más seca con 300 mm de precipitación. Se cultiva como cultivos únicos a distancias de 1 m x 1 m y en hoyos para aprovechar mejor la escasa humedad. Son quinuas con el mayor tamaño de grano (> a 2,2 mm de diámetro), se las conoce como “Quinoa Real”, sus granos se caracterizan por presentar un pericarpio grueso y alto contenido de saponina (Rojas, 2011).
- **Quinuas de los yungas:** Es un grupo reducido de quinuas que se han adaptado a las condiciones de los Yungas de Bolivia a alturas entre los 1500 y 2000 msnm, y se caracterizan por ser de desarrollo algo ramificado. Alcanzan

alturas de hasta 2,20 m, son plantas verdes, y cuando están en floración toda la planta íntegra, toman la coloración anaranjada (Rojas, 2011).

Entre las principales variedades conocidas en la región Andina, en Bolivia son 22 las variedades obtenidas por mejoramiento genético a través de hibridaciones o selección, estas variedades se detallan en la tabla 2.2 (Rojas, 2011).

Asimismo, se cuenta con un complejo importante de variedades amargas conocidas como “Quinoa Real”, que incluye a varias razas locales: Real Blanca, Mañiqueña, Huallata, Toledo, Mok’o Rosado, Tres Hermanos, K’ellu, Canchis Anaranjado, Pisankalla, Pandela Rosada, Perlada, Achachino, Hilo, Rosa Blanca, Mok’o, Timsa, Lipeña, Chillpi Amapola, Chillpi Rosado, Utusaya y Canchis Rosado (Rojas, 2011).

**Tabla 2.2**  
**Variedades de quinua en Bolivia obtenidas mediante mejoramiento genético**

<b>Nº</b>	<b>Variedad</b>	<b>Material de origen</b>		<b>Año</b>
1	Sajama	0547	0559	1967
2	Samaranti	Selección individual		1982
3	Huaranga	Selección S-67		1982
4	Kamiri	S-67	0005	1986
5	Chucapaca	0086	0005	1986
6	Sayaña	Sajama	1513	1992
7	Ratuqui	1489	Kamiri	1993
8	Robura	Selección individual		1994
9	Jiskitu	Selección individual		1994
10	Amilda	Selección individual		1994
11	Santa Maria	1489	Huaranga	1996
12	Intinayra	Kamiri	F4(28)Xh	1996
13	Surumi	Sajama	Ch'iara	1996
14	Jilata	L-350	1493	1996
15	Jumataqui	Kallcha	26(85)	1996
16	Patacamaya	Samaranti	Kaslala	1996
17	Jacha Grano	1489	Huaranga	2003
18	Kosuña	1489	L-349	2005
19	Kurmi	1489	Marangani	2005
20	Horizontes	1489	L-349	2007
21	Aynoq'a	Selección L-118		2007
22	Blanquita	Selección L-320		2007

Fuente: Rojas, 2011.

En Perú se obtuvieron las siguientes variedades: Amarilla Maranganí, Kancolla, Blanca de Juli, Cheweca, Witulla, Salcedo-INIA, Iplla-INIA, Quillahuaman-INIA, Camacani I, Camacani II, Huariponcho, Chullpi, Roja de Coporaque, Ayacuchana-

INIA, Huancayo, Hualhuas, Mantaro, Huacataz, Huacariz, Rosada de Yanamango, Namora, Tahuaco, Yocar, Wilacayuni, Pacus, Rosada de Junín, Blanca de Junín, Acostambo y Blanca Ayacuchana (Rojas, 2011).

En Ecuador, se obtuvieron las siguientes variedades: Tunkahuan, Ingapirca, Cochasqui, Imbaya, Chaucha, Tanlahua, Piartal, Porotoc, Amarga del Chimborazo, Amarga de Imbabura y Morada. La variedad Tunkahuan está vigente y es la más sembrada en la sierra ecuatoriana. Asimismo, indica que en el año 2004 se liber la variedad Pata de Venado (Rojas, 2011).

#### **2.4. LA SEMILLA DE QUINUA**

La quinua no es propiamente un cereal aunque forme granos o semillas esta denominación de pseudocereal se debe a las bondades peculiares del grano que están dadas por su alto valor nutricional (Rojas, 2011).

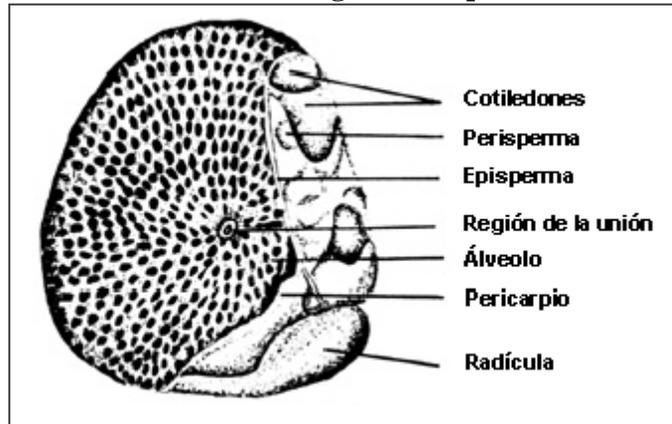
La semilla de la quinua se forma en el perigonio de la planta, este último recubre una sola semilla y se desprende con facilidad al frotarlo cuando est seco (Zegarra, 2010).

La semilla está conformada por tres partes bien definidas tal como se muestra en la figura 2.2 y se describe cada una de estas a continuación:

- *Episperma*: Presenta una capa externa conocida como pericarpio (membrana rugosa, quebradiza y seca que se desprende con facilidad por frotamiento, contiene las saponinas) (Zegarra, 2010).
- *Perisperma*: Ocupa la parte central de la semilla y encierra una masa de gránulos de almidón pequeños (Zegarra, 2010).

- *Endospermo*: Conformado por el embrión, además contiene los cotiledones y la radícula (Zegarra, 2010).

**Figura 2.2**  
**Anatomía del grano de quinua**



Fuente: Zegarra, 2010.

## 2.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA SEMILLA DE QUINUA

Una característica fundamental de la quinua es que el grano, las hojas y las inflorescencias son fuentes de proteínas de muy buena calidad. La calidad nutricional del grano es importante por su contenido y calidad proteínica, siendo rico en los aminoácidos lisina y azufrados (Rojas, 2011).

El análisis bromatológico de este grano muestra su alto valor nutricional, en la tabla 2.3 se detalla el contenido de cada uno de sus componentes en 100 g de grano comestible.

**Tabla 2.3**  
**Composición química de la semilla de quinua**

<b>Componente</b>	<b>Cantidad</b>
Calorías	331,00 Kcal
Humedad	9,80 g
Proteínas	13,00 g
Lípidos	7,40 g
Carbohidratos	64,10 g
Fibra cruda	2,70 g
Cenizas	3,00 g

Fuente: Rubio, 2005.

### **2.5.1. PROTEÍNAS**

La calidad nutricional de un producto depende tanto de la cantidad como de la calidad de sus nutrientes. La quinua presenta el valor de 13,81 g/100 g de materia seca que, comparado con trigo 16,0 g/100 g y Triticale 15,0 g/100 g, no tiene un alto contenido de proteínas (Rojas, 2011).

Entre el 16 y el 20% del peso de una semilla de quinua lo constituyen proteínas de alto valor biológico, entre ellas todos los aminoácidos, incluidos los esenciales, es decir, los que el organismo es incapaz de fabricar y por tanto requiere ingerirlos con la alimentación. Las proteínas de quinua son principalmente del tipo albúmina y globulina. Estas, tienen una composición balanceada de aminoácidos esenciales parecida a la composición aminoacídica de la caseína, la proteína de la leche (Rojas, 2011).

Cien gramos de quinua contienen casi el quíntuple de lisina, más del doble de isoleucina, metionina, fenilalanina, treonina y valina, y cantidades muy superiores de leucina (todos ellos aminoácidos esenciales junto con el triptófano) en comparación con 100 g de trigo. La digestibilidad de la proteína o biodisponibilidad de los

aminoácidos de la quinua varía según la variedad y el tratamiento a que son sometidas (Rojas, 2011).

### **2.5.2. LÍPIDOS**

Es importante recalcar la cantidad relativamente alta de aceite en la quinua, aspecto que ha sido muy poco estudiado, que la convierte en una fuente potencial para la extracción de aceite (Rojas, 2011).

Estudios realizados en el Perú al determinar el contenido de ácidos grasos encontraron que el mayor porcentaje de ácidos grasos presentes en este aceite es el omega 6 (ácido linoleico), en porcentajes muy similares a los encontrados en el aceite de germen de maíz, el omega 9 (ácido oleico) se encuentra en segundo lugar y los valores encontrados para el omega 3 (ácido linolénico) son mayores que las del ácido palmítico. Se encontraron también ácidos grasos en pequeña proporción, como el ácido esteárico y el eicosapentaenoico (Rojas, 2011).

Se comprobó que el 11% de los ácidos grasos totales de la quinua eran saturados, siendo el ácido palmítico el predominante. Los ácidos linoleico, oleico y alfa-linolénico eran los ácidos insaturados predominantes con concentraciones de 52,3, 23,0 y 8,1% de ácidos grasos totales, respectivamente. Se encontraron también aproximadamente 2% de ácido erúxico (Rojas, 2011).

En algunos casos el 82,71% de ácidos grasos en el aceite de quinua pertenece a ácidos grasos insaturados (Rojas, 2011).

En el estudio de 555 accesiones de la colección boliviana de quinua, se encontró que el contenido de grasa fluctuó entre 2,05 a 10,88% con un promedio de 6,39%. El rango superior de estos resultados es mayor al rango de 1,8 a 9,3% reportado, además estos estudios indican que el contenido de grasa de la quinua tiene un alto valor

debido a su alto porcentaje de ácidos grasos insaturados. Estos valores del germoplasma de quinua son esperables en la obtención de aceites vegetales finos para el uso culinario y cosmético (Rojas, 2011).

En las últimas décadas los ácidos grasos insaturados han cobrado gran importancia por la actividad benéfica para el organismo que se les atribuye, al mantener la fluidez de los lípidos de las membranas (Rojas, 2011).

En la composición de los lípidos de quinua dominan los ácidos grasos insaturados tal como indica la tabla 2.4 que esta expresada en % de esteres metílicos; destacando su alto contenido de ácido linoleico y oleico, y moderado de linolénico (Rojas, 2011).

**Tabla 2.4**  
**Composición del aceite de quinua**

<b>Ácidos Grasos</b>		<b>Esteres Metílicos (%)</b>
C12:0	Ácido laúrico	-
C14:0	Ácido mirístico	2,40
C16:0	Ácido palmítico	11,10
C18:0	Ácido esteárico	1,10
C20:0	Ácido eicosanoico	-
C22:0	Ácido docosanoico	0,30
Total Saturados		<b>14,90</b>
C14:1	Ácido miristoleico	1,00
C16:1	Ácido palmitoleico	1,20
C18:1	Ácido oleico	22,80
C20:1	Ácido eicosaenoico	-
C22:1	Ácido erúxico	-
Total Monoinsaturados		<b>25,00</b>
C18:2 n-6	Ácido linoleico	50,50
C18:3 n-9	Ácido linolénico	7,80
Total Poliinsaturados		<b>58,30</b>
Relación Saturados: Monoinsaturados: Poliinsaturados		<b>1,00 : 1,50 : 3,90</b>
Índice de Poliinsaturación		<b>3,90</b>

Fuente: Rojas, 2011.

### **2.5.3. HIDRATOS DE CARBONO**

Los carbohidratos de las semillas de quinua contienen entre un 58 y 68% de almidón y un 5% de azúcares, lo que la convierte en una fuente óptima de energía que se libera en el organismo de forma lenta por su importante cantidad de fibra (Rojas, 2011).

Los gránulos del almidón de la quinua tienen un diámetro de 2  $\mu\text{m}$ , siendo más pequeños que los granos comunes. El almidón de la quinua ha sido estudiado muy poco pero se sabe que el almidón de quinua tiene una excelente estabilidad frente al congelamiento y la retrogradación. Estos almidones podrían ofrecer una alternativa interesante para sustituir almidones modificados químicamente (Rojas, 2011).

La variación genética del tamaño de gránulo de almidón de la colección boliviana de quinua fluctuó entre 1 a 28  $\mu\text{m}$ , permitiendo esta variable dar una orientación agroindustrial para realizar las distintas mezclas con cereales y leguminosas y establecer el carácter funcional de la quinua (Rojas, 2011).

#### **2.5.4. MINERALES**

Si se hace una comparación entre trigo, maíz, arroz, cebada, avena, centeno, triticale y quinua, en la quinua resalta el alto contenido de calcio, magnesio y zinc (Rojas, 2011).

Los análisis realizados a la quinua indican que el contenido de calcio se encuentra entre 46 a 340 mg/100 g de materia seca, en lo que respecta al hierro la quinua contiene el triple que el trigo y el quíntuple que el arroz, el contenido de potasio es el doble que el trigo, el cuádruple que el maíz y ocho veces más que el arroz, los contenidos de magnesio y fósforo son mayores que las de los otros cereales. La cantidad de zinc casi dobla la cantidad contenida en el trigo y cuadruplica la del maíz. En la cantidad de manganeso sólo el trigo supera en este mineral a la quinua mientras el arroz posee la mitad y el maíz la cuarta parte (Rojas, 2011).

#### **2.5.5. VITAMINAS**

En el cuadro 2.1 se presenta el contenido de vitaminas en el grano de quinua expresado en mg por cada 100 g de materia seca.

**Cuadro 2.1**  
**Contenido de vitaminas en el grano de quinua**

<b>Vitaminas</b>	<b>Rango</b>
Vitamina A (carotenos)	0,12 - 0,53
Vitamina E	4,60 - 5,90
Tiamina	0,05 - 0,60
Riboflavina	0,20 - 0,46
Niacina	0,16 - 1,6
Ácido ascórbico	0,00 - 8,50

Fuente: Rojas, 2011.

## **2.6. ASPECTOS GENERALES DE LOS ACEITES**

Los productos a partir de los cuales se producen los aceites son semillas o frutos. En realidad, todas las semillas y frutos contienen aceite, pero sólo los llamados oleaginosos sirven para la producción industrial de aceite (Rojas, 2011).

## **2.7. DEFINICIÓN DE ACEITE**

Los aceites son sustancias de origen vegetal, cuya composición química corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95% de triglicéridos y 5% de ácidos grasos libres, de esteroides, ceras y otros componentes minoritarios (Rojas, 2011).

Los triglicéridos de los aceites son triésteres compuestos por una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos (Rojas, 2011).

## **2.8. ÁCIDOS GRASOS**

Los ácidos grasos son compuestos alifáticos monobásicos, que constan de un solo grupo carboxilo situado en el extremo de una cadena carbonada lineal. Generalmente

contiene de 4 a 24 átomos de carbono dispuestos en cadenas rectas, y que tienen una solubilidad muy baja. En estado libre (no esterificado), aparece solamente en trazas (Iranzo, 2008). Se conocen unos 70 ácidos grasos que se pueden clasificar en dos grupos:

- **Ácidos grasos saturados:** Generalmente son de cadena recta, principalmente con número par de átomos de carbono, aunque también impares se han detectado en materias grasas comestibles de origen animal y marino y algunos ramificados, en general en proporciones pequeñas, del orden del 1%. El largo de cadena se encuentra entre cuatro y veinticuatro átomos de carbono para las materias grasas de consumo habitual (Rubio, 2005).
- **Ácidos grasos insaturados:** Se caracterizan porque en la cadena hidrocarbonada aparece una doble unión C=C, lo cual, fuera de introducir una rigidez en la molécula. La presencia del doble enlace y su configuración en el espacio tiene un efecto notable en el punto de fusión de los ácidos grasos. La mayoría en forma natural presenta la configuración cis y los hace ser líquidos a temperatura ambiente (Rubio, 2005).

Los ácidos grasos insaturados pueden ser monoinsaturados, es decir, tener únicamente una sola doble ligadura en la molécula, o poliinsaturados con dos o más dobles enlaces. Los largos de cadena para los ácidos grasos insaturados habituales en las materias grasas comestibles son más restringidos. Los monoinsaturados se encuentran entre 10 y 22 átomos de carbono y los poliinsaturados entre 16 y 22 átomos de carbono (Rubio, 2005).

La reactividad de un ácido graso no saturado es consecuencia de la posición y el número de sus enlaces dobles: aumenta con el número de dobles enlaces y con la distancia a lo largo de la cadena (Iranzo, 2008).

## **2.9. TRIGLICÉRIDOS**

Los triglicéridos son una clase de compuestos orgánicos, a la cual pertenece el aceite. Se produce por la reacción de un ácido carboxílico (ácido graso) con un alcohol (en este caso la glicerina o glicerol) para dar tres moléculas de agua y un triglicérido (Iranzo, 2008).

Los tres ácidos grasos que componen un triglicérido, no tienen por qué ser iguales (triglicéridos simples), pueden ser todos diferentes (triglicérido mixto), respecto a la longitud de sus cadenas y la saturación de las cadenas que pueden ser insaturadas, saturadas o poliinsaturadas (Iranzo, 2008).

## **2.10. REACCIONES DE LOS ACEITES Y LOS ÁCIDOS GRASOS**

Las reacciones de los aceites y las grasas se describen a continuación.

### **2.10.1. HIDRÓLISIS**

En condiciones apropiadas los triglicéridos de los aceites se pueden hidrolizar, para dar ácidos grasos y glicerol. La reacción es reversible de manera que si no se separan los cuerpos reaccionantes y los productos de la reacción del medio en que esta se realiza, se llega a un equilibrio, que depende de la concentración de los primeros (Bailey, 1951).

### **2.10.2. ESTERIFICACIÓN**

Es la reacción inversa a la hidrólisis, puede alcanzarse completamente por una continua separación del agua de la zona de reacción. Si a continuación de la reacción hidrolítica se sustituye el glicerol por otro alcohol y se provoca la esterificación, se

pueden obtener fácilmente ésteres de los ácidos grasos con alcoholes mono y polivalentes (Bailey, 1951).

### **2.10.3. SAPONIFICACIÓN CON ÁLCALIS**

Si se provoca una reacción entre un aceite y un álcali, en lugar de con agua, se obtienen glicerina y una sal o jabón del metal alcalino con el ácido graso; esta reacción es conocida como saponificación y es la base de la industria del jabón (Bailey, 1951).

### **2.10.4. HIDROGENACIÓN**

La mayor parte de las reacciones que tienen lugar en la cadena de los ácidos grasos son adiciones a los dobles enlaces de los ácidos no saturados; aunque en pocos casos se producen sustituciones en la cadena de los ácidos saturados, remplazándose entonces un átomo de hidrógeno por otro radical monovalente. En general las reacciones de este tipo se producen con igual facilidad con los ácidos libres, que con los glicéridos u otros ésteres o sales de ácidos (Bailey, 1951).

La hidrogenación ocurre en presencia de catalizadores adecuados, el hidrógeno gaseoso se añade fácilmente a los enlaces dobles de los ácidos no saturados, para formar los correspondientes ácidos saturados o al menos reducir su grado de insaturación (Bailey, 1951).

Teóricamente la fijación de hidrógeno es el mejor índice del grado de insaturación de una grasa, puesto que el hidrógeno se adiciona cuantitativamente a los enlaces dobles, sin la posibilidad, como en la de adición de halógenos u otros, de que sea incompleta o se produzca reacciones secundarias de sustitución; sin embargo, el índice de hidrógeno de un aceite, rara vez se determina como una característica analítica,

debido a las dificultades mecánicas que trae consigo la medida exacta del hidrógeno absorbido (Bailey, 1951).

#### **2.10.5. SULFATACIÓN**

Los ácidos no saturados reaccionan fácilmente con el ácido sulfúrico concentrado, produciéndose la introducción del grupo sulfato o sulfonato en el enlace doble. Esta reacción, seguida de la neutralización del éster sulfúrico resultante, con carbonato sódico, se efectúa comercialmente a gran escala, en la preparación de los aceites sulfonados para la industria textil (Bailey, 1951).

#### **2.10.6. OXIDACIÓN QUÍMICA O HIDROXILACIÓN**

Los ácidos grasos no saturados y sus ésteres se oxidan fácilmente, por la acción de los agentes oxidantes corrientes, incluyendo el ácido nítrico y el crómico, el ozono, el permanganato potásico, el peróxido de hidrógeno y los diferentes perácidos como el perbenzoico, persulfúrico, perfórmico y peracético. Los ácidos saturados también pueden oxidarse por los mismos oxidantes, aunque más lentamente (Bailey, 1951).

Cualquier oxidación debe controlarse cuidadosamente, para asegurar la preponderancia del producto deseado; entre otros productos que pueden obtenerse, se encuentran ácidos monobásicos, dibásicos, hidroxiacidos, con cadena más corta que la que era de esperar en condiciones ideales, y otros productos de degradación, además de agua y dióxido de carbono (Bailey, 1951).

#### **2.10.7. OXIDACIÓN ATMOSFÉRICA O ENRANCIAMIENTO**

En la oxidación espontánea de los aceites podemos distinguir entre las que ocurre con las altamente insaturadas (en las que va acompañada de polimerización, generalmente útil) y la que ocurre con otras menos insaturadas en las que conduce al

enranciamiento, que es frecuente de grandes perjuicios en grasas y aceites comestibles. La oxidación a ser considerada será la conducente al enranciamiento y otras clases de maleamiento en el olor y sabor de las grasas (Bailey, 1951).

El desarrollo de la oxidación tiene dos fases distintas, durante la fase inicial también llamado periodo de inducción, la oxidación se efectúa a un ritmo lento y uniforme. Una vez alcanzado un grado de oxidación crítico, la oxidación entra en una segunda fase, caracterizada por un ritmo rápidamente acelerado, muchas veces más que el observado en la fase inicial. El punto en que la grasa comienza a tener olor a rancio coincide con el comienzo de la primera parte de la segunda fase (Bailey, 1951).

El agudo y desagradable olor a rancio, se cree que es debido, principalmente, a la presencia de aldehídos de peso molecular medio y en particular los aldehídos caprílico y caprínico. Estos compuestos e pueden formar por la oxidación y ruptura de una cadena de ácido graso. La cantidad de oxígeno que debe ser absorbido para producir ranciedad varía considerablemente con la composición del aceite, presencia o ausencia de antioxidantes y condiciones bajo las que se lleva a cabo la oxidación, la mayor parte de los antioxidantes, incluyendo los tocoferoles, producen un aumento, no solo en la resistencia a la oxidación, sino también en la cantidad de oxígeno requerido para producir ranciedad (Bailey, 1951).

## **2.11. EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO**

Históricamente, se han usado muchos procesos para extraer el aceite de semillas, pero los tres procedimientos más comunes son los de prensa hidráulica, de fusión y extracción con solventes, todos estos procedimientos tienden a los mismos fines, que son: primero, obtener el aceite sin alteraciones y desprovistos de impurezas; segundo, máximo rendimiento de acuerdo con la economía del proceso; y tercero, conseguir un residuo o torta de máxima calidad. En operaciones a gran escala, la extracción con

solventes es un medio más económico de obtención de aceite que la extracción por presión, y su aplicación va aumentando rápidamente (Rubio, 2005).

## **2.12. PREPARACIÓN DE LAS SEMILLAS OLEAGINOSAS**

Cada uno de los pasos que forman parte de la preparación de las semillas oleaginosas se describen a continuación:

### **2.12.1. LIMPIEZA**

En laboratorio se realiza la limpieza de forma manual para eliminar las impurezas presentes, tales como, piedrecillas, tallos, semillas defectuosas, etc. Todos estos elementos extraños deben ser separados porque pueden originar variaciones en el proceso de extracción (Bailey, 1951).

### **2.12.2. DESCASCARILLADO Y SEPARACIÓN DE LA CASCARILLA**

Antes de la extracción del aceite, las semillas deben descascarillarse, si es posible. La cascarilla no suele contener aceite; corrientemente no más del 1% y sólo la linaza contienen un 22%. A nivel de laboratorio si se intenta separar totalmente la cascarilla, se pierde aceite en una porción de películas que se va con la cáscara. Si se deja una cantidad excesiva de cascarilla, se perderá aceite por absorción en esta. Las semillas de reducido tamaño, así como la quinua, linaza, colza, sésamo, etc. se manipulan sin descascarillar o estas se separan después del tamizado una vez molturadas (Bailey, 1951).

### **2.12.3. SECADO DE LA SEMILLA**

La humedad de las semillas es un factor que afecta a la afinidad entre aceites y el resto de éstos, pudiéndose controlar por medio del secado, es por esta razón que el

objetivo de este proceso se puede resumir en lo siguiente: coagulación de las proteínas de las semillas, agrupando el aceite disperso y haciendo a los sólidos de las semillas permeables al flujo de aceite, pero las proteínas anhidras no se coagulan con facilidad y muestran señales de descomposición por calor entonces lo que se busca es un grado de humedad óptimo ya que el agua ayuda también al paso del aceite a través de la superficie de la materia sólida, por su mayor afinidad fisicoquímica con ésta (Bailey, 1951).

En las semillas existen muchas sustancias, con carácter tenso-activo, tales como fosfátidos y ácidos grasos libres y el grado en que están presentes o llegan a activarse, durante el secado, influye, sin duda, en la tendencia de la semilla a absorber y retener aceite. Se ha observado que, para contenidos equivalentes de aceite, en general, las semillas alteradas dan rendimientos menores que las sanas. La tendencia de las semillas alteradas a retener fuertemente el aceite se debe, probablemente, al gran contenido de éste en ácidos grasos libres u otros agentes tenso-activos (Bailey, 1951).

A nivel de laboratorio el secado se lleva en estufas eléctricas a 105 °C y el periodo de tiempo depende del contenido de humedad al que se debe llegar para que favorezca la extracción del aceite (Bailey, 1951).

#### **2.12.4. MOLIENDA DE LA SEMILLA**

La transformación de las semillas oleaginosas en partículas pequeñas facilita la extracción del aceite, tanto por un efecto de rompimiento ejercido por la trituration, como por la disminución de las distancias que deben recorrer el aceite y el disolvente, dentro y fuera de la semilla. Se ha demostrado que el factor que regula la velocidad de la extracción es, con toda seguridad, la resistencia interna de las partículas, a la difusión molecular del aceite y el disolvente. Sin embargo, se deben tener en cuenta, en la práctica, otros factores, tales como la resistencia mecánica de las partículas y la que opone la masa de ellas al paso del disolvente. Por lo cual, no se suelen triturar las

semillas destinadas a la extracción con disolventes, hasta el grosor mínimo (Bailey, 1951).

Esta operación a nivel de laboratorio se la realiza en un molino de cuchillas, el cual reduce el tamaño de las partículas de las semillas, permitiendo la ruptura de las células que facilita la liberación del aceite (Bailey, 1951).

### **2.13. MÉTODO DE EXTRACCIÓN A NIVEL DE LABORATORIO**

La extracción con disolvente constituye el método más eficaz de obtención de aceite, de cualquier producto oleaginoso, es casi el que presenta mayores ventajas en la manipulación de semillas u otro material con bajo contenido de aceite (Bailey, 1951).

Uno de los métodos principales de laboratorio es la extracción con disolventes, que se define como la acción de separar con un líquido una fracción específica de una muestra, dejando el resto lo más íntegro posible. Se pueden realizar desde los tres estados de la materia, y se llaman de la siguiente manera: Extracción sólido – líquido; extracción líquido – líquido y extracción gas – líquido (Bailey, 1951).

La extracción sólido – líquido, que es la más utilizada para la extracción de aceites, consiste en la separación de uno o más componentes de una muestra sólida mediante un disolvente líquido. Este método tiene dos etapas:

- Contacto del disolvente con el sólido, que cede el componente soluble al disolvente. Esto puede llevarse a cabo a temperatura ambiente o mediante calentamiento, en este caso, a fin de evitar la pérdida del disolvente, suele realizarse una ebullición a reflujo (López, 1994).
  
- Recuperación del soluto de la disolución que está compuesta por el disolvente y la sustancia extraída de la muestra sólida, para tal efecto hay que completar

el proceso con otras técnicas como la destilación y la evaporación (López, 1994).

En la extracción sólido – líquido el proceso se lo realiza de manera continua para evitar el consumo de grandes cantidades de disolvente, estos dispositivos ideados para esta extracción pueden utilizar cantidades pequeñas de disolvente (López, 1994).

### **2.13.1.PRINCIPIO DEL MÉTODO DE EXTRACCIÓN**

El principio que se aplica de manera experimental en un laboratorio, es la difusión, en la que el disolvente debido al movimiento de las partículas atraviesa la semilla y por afinidad forma una mezcla con el aceite, cuya mezcla se difunde al exterior de la semilla para que cada cierto tiempo esta mezcla sea extraída y remplazada por una carga de disolvente nueva (Núñez, 2008).

### **2.14.DISOLVENTES PARA LA EXTRACCIÓN DE ACEITES**

Con frecuencia y particularmente en los laboratorios de investigación, se suelen realizar extracciones no normalizadas, por eso es conveniente saber el rango de los puntos de ebullición de las sustancias que se pueden utilizar en el extractor soxhlet. En la tabla 2.5 se expone una lista, no exhaustiva, de los solventes comunes utilizados en las extracciones con Soxhlet, las mismas que pueden variar dependiendo de la zona donde se encuentren ya que estas son consideradas a 3600 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (Núñez, 2008).

**Tabla 2.5**  
**Punto de ebullición de solventes**

<b>Compuesto</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>Éter</b>	35
<b>Diclorometano</b>	40
<b>Éter de petróleo</b>	35 -40
<b>Cloroformo</b>	62
<b>Metanol</b>	65
<b>Etano – benceno</b>	65
<b>Hexano</b>	69
<b>Etanol tolueno</b>	73
<b>Acetato de etilo</b>	77
<b>Etanol</b>	78
<b>Benceno</b>	80
<b>Ciclohexano</b>	81
<b>Ácido fórmico</b>	101
<b>Dioxano</b>	102
<b>Tolueno</b>	111

Fuente: Núñez, 2008.

El hexano es una de las empleadas y la que generalmente se prefiere en la extracción de aceite de las semillas oleaginosas, el tipo pentano tiene aplicación limitada en la extracción de productos lábiles al calor, tales como algunos productos farmacéuticos. El n-hexano está prácticamente libre de compuestos de nitrógeno o azufre y de hidrocarburos no saturados y dejan por evaporización un residuo inferior al 0,0016 %. Su estabilidad es suficiente como para volverlo a emplear indefinidamente y es asequible en cantidades prácticamente ilimitadas. La única desventaja seria para su empleo es su extrema inflamabilidad; en las instalaciones es necesario tomar toda clase de precauciones para evitar incendios o explosiones (Núñez, 2008).

## 2.15. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE QUINUA

El diagrama de bloques correspondiente a los procesos de extracción de aceite a nivel de laboratorio se presenta en la figura 2.3.

**Figura 2.3**  
**Diagrama de bloques de extracción de aceite de quinua**



Fuente: Núñez, 2008.

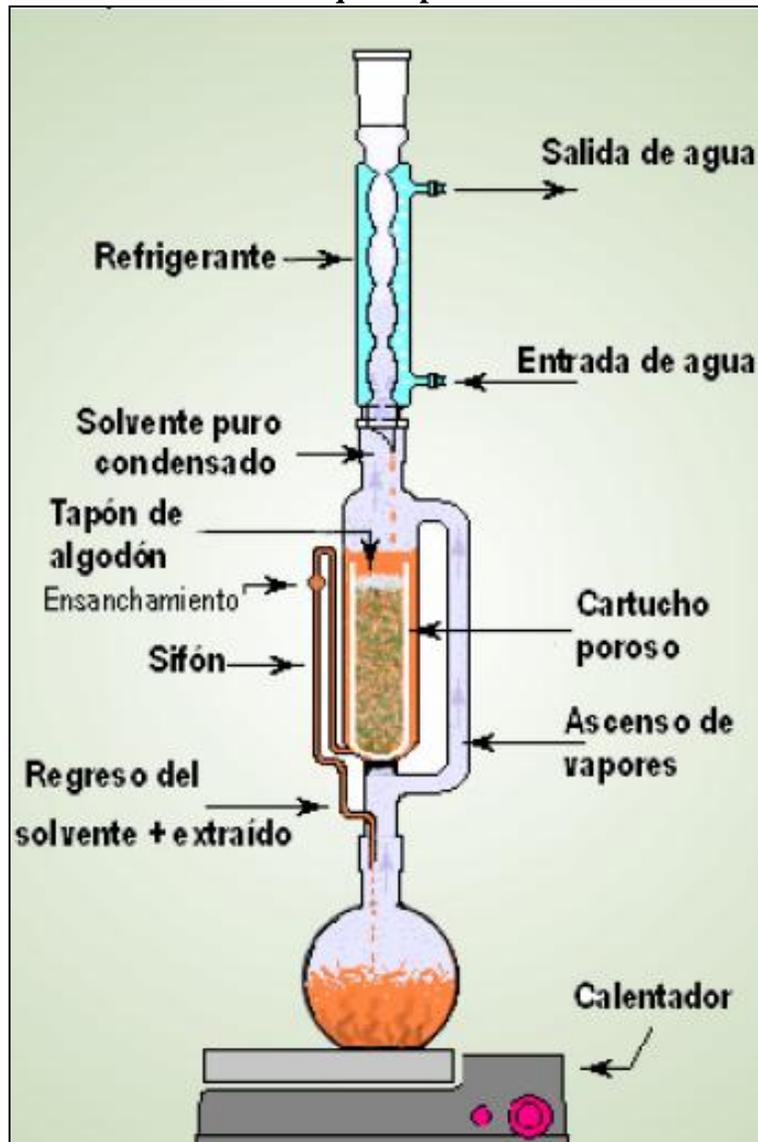
A continuación se tratará de explicar estas etapas de forma pormenorizada, realizando aclaraciones especiales cuando sean necesarias. Para cualquier aclaración en la figura 2.4 se muestra como se debe proceder en el armado del equipo y el momento en que se produce el sifonamiento del solvente (Núñez, 2008).

- **Recepción de la semilla de quinua:** La quinua una vez recibida debe ser almacenada a temperatura ambiente y en un lugar seco.
- **Limpieza:** Se realiza una limpieza manual para eliminar las impurezas presentes, tales como, piedrecillas, semillas defectuosas y otras semillas.
- **Secado:** El secado se lo realiza en estufas eléctricas a 80°C por 3 h hasta llegar a una humedad de alrededor del 8%.
- **Molienda:** Esta operación se efectúa en un molino de cuchillas, el cual reduce el tamaño de las partículas de las semillas de quinua, permitiendo la ruptura de las células lo que facilita la liberación del aceite de éstas, el tamaño promedio de partícula es de 240  $\mu\text{m}$ .
- **Extracción con solvente:** La extracción de aceite se realizó en un extractor soxhlet que es armado como indica la figura 2.4. La quinua molida se introduce en un cartucho de papel filtro en donde se pone en contacto con el solvente, con el cual se realiza la extracción, el proceso continúa hasta que no se observan restos de aceite en papel filtro donde está contenida la semilla molida (Núñez, 2008).
- **Evaporación del solvente:** El solvente mezclado con el aceite extraído es evaporado en un rotavapor, en donde se realiza la separación del solvente y el aceite.

- **Almacenamiento:** El aceite extraído se debe almacenar en botellas de vidrio ámbar y protegidas de la luz.

**Figura 2.4**

**Equipo Soxhlet en el momento en que se produce el sifonamiento del solvente**



Fuente: Núñez, 2008.

## 2.16. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL ACEITE DE QUINUA

Los análisis físicos y químicos que se realizan al aceite de quinua son métodos analíticos que tienen la finalidad de determinar la calidad del aceite ya que cada uno

de estos parámetros tiene intervalos mínimos y máximos con los cuales debe cumplir el producto.

### **2.16.1. ANÁLISIS FÍSICOS EFECTUADOS AL ACEITE DE QUINUA**

Los análisis físicos que se realizan al aceite de quinua se describen a continuación.

#### **2.16.1.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Se realiza el secado de las semillas en estufa a 105°C, hasta que la muestra presente peso constante (González, 2005).

#### **2.16.1.2. DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO**

Se determina mediante la razón entre el peso de una unidad de volumen de muestra a 20°C y el peso de una unidad de volumen de agua a 20°C (González, 2005).

#### **2.16.1.3. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN**

Se determina el índice de refracción como la razón entre la velocidad de un rayo de luz en el vacío y la velocidad de la luz en la sustancia.

### **2.16.2. ANÁLISIS QUÍMICOS EFECTUADOS AL ACEITE DE QUINUA**

Los análisis químicos efectuados al aceite de quinua se describen a continuación.

#### **2.16.2.1. DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS LIBRES**

Los ácidos grasos libres se determinan como ácido oleico (González, 2005).

#### **2.16.2.2. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE PERÓXIDO**

Se determinan todas las sustancias en términos de mili equivalente de peróxido por 1000 g de materia grasa que oxidan el yoduro de potasio (KI) bajo las condiciones de operación. Estas sustancias se asumen como peróxido u otros productos similares de la oxidación de las grasas (González, 2005).

#### **2.16.2.3.DETERMINACIÓN VALOR DE ANISIDINA**

Se determina la cantidad de aldehídos insaturados presentes en el aceite mediante la medición de la absorbancia a 350 nm. De la reacción de los componentes aldehídicos y la *p*-anisidina, en una solución de *n*-hexano. El valor de anisidina es definido por convención como 100 veces la medición de la densidad óptica a 350 nm, en una cubeta de 1 cm, de una solución que contiene 1,0 g de aceite en 100 ml de una mezcla de solvente y reactivo (González, 2005).

#### **2.16.2.4.DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN**

Se determina la cantidad de álcali necesario para saponificar una cantidad definida de materia grasa. Este índice se expresa como los miligramos de hidróxido de potasio (KOH) necesario para saponificar 1 g de muestra (González, 2005).

#### **2.16.2.5.DETERMINACIÓN ÍNDICE DE YODO**

Se determina la insaturación del aceite y constituye los gramos de halógeno, expresados en términos de yodo, que pueden fijar de acuerdo a ciertas especificaciones 100 g de muestra (González, 2005).

#### **2.16.2.6.DETERMINACIÓN DE MATERIA INSAPONIFICABLE**

Determina todas las sustancias que se encuentran disueltas en grasas y aceites y que no pueden ser saponificadas por tratamientos cáusticos usuales, pero son solubles en solventes orgánicos. Dentro de este grupo de compuestos están los alcoholes alifáticos superiores, esteroides, pigmentos e hidrocarburos. Se expresa en 100 g de materia grasa (González, 2005).

#### **2.16.2.7.DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE ÉSTER**

De acuerdo al método descrito por Schmidt Hebbel (1981), este valor se expresa como la diferencia entre los índice de saponificación e índice de acidez. El índice de éster entrega una medida de la cantidad de grasa neutra presente en el aceite y corresponde a los mg de KOH necesarios para saponificar sólo la grasa neutra (González, 2005).

#### **2.16.2.8. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA NEUTRA**

De acuerdo al método descrito por Schmidt Hebbel (1981) se determina multiplicando por 100 el cociente entre el índice de éster e índice de saponificación (González, 2005).

### 3.1. INTRODUCCIÓN

La parte experimental del presente trabajo de investigación, “**Extracción de aceite de quinua a nivel de laboratorio**”, se realizó en el Laboratorio privado de Análisis de Aguas, Suelos y Alimentos “RIMH – Aprotect” de la ciudad de Tarija.

### 3.2. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIAL DE LABORATORIO

Los materiales, equipos e instrumentos del laboratorio que se utilizaron para la realización de la parte experimental del trabajo de investigación, se describen a continuación:

#### 3.2.1. EQUIPOS DE LABORATORIO

Los equipos utilizados en el trabajo experimental son los siguientes:

- **Balanza Analítica:** En la figura 3.1 se muestra la balanza analítica utilizada para el control del peso, en todos los procesos que forman parte de la extracción del aceite de quinua. Las especificaciones técnicas de este equipo, se describen en el cuadro 3.1.

**Cuadro 3.1**  
**Especificaciones técnicas de la balanza analítica**

Características	Detalles
Marca	Nahita
Modelo	PB – 50H
Industria	Española
Potencia	220 V / DC9V
Precisión	0,001g

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.1**  
**Balanza analítica**



Fuente: Elaboración propia.

- **Estufa Eléctrica:** En la figura 3.2, se muestra la estufa eléctrica que se utilizó en el proceso de secado del grano de quinua; y la eliminación del solvente que quedó en la harina de quinua después del proceso de extracción. Las especificaciones técnicas del horno eléctrico, se describen en el cuadro 3.2.

**Figura 3.2**  
**Estufa eléctrica**



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3.2**  
**Especificaciones técnicas de la estufa eléctrica**

Características	Detalles
Marca	Oster
Industria	Brasileira
Potencia	220 V
Temperatura máxima	350 °C

Fuente: Elaboración propia.

- **Tamiz vibratorio:** En la figura 3.3, se muestra el tamiz vibratorio que se utilizó para clasificar granulométricamente la harina de quinua. Las especificaciones técnicas del equipo, se muestran en el cuadro 3.3.

**Figura 3.3**  
**Tamiz vibratorio**



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3.3**  
**Especificaciones técnicas del tamiz vibratorio**

Características	Detalles
Marca	Orto Alresa
Industria	Española
Rango de medida	0,20 – 0,8 mm
Número de tamices	3
Potencia	92 V
Frecuencia	50 Hz

Fuente: Elaboración propia.

- **Molinillo eléctrico:** En la figura 3.4, se muestra el equipo se utilizó para la molturación de la semilla de quinua. Las especificaciones técnicas del molinillo, se describen en el cuadro 3.4.

**Figura 3.4**  
**Molinillo eléctrico**



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3.4**  
**Especificaciones técnicas del molinillo eléctrico**

Características	Detalles
Marca	International
Industria	China
Potencia	220 V
Frecuencia	50 Hz

Fuente: Elaboración propia.

- **Calentador eléctrico termostatzado:** En la figura 3.5, se muestra el calentador eléctrico termostatzado utilizado durante el proceso de extracción y destilación. Las especificaciones técnicas del calentador, se describen en el cuadro 3.5.

**Figura 3.5**  
**Calentador eléctrico termostatzado**



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3.5**  
**Especificaciones técnicas del calentador eléctrico**

<b>Características</b>	<b>Detalles</b>
<b>Marca</b>	Oster
<b>Industria</b>	Brasileira
<b>Potencia</b>	220 V
<b>Temperatura Máxima</b>	500 °C

Fuente: Elaboración propia.

### **3.2.2. INSTRUMENTOS DE LABORATORIO**

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron durante el desarrollo del presente trabajo de investigación son los siguientes:

- **Termómetro:** Este instrumento, es empleado para medir la temperatura y se utilizó durante el proceso de extracción y destilación.

### **3.2.3. MATERIAL DE LABORATORIO**

El material utilizado durante la parte experimental del trabajo de investigación, se detalla en el cuadro 3.6.

**Cuadro 3.6**  
**Material de laboratorio**

<b>Descripción</b>	<b>Capacidad/Tamaño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>
Caja Petri	Mediano	8	Vidrio
Cucharilla	Pequeña	1	Metal
Desecador	Grande	1	Vidrio
Cartuchos	10 g	8	Celulosa
Matraces aforados	250 ml	8	Vidrio
Embudo	Mediano	2	Vidrio
Soxhlet	Mediano	8	Vidrio
Refrigerante	Mediano	8	Vidrio
Pinzas	Mediano	2	Metal
Soporte universal	Grande	4	Metal
Recipiente	Mediano	2	Plástico
Frascos ámbar	Pequeños	8	Vidrio

Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. MATERIA PRIMA (GRANO DE QUINUA)**

La materia prima que se utilizó en el trabajo de investigación fue la quinua real, adquirida del Mercado Campesino de la ciudad de Tarija; cabe indicar que de acuerdo a datos del envase la quinua procedía de la ciudad de Oruro.

### **3.4. REACTIVOS QUÍMICOS**

Los solventes utilizados para la extracción de aceite de quinua fueron:

- **n-Hexano:** Reactivo químico utilizado como solvente en la extracción de aceites de semillas de formula química  $C_6H_{14}$ . Es un líquido incoloro y

transparente de olor característico e inmiscible en agua. En lo que se refiere a sus propiedades fisicoquímicas, se detalla en el cuadro 3.7.

**Cuadro 3.7**  
**Propiedades físicas y químicas del n-Hexano**

Propiedades	Rango
Densidad a 20 °C	0,66 gr/cm <sup>3</sup>
Punto de ebullición	(63 – 69)°C
Punto de fusión	-95 °C
Temperatura de inflamación	-22 °C
Temperatura de ignición	240 °C
Límite de explosión	(1,1/7,4)% volumen

Fuente: Núñez, 2008.

Este reactivo cuenta con indicaciones de peligro que son: elevada toxicidad si es ingerido o si se absorben sus vapores, altamente inflamable y muy volátil. Por lo que resulta oportuno aclarar que durante su manipulación, se tomaron las precauciones para evitar los riesgos indicados anteriormente.

- **Etanol:** Compuesto químico conocido como alcohol etílico, que en condiciones normales de presión y temperatura se presenta como un líquido; es incoloro e inflamable, olor característico y miscible en agua. En lo que respecta a sus propiedades físicas y químicas, se detallan en el cuadro 3.8.

**Cuadro 3.8**  
**Propiedades físicas y químicas del etanol**

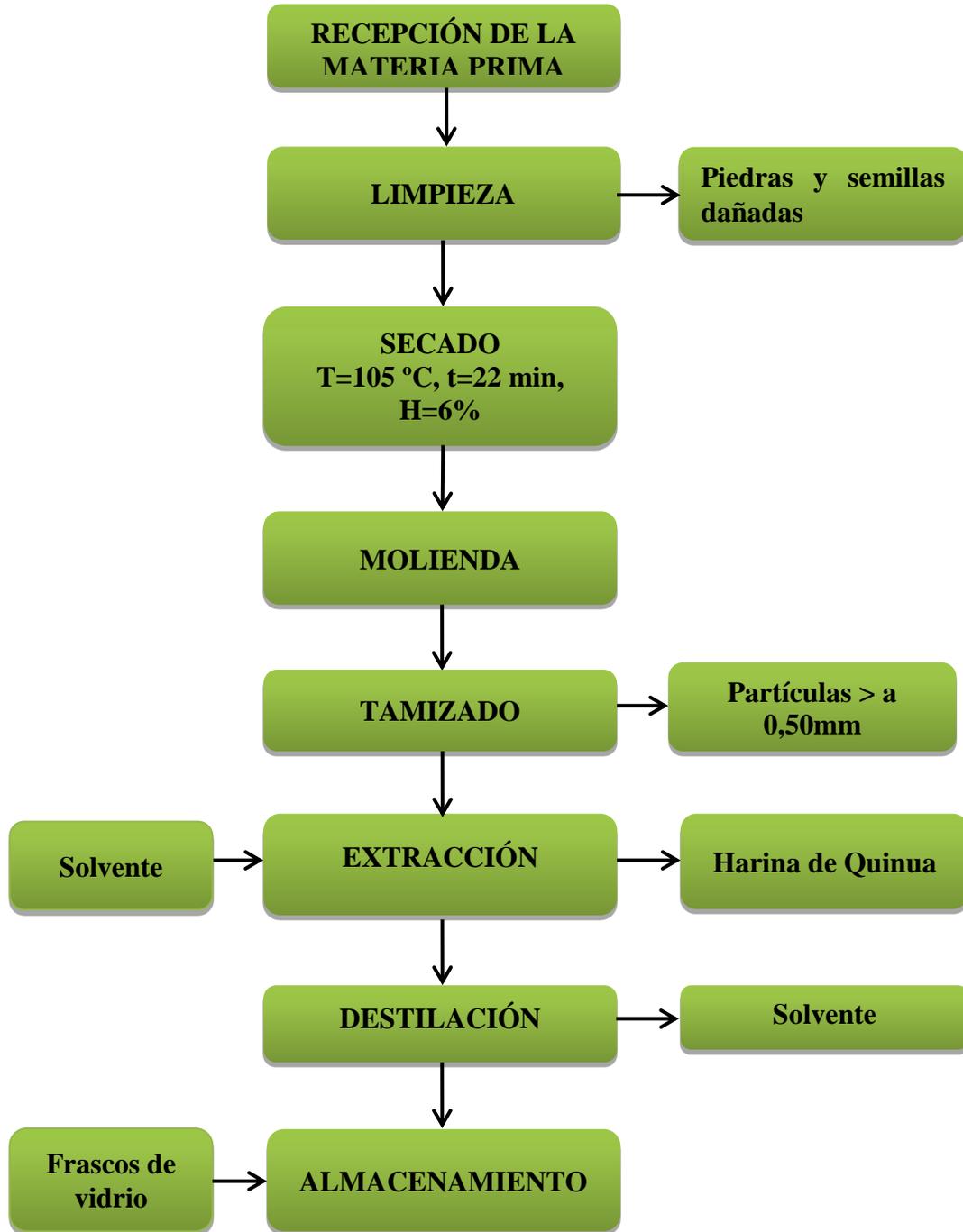
Propiedades	Rango
Densidad	789,00 kg/m <sup>3</sup>
Punto de ebullición	78,6 °C
Punto de fusión	-114,1 °C
Temperatura de inflamación	22 °C
Temperatura de ignición	241 °C
Límite de explosión	(1,1/7,4)% volumen

Fuente: Núñez, 2008.

### **3.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE QUINUA A NIVEL DE LABORATORIO**

El diagrama de bloques que se muestra en la figura 3.6, representa el proceso de obtención de aceite de quinua que fue adaptado por (Núñez, 2008).

**Figura 3.6**  
**Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de quinua**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.6. DESCRIPCIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE QUINUA**

Los procesos que forman parte de la obtención de aceite de quinua, se describen a continuación:

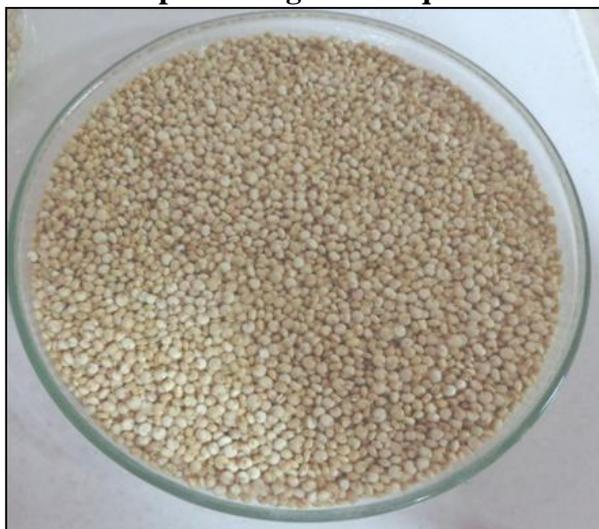
#### **3.6.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

La materia prima que se utilizó para la obtención de aceite fue la quinua real, con denominación científica *Chenopodium quinua Willd*, adquirida en el Mercado Campesino de la ciudad de Tarija.

#### **3.6.2. LIMPIEZA**

La limpieza, se realizó de forma manual mediante el uso de cajas Petri de 12x3cm (figura 3.7) y dentro de estas se introdujo alrededor 10g de quinua; y de manera minuciosa se retiraron las impurezas, tales como piedrecillas, cuerpos metálicos y semillas dañadas.

**Figura 3.7**  
**Limpieza del grano de quinua**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.6.3. SECADO**

Para realizar el secado del grano de quinua, se aplicó el método gravimétrico en base a la norma boliviana (NB 028–88), que consistió en pesar 25g de materia prima dentro de una caja Petri, previamente tarada y llevarla a una estufa eléctrica a 105 °C durante 20 min (tiempo necesario para regular el contenido de humedad del grano de quinua desde 10 % hasta 6 %). Posteriormente, se retiraron las cajas Petri y se conservaron cerradas dentro de un desecador de laboratorio hasta el momento en que se realizó la molienda.

### **3.6.4. MOLIENDA**

El objetivo principal y único de la molienda, es reducir el tamaño del grano de quinua para aumentar la superficie de contacto con el solvente y se reduzca el tiempo de extracción. Para este fin, la semilla obtenida del secado pasó por el proceso de molienda; en donde se utilizó un molinillo eléctrico con el fin de moler el grano hasta obtener harina de quinua con un tamaño de partícula entre (0,20 y 0,50) mm, por un tiempo de 40 min.

### **3.6.5. TAMIZADO**

La harina de quinua obtenida en la molienda pasó por un tamiz vibratorio a 200rpm (equipo provisto de 3 tipos de platos) cada uno de estos con una abertura de malla: 0,20 mm; 0,50 mm y 0,80mm. Con la finalidad de realizar una clasificación granulométrica. El tiempo de tamizado fue de 15 min. Posteriormente, las partículas mayores a 0,5 mm, se recircularon al proceso de molienda hasta obtener una harina con el tamaño de partícula deseado.

### 3.6.6. EXTRACCIÓN

Para el proceso de extracción de aceite de quinua, se aplicó el método gravimétrico; mediante el uso de un equipo soxhlet como se muestra en la figura 3.8.

**Figura 3.8**  
**Equipo soxhlet**



Fuente: Elaboración Propia.

El calentador eléctrico termostatzado, es capaz de trabajar con un solo equipo soxhlet; no obstante para evitar el consumo excesivo de agua por parte del refrigerante. En tal sentido, se armó una batería de cuatro equipos extractores sobre el calentador y cada uno de los componentes que forman parte del equipo extractor que se detallan a continuación:

### 3.6.6.1. CARTUCHO DE EXTRACCIÓN

Primeramente, se elaboró el cartucho de celulosa que se utilizó como contenedor de la muestra dentro del equipo, este cartucho consiste en un recipiente cilíndrico con base semiesférica para que apoye perfectamente en la base del extractor. En esta parte, se utilizó papel higiénico de doble hoja marca “Elite” y con la ayuda de un tubo de ensayo de dimensiones 8 x 2 cm (figura 3.9), similares al extractor soxhlet, y se procedió a moldear el cartucho de 8 capas de grosor utilizando agua destilada para humedecer el papel; pero solo en los puntos que se debió unir en la base. Seguidamente fueron llevados los cartuchos al secado en una estufa eléctrica a 105 °C, durante 4 h para eliminar el agua que se utilizó para elaborarlo.

**Figura 3.9**  
**Cartuchos para equipo soxhlet**



Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.6.2. CARGADO DE LA HARINA DE QUINUA

Considerando la capacidad del cartucho obtenido después del secado, el cargado se realizó pesando 10g de harina de quinua y con la ayuda de una espátula se introdujo dentro del cartucho. Seguidamente, utilizando un tapón de algodón previamente humedecido con solvente que se pasó por la caja Petri para retirar restos de aceite y cerrar el cartucho; con la finalidad de evitar que la harina tienda a flotar y sea arrastrado por el solvente en el proceso de extracción.

Los cartuchos, se codificaron de acuerdo al tamaño de partícula de harina que contenía cada uno; para luego introducirlos en el extractor Soxhlet, como se muestra en la figura 3.10.

**Figura 3.10**  
**Cartuchos con harina dentro del Soxhlet**

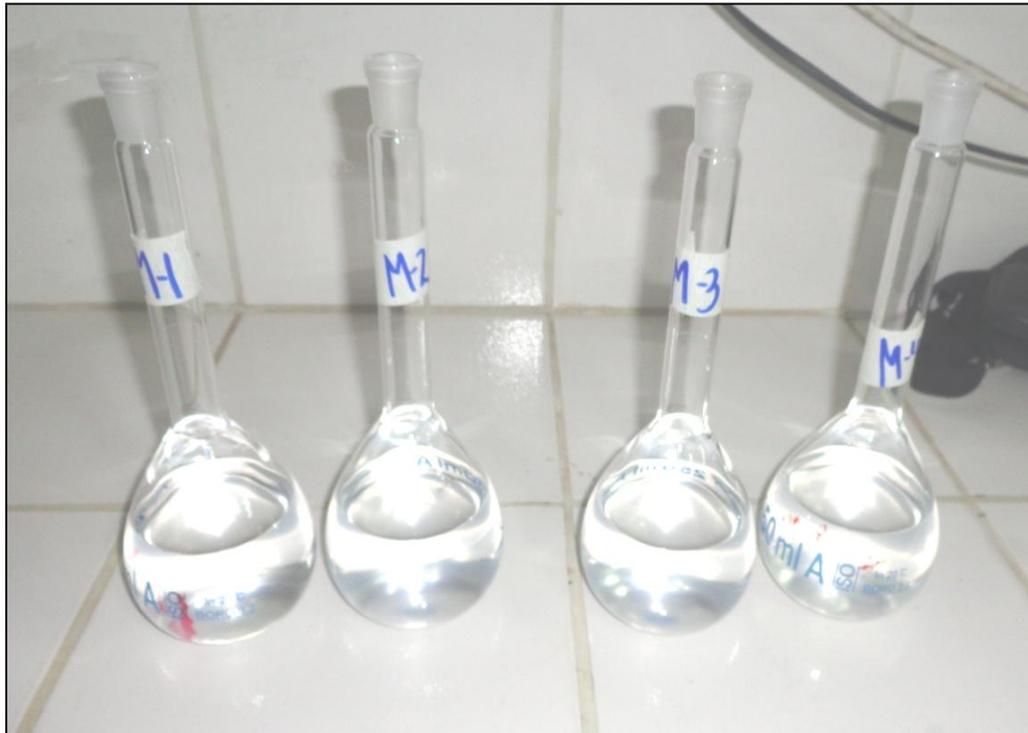


Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.6.3. TIPO Y CANTIDAD DE SOLVENTE

Para la obtención de aceite de quinua, se utilizaron dos tipos de solventes: n-Hexano (75% de pureza) y etanol (96% de pureza). De acuerdo a esto, se procedió a verter aproximadamente 230 ml de solvente en un matraz aforado de boca esmerilada de 250ml; esta cantidad fue tomada en cuenta en una relación 1:15 (harina de quinua “g”/solvente “ml”). Esto es muy importante para que el solvente al ascender al cartucho y antes de que se haga la sifonada no quede seco el matraz en su interior; porque la muestra se pueda quemar, o caso contrario debido al calentamiento pueda ocasionar una explosión. Finalizado el cargado del solvente, los matraces fueron codificados (figura 3.11) de acuerdo a la fuente extractora a la que iban a ser conectados en el equipo soxhlet.

**Figura 3.11**  
**Matraces esmerilados conteniendo n-Hexano**



Fuente: Elaboración propia.

#### 3.6.6.4. MONTAJE DEL EQUIPO SOXHLET

El montaje del equipo soxhlet (figura 3.12), se realizó utilizando un calentador eléctrico termostatzado, sobre el cual se colocaron dos soportes universales y se situaron los matraces que contenían el solvente. Seguidamente, se procedió a incorporar los extractores sobre la parte superior de cada uno de los balones, asegurando el ajuste por medio de sus boquillas esmeriladas, para finalmente adicionar los refrigerantes mediante tapones de goma (cilíndrico perforado), para evitar el posible escape de los vapores del solvente durante la extracción.

**Figura 3.12**  
**Equipo soxhlet para extracción de aceite de quinua**



Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, se realizaron las conexiones de los refrigerantes en serie (figura 3.13). Este proceso es más práctico, ya que se utilizan menos mangueras y requiere de una sola canilla de entrada y salida (desagüe).

**Figura 3.13**  
**Conexiones de refrigeración en serie**



Fuente: Elaboración propia.

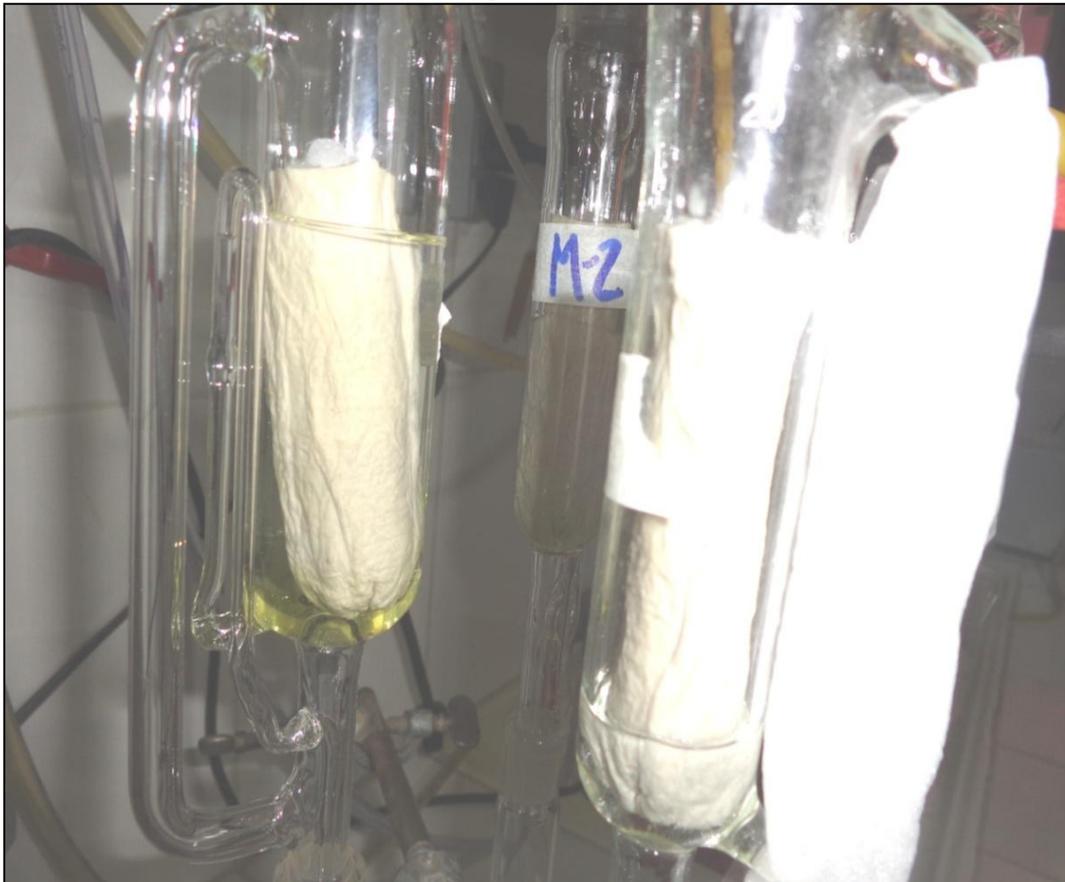
#### **3.6.6.5. FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO SOXHLET**

Una vez armada la batería de equipos soxhlet, se procedió a abrir el grifo para regular el flujo de agua de entrada y salida de los refrigerantes. Posteriormente, con la finalidad de elevar la temperatura del solvente se programó el calentador eléctrico termostatzado hasta 150 °C, transcurridos aproximadamente 20 min después del calentamiento comenzó el proceso de ebullición del solvente con la consecuente

evaporación del mismo, que sube por las paredes del extractor soxhlet hasta llegar al refrigerante donde condensa el solvente y desciende en forma de gotas sobre el cartucho.

Transcurrido 5 min de la condensación el cartucho se encontraba completamente sumergido en solvente hasta un punto en que el soxhlet alcanzó su tope de llenado y se produjo la primera sifonada (figura 3.14).

**Figura 3.14**  
**Sifón cargado de solvente**



Fuente: Elaboración propia.

#### **3.6.6.6. REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD DE EXTRACCIÓN**

Para regular la velocidad de extracción, se eleva la temperatura del calentador eléctrico hasta 215 °C; con la finalidad de que las sifonadas se produzcan cada 3 min

según (Gómez, 2009), que indica que es el tiempo adecuado para que el disolvente se difunda a través de todo el lecho del cartucho y extraiga el material que se solubilice en él.

El proceso de extracción, se finaliza aproximadamente durante 4 h después que se reguló la velocidad, seguidamente se apaga el calentador para bajar la temperatura de la batería de equipos soxhlet y se conserva abierto el grifo de agua durante 20 min. Posteriormente, se desarmó el equipo y los matraces que contenían el solvente más el aceite extraído fueron refrigerados hasta el momento de destilación. Los cartuchos del extractor se retiraron con la ayuda de una pinza, luego se llevaron a una estufa eléctrica a 105 °C durante 5 h con el fin de evaporar todo el solvente remanente que haya quedado en la harina de quinua.

### **3.6.7. DESTILACIÓN**

Para realizar el proceso de destilación, se utilizaron en forma individual los matraces (que contenían el solvente más aceite); obtenidos del proceso de extracción para tal efecto, se describe a continuación el armado del equipo.

#### **3.6.7.1. ARMADO DEL EQUIPO DE DESTILACIÓN**

Para armar el equipo de destilación (figura 3.15), se utilizó un calentador eléctrico termostatzado, sobre el cual se ubica un matraz con la muestra; conectando en forma horizontal a un refrigerante sujetado por un soporte universal por el cual que circulará agua a 15 °C, para condensar los vapores del solvente. Seguidamente con la ayuda de un pinza tipo nuez y unida a un soporte universal, se incorpora un balón colector sumergido en baño de agua fría, este último se unió al refrigerante mediante una boquilla de boca esmerilada.

**Figura 3.15**  
**Equipo de destilación**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.6.7.2. PROCESO DE DESTILACIÓN**

El proceso de destilación consistió en ajustar la temperatura del calentador eléctrico termostatzado a 160 °C, con la finalidad de llevar a ebullición la solución homogénea entre solvente y aceite. Transcurridos 15 min de iniciado el proceso, el solvente empieza a evaporarse para luego condensarse en el parte intermedia del refrigerante y saliendo hacia el balón colector (sumergido en baño de agua fría) el solvente líquido.

Este proceso dura alrededor de 90 min en donde el indicador del punto final de la destilación, es cuando se observa una recuperación casi completa del solvente en el balón colector y una concentración del color del aceite en el matraz (figura 3.16).

**Figura 3.16**  
**Punto final de la destilación**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.6.8. AIREACIÓN**

El proceso de aireación consistió en llevar el aceite obtenido del proceso de destilación a una caja Petri de 12 x 8 cm (figura 3.17) y dejarlo a temperatura ambiente alrededor de 6 h; con la finalidad de eliminar el resto del solvente remanente. El punto final de la aireación, se comprueba al observar una elevada concentración del color del aceite y una disminución del olor del solvente.

**Figura 3.17**  
**Aireación del aceite**



Fuente: Elaboración propia.

### **3.6.9. ALMACENAMIENTO**

El aceite obtenido fue almacenado en frascos de vidrio color ámbar con la finalidad de protegerlo de la oxidación y la consiguiente rancidez.

### **3.7. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES**

Los métodos utilizados en el presente trabajo para la obtención de datos y resultados, se describen a continuación.

### 3.7.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de la materia prima para evaluar su composición y los análisis se realizaron en el Laboratorio RIMH – Aprotec de la ciudad de Tarija. Los parámetros, métodos y normas que se consideraron para ser determinados están descritos en el cuadro 3.9.

**Cuadro 3.9**  
**Análisis fisicoquímico de la quinua**

Componentes	Métodos	Unidades	Normas
Humedad	Gravimétrico	%	NB 028 – 88
Proteína	Volumétrico	%	NB 466 – 81
Hidratos de carbono	Cálculo	%	Cálculo
Fibra	Gravimétrico	%	Manual RIMH – Aprotec
Ceniza	Gravimétrico	%	NB 075 – 74

Fuente: Laboratorio RIMH – Aprotec, 2013.

### 3.7.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL ACEITE DE QUINUA

Se determinaron las propiedades fisicoquímicas del aceite crudo de quinua, para evaluar el grado de insaturación de sus ácidos grasos y otras características fisicoquímicas como: índice de rancidez, índice de peróxidos, índice de saponificación. Los análisis, se realizaron en el Laboratorio RIMH–Aprotec de la ciudad de Tarija y en el Centro de Alimentos y Productos Naturales (CAPN), que pertenece a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba. Los parámetros que se consideraron a ser determinados y las normas y métodos utilizados están descritos en el cuadro 3.10.

**Cuadro 3.10****Normas y métodos para determinar los parámetros fisicoquímicos del aceite de quinua**

Componente	Método	Unidades
Ácidos Grasos saturados	Cromatografía gaseosa	%
Ácidos grasos insaturados	Cromatografía gaseosa	%
Rancidez	NB 204 – 77	%
Acidez	NB 166 – 77	%
Índice de peróxidos	Manual RIMH – Aprotéc	MeqO <sub>2</sub> /kg aceite

Fuente: Laboratorio C.A.P.N., 2013.

### 3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sean posibles observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 1991).

Suele ser posible visualizar el proceso como una combinación de métodos que transforman alguna entrada (a menudo un material) en una salida que tiene una o más respuestas observables. Algunas de las variables del proceso  $X_1, X_2, \dots, X_p$  son controlables, mientras que otras  $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$  son incontrolables (aunque puedan ser controlables para los fines de prueba) (Montgomery, 1991).

En los objetivos de un diseño experimental pueden incluirse:

- Determinar cuáles variables tienen mayor influencia en la respuesta “y”.
- Determinar el mejor valor de las “x” que influyen en “y” de modo que “y” tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.
- Determinar el mejor valor de las “x” que influyen en “y” de modo que la variabilidad de “y” sea pequeña.
- Determinar el mejor valor de las “x” que influyen en qué modo que se minimicen los efectos de las variables incontrolables.

### 3.8.1. DISEÑO FACTORIAL

Los diseños factoriales, son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Se conocen distintos métodos generales para el análisis de diseños factoriales, sin embargo, existen varios casos especiales del diseño factorial general que resultan importantes porque se usan ampliamente en el trabajo de investigación, y porque constituyen la base para otros diseños de gran valor práctico (Montgomery, 1991).

El más importante de estos casos especiales ocurre cuando se tiene  $k$  factores, cada uno con dos niveles. Estos niveles pueden ser cuantitativos como sería el caso de dos valores de temperatura, presión o tiempo. También pueden ser cualitativos como sería el caso de dos máquinas, dos operadores, los niveles “superior” e “inferior” de un factor o, quizás, la ausencia o presencia de un factor (Montgomery, 1991).

Una réplica completa de tal diseño requiere que se recopilen:  $2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  observaciones, que según Montgomery, es un diseño factorial conocido como:

$$2^k \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Dónde:

$k$  = Número de parámetros o factores

$2$  = Número de niveles

Uno de los diseños de la serie  $2^k$ , es el  $2^3$ , que indica que tiene 3 factores o parámetros, cada uno con dos niveles (Montgomery, 1991).

### 3.8.2. DISEÑO EXPERIMENTAL EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE QUINUA

Para la realización del diseño experimental en el proceso de extracción de aceite de quinua, se aplicó el siguiente diseño factorial:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos o pruebas}$$

Donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

- Tamaño de la partícula (T) = 2 niveles
- Tiempo (t) = 2 niveles
- Tipo de solvente (S) = 2 niveles

En la tabla 3.1, se exponen los niveles de variación de los factores en el proceso de extracción de aceite de quinua.

**Tabla 3.1**  
**Niveles de variación de los factores en el proceso de extracción**

Factor	Primer nivel	Segundo nivel
Tamaño de la partícula	0,20 mm	0,50 mm
Tiempo	3,5 h	4,5 h
Tiempo de solvente	n-Hexano	Etanol

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3.2, se muestra la matriz del diseño experimental que se aplicó en la etapa de extracción del aceite de quinua:

**Tabla 3.2**  
**Matriz de variables para el proceso de extracción de aceite de quinua**

Corridas	Combinación de tratamientos	Factores			Interacción de los efectos				Respuesta
		T	t	S	Tt	TS	ts	TtS	$Y_i$
1	(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1	$Y_1$
2	a	1	-1	-1	-1	-1	1	1	$Y_2$
3	b	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	$Y_3$
4	ab	1	1	-1	1	-1	-1	-1	$Y_4$
5	c	-1	-1	1	1	-1	-1	1	$Y_5$
6	ac	1	-1	1	-1	1	-1	-1	$Y_6$
7	bc	-1	1	1	-1	-1	1	-1	$Y_7$
8	abc	1	1	1	1	1	1	1	$Y_8$

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

$Y_i$  = Porcentaje de aceite extraído (%)

#### 4.1. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 4.1, se detallan los resultados de los análisis fisicoquímicos de la quinua extraídos del (Anexo A).

**Tabla 4.1**  
**Composición fisicoquímica de la quinua**

Componentes	Proporción
Humedad	10,56 %
Hidratos de carbono	64,51 %
Proteína	13,00 %
Fibra	2,70 %
Cenizas	3,10 %

Fuente: Laboratorio RIMH–Aprotec, 2013.

Como se puede observar en la tabla 4.1 el contenido de humedad de la quinua, es del 10,55 %; esto indica que el grano está de acuerdo a las normas para ser almacenado. Según (Gonzales, 2005), manifiesta que el contenido de humedad del grano de quinua al momento del envasado no debe ser mayor al 12%; debido a que acelera una serie de reacciones bioquímicas, como fermentaciones y oxidaciones.

Así mismo, en la tabla 4.1 se observa que el componente mayoritario son los hidratos de carbono con el 64,51 %, seguido por las proteínas con el 13 %, las cenizas con el 3,10 % y finalmente la fibra el 2,70 %.

#### 4.2. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DEL GRANO DE QUINUA

Para ajustar el contenido de humedad del grano de quinua hasta un 6 %, se aplicó un tratamiento térmico que se realizó en una estufa eléctrica a 105 °C. El tiempo del tratamiento térmico para ajustar la humedad, se determinó aplicando un método basado en la determinación gravimétrica de la pérdida de masa del grano, hasta peso constante. En la tabla 4.2 se muestra los datos obtenidos del secado.

**Tabla 4.2**  
**Variación del peso en función del tiempo**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Muestra (g)</b>
<b>0</b>	4,18
<b>30</b>	3,92
<b>60</b>	3,86
<b>90</b>	3,82
<b>120</b>	3,80
<b>150</b>	3,79
<b>180</b>	3,78
<b>210</b>	3,75
<b>240</b>	3,74
<b>270</b>	3,73

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 4.2, los datos de la variación del peso se tomaron cada 30 minutos, durando así todo el proceso 5 horas

#### **4.2.1. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Para calcular el contenido de humedad del grano de quinua (en base húmeda), se utilizaron los datos de la tabla 4.2 y se aplicó la ecuación 4.1 citada por Barderas, 1994.

$$H = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \% \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

H = Contenido de humedad (%)

P<sub>i</sub> = Peso de la muestra antes de secar (g)

P<sub>f</sub> = Peso de la muestra después de secar (g)

Los cálculos realizados a distintos tiempos y utilizando las variaciones de las masas, que se encuentran tabulados en la tabla 4.2, se detallan a continuación:

Para el tiempo  $t = 0$  se repite el valor del contenido de humedad de acuerdo a la tabla 4.1.

$$\text{Para } t = 30 \text{ min:} \quad H = \frac{3,92 - 3,73}{3,92} \times 100 \% = \mathbf{4,75\%}$$

$$\text{Para } t = 60 \text{ min:} \quad H = \frac{3,86 - 3,73}{3,86} \times 100 = \mathbf{3,34\%}$$

$$\text{Para } t = 90 \text{ min:} \quad H = \frac{3,82 - 3,73}{3,82} \times 100 = \mathbf{2,35\%}$$

$$\text{Para } t = 120 \text{ min:} \quad H = \frac{3,80 - 3,73}{3,80} \times 100 = \mathbf{1,76\%}$$

$$\text{Para } t = 150 \text{ min:} \quad H = \frac{3,79 - 3,73}{3,791} \times 100 = \mathbf{1,53\%}$$

$$\text{Para } t = 180 \text{ min:} \quad H = \frac{3,78 - 3,73}{3,78} \times 100 = \mathbf{1,27\%}$$

$$\text{Para } t = 210 \text{ min:} \quad H = \frac{3,75 - 3,73}{3,75} \times 100 = \mathbf{0,45\%}$$

$$\text{Para } t = 240 \text{ min:} \quad H = \frac{3,74 - 3,73}{3,74} \times 100 = \mathbf{0,21\%}$$

$$\text{Para } t = 270 \text{ min:} \quad H = \frac{3,74 - 3,73}{3,74} \times 100 = \mathbf{0,11\%}$$

En la tabla 4.3, se muestran los resultados de la variación del contenido de humedad (base húmeda) en porcentaje y en función del tiempo de secado.

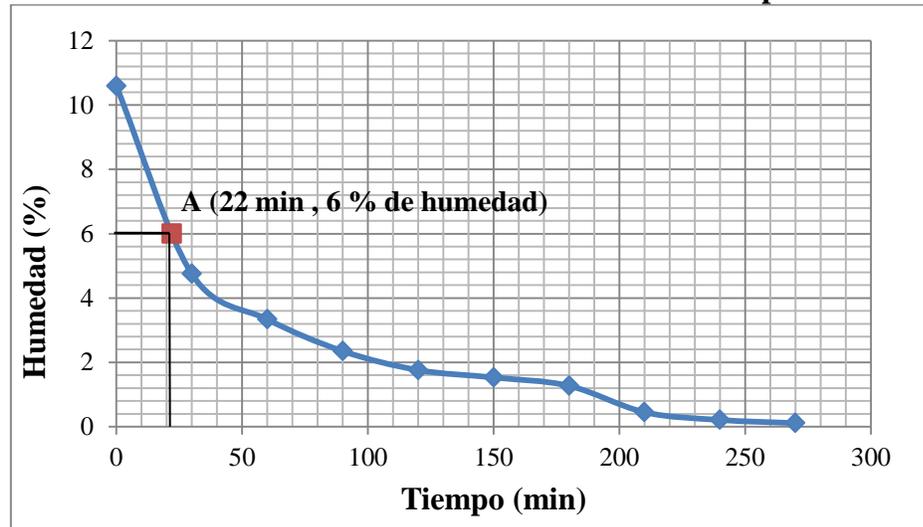
**Tabla 4.3**  
**Variación de la humedad en función del tiempo**

<b>Tiempo (minutos)</b>	<b>Humedad (%)</b>
<b>0</b>	10,59
<b>30</b>	4,75
<b>60</b>	3,34
<b>90</b>	2,35
<b>120</b>	1,76
<b>150</b>	1,53
<b>180</b>	1,27
<b>210</b>	0,45
<b>240</b>	0,21
<b>270</b>	0,11

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.1, se muestra la variación de la humedad en función del tiempo, elaborada con los datos tabulados de la tabla 4.3.

**Figura 4.1**  
**Variación de la humedad en función del tiempo**



Fuente: Elaboración propia.

Mediante la figura 4.1, se puede obtener que el tiempo de secado corresponde a la intersección en el punto A (22, 6), que indica una humedad del 6 % y tiempo de 22 minutos.

### **4.3. CLASIFICACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA HARINA DE QUINUA**

Según (Rubio, 2005), para aumentar la eficiencia de la extracción del aceite de quinua es necesario que el tamaño de partícula sea menor a 1 mm; considerando que mediante esta disminución de tamaño se aumenta la superficie de contacto de la semilla de quinua con el solvente lo que finalmente se traduce en un mayor rendimiento.

A nivel experimental después del secado de la semilla de quinua, se procedió a realizar el proceso de molienda para la obtención de harina de quinua la cual fue tamizada utilizando mallas con tamaños de abertura de 1 mm; 0,50 mm y 0,20 mm. Los resultados obtenidos de la clasificación granulométrica después del proceso se muestran en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4**  
**Clasificación granulométrica de la harina de quinua**

<b>Tamaño de malla</b>	<b>Harina g</b>	<b>Harina %</b>
0,20 mm	92,45	28,89
0,50 mm	151,71	47,41
0,80 mm	72,67	22,71
1,00 mm	3,17	0,99
<b>Total</b>	<b>40,83</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.4 se puede observar, que una vez realizada la clasificación granulométrica, se obtuvo una mayor retención de harina de quinua en el tamaño de malla de 0,50 mm con el 47,41 %; seguido por el tamaño de 0,20 mm con el 28,89 %; el tamaño de malla de 0,80 mm del 22,71 % y finalmente en menor cantidad el tamaño de 1 mm con el 0,99 %.

En tal sentido, para el proceso de extracción del aceite de quinua se procedió a utilizar harina con los tamaños de partícula de: 0,50 mm y 0,20 mm (establecidos a partir de revisión bibliográfica); esto con la finalidad de determinar si existen diferencias en los rendimientos de extracción o si existe algún problema durante la extracción por causa del tamaño de partícula.

#### **4.4. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE QUINUA**

Para determinar el efecto conjunto de las variables (tamaño de partícula, tipo de solvente y tiempo de extracción) sobre el proceso de extracción se utilizó el diseño factorial  $2^3$  con dos replicas por cada prueba, en función de la variable respuesta: porcentaje de aceite extraído (%), que fue calculado aplicando la ecuación 4.2 (Barderas, 1994):

$$R = \frac{\text{producto obtenido}}{\text{materia prima empleada}} \times 100 \%$$

Ecuación 4. 2

Dónde:

Producto obtenido = Aceite extraído (g)

Materia prima empleada = Harina de quinua utilizada (g)

Los resultados obtenidos en % de aceite extraído para cada replica están expresados en la tabla 4.5.

**Tabla 4.5**  
**Porcentaje de aceite extraído en el proceso de extracción**

Combinación de tratamientos	Variables			Réplica I	Réplica II	Variable Respuesta
	T (mm)	t (h)	S			
(1)	0,20	3,50	n-Hexano	10,08	9,88	19,96
T	0,50	3,50	n-Hexano	11,54	11,36	22,9
t	0,20	4,50	n-Hexano	10,31	10,14	20,45
S	0,50	4,50	n-Hexano	11,98	11,66	23,64
Tt	0,20	3,50	Etanol	7,08	7,01	14,09
TS	0,50	3,50	Etanol	9,33	9,22	18,55
tS	0,20	4,50	Etanol	8,92	8,13	17,05
TtS	0,50	4,50	Etanol	9,59	10,34	19,93

Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

Y<sub>i</sub>: Porcentaje de aceite extraído.

T: Tamaño de la partícula (0,20 mm; 0,5 mm)

t: tiempo (3,50 horas; 4,50 horas)

S: Solvente (n – Hexano; etanol)

Tt: Interacción entre los factores tamaño de la partícula y tiempo.

TS: Interacción entre los factores tamaño de la partícula y solvente.

tS: Interacción entre los factores tiempo y solvente.

TtS: Interacción entre los factores tamaño de la partícula, tiempo y solvente.

#### 4.5. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL DISEÑO FACTORIAL 2<sup>3</sup> EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE QUINUA

El análisis de varianza realizado con los porcentajes de aceite extraído de las dos réplicas obtenidos de la tabla 4.5, se muestran en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6**  
**Análisis de varianza en el proceso de extracción de aceite de quinua**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	Fisher Cal	Fisher Tab
Total	33,77	16-1=15			
Tamaño de la partícula (T)	11,34	2-1=1	11,34	126,00**	11,26
Tiempo de extracción (t)	1,94	2-1=1	1,94	21,56*	11,26
Tipo de solvente (S)	18,77	2-1=1	18,77	208,56**	11,26
Tamaño – tiempo (Tt)	0,11	2-1=1	0,11	1,22	11,26
Tamaño – tipo de solvente (TS)	0,09	2-1=1	0,09	1,00	11,26
Tiempo – tipo de solvente (tS)	0,6	2-1=1	0,6	6,67	11,26
Tamaño - tiempo - tipo de solvente (TtS)	0,21	2-1=1	0,21	2,33	11,26
Error	0,71	2 <sup>3</sup> -8	0,09		

Fuente: Elaboración propia.

\*Significativa

\*\*Altamente significativa

Como se puede observar en la tabla 4.6, el  $F_{cal} > F_{tab}$  para los factores: T (tamaño de la partícula), S (tipo de solvente) y t (tiempo de extracción) lo que nos indica que son variables estadísticamente significativas para una probabilidad del 99 % de intervalo de confianza; sin embargo para esta misma probabilidad, las combinaciones entre los factores: Tt (Tamaño – tiempo), TS (Tamaño – tipo de solvente), tS (Tiempo – tipo

de solvente), TtS (Tamaño - tiempo - tipo de solvente) presentan un  $F_{cal} < F_{tab}$ , lo que indica que ninguna de estas es estadísticamente significativa.

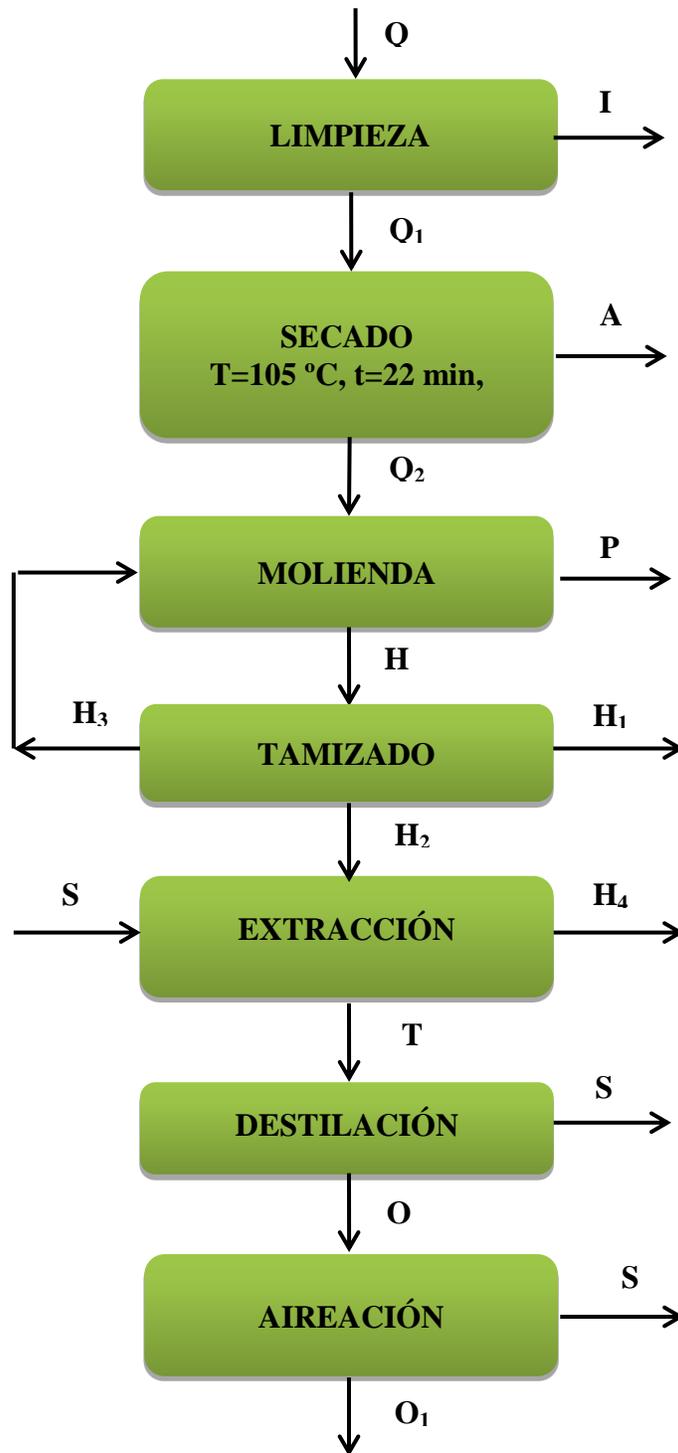
Mediante el análisis estadístico del diseño experimental, se establece que las variables: T (tamaño de la partícula), S (tipo de solvente) y t (tiempo de extracción) influyen directamente en el proceso de extracción de aceite de quinua, siendo el tamaño de partícula la de mayor efecto sobre el proceso.

Asimismo, se demuestra estadísticamente que las combinaciones entre los factores: Tt (Tamaño - tiempo), TS (Tamaño - tipo de solvente), tS (Tiempo - tipo de solvente), TtS (Tamaño - tiempo - tipo de solvente) no influyen de manera directa en el proceso, para una probabilidad del 99 %.

#### **4.6. BALANCE DE MATERIA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE QUINUA**

Para el proceso de obtención de aceite de quinua, a nivel de laboratorio, el balance de materia se realizó tomando en cuenta el diagrama de bloques representado en la figura 4.2.

**Figura 4.2**  
**Diagrama de flujo del proceso de extracción de aceite de quinua**



Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

Q (Quinua Real)

Q<sub>1</sub> (Quinua libre de impurezas)

I (Impurezas)

Q<sub>2</sub> (Quinua con 6% de humedad)

A (Agua evaporada)

P (Perdidas durante el proceso)

H (Harina de Quinua)

H<sub>1</sub> (Harina con tamaño de partícula de 0,20 mm)

H<sub>2</sub> (Harina con tamaño de partícula de 0,50 mm)

H<sub>3</sub> (Harina con tamaño de partícula  $\geq$  a 0,80 mm)

S (Solvente “n-Hexano”)

H<sub>4</sub> (Torta de quinua y solvente)

T (Compuesto homogéneo entre solvente y aceite)

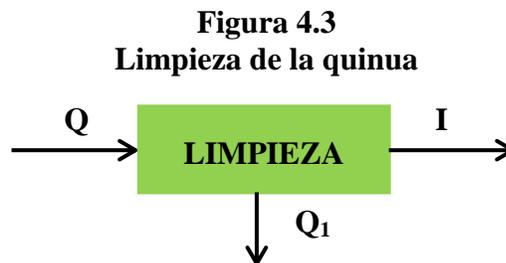
O (Aceite y trazas de solvente)

O<sub>1</sub> (Aceite “crudo” de Quinua)

A continuación se describe la aplicación del balance de materia (en base a 100 g de masa inicial) en cada uno de los procesos que forman parte de la obtención de aceite de quinua.

#### 4.6.1. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE LIMPIEZA

El balance de materia que se aplicó en el proceso de limpieza del grano de quinua se muestra en la figura 4.3.



Dónde:

$$Q = 100 \text{ g}$$

$$Q_1 = ?$$

$$I = 1,96 \text{ g}$$

Balance general de materia en el proceso de limpieza:

$$Q = Q_1 + I \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$Q_1 = Q - I$$

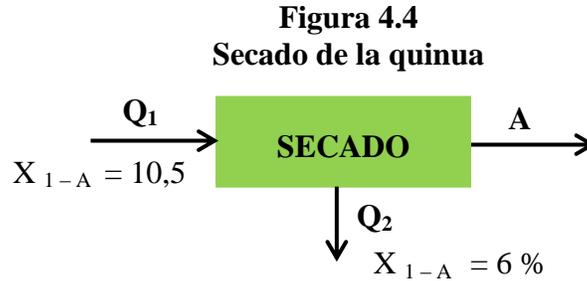
$$Q_1 = (100 - 1,96) \text{ g}$$

$$Q_1 = 98,04 \text{ g}$$

El total de grano de quinua libre de impurezas es de 98,04 g.

#### 4.6.2. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO

El balance de materia que se aplicó en el proceso de secado del grano de quinua se muestra en la figura 4.4.



Dónde:

$$Q_1 \text{ (Quinua con 10,5\% de humedad, ver tabla 4.1)} = 98,04 \text{ g}$$

$$Q_2 \text{ (Quinua con 6\% de humedad, de bibliografía)} = ?$$

$$A = ?$$

Balance general de materia en el proceso de secado:

$$Q_1 = A + Q_2 \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Despejando  $Q_2$  de la ecuación 4.4:

$$Q_2 = Q_1 - A \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Balance parcial de agua:

$$Q_1 X_{1-A} = A X_{A-A} + Q_2 X_{2-A}$$

$$Q_1 X_{1-A} = A + Q_2 X_{2-A}$$

$$A = Q_1 X_{1-A} - Q_2 X_{2-A}$$

Ecuación 4.6

Dónde:

$$X_{1-A} = 0,105$$

$$X_{2-A} = 0,06$$

Remplazando los valores de  $X_{1-A}$  y  $X_{2-A}$  en la ecuación 4.6:

$$A = Q_1 X_{1-A} - Q_2 X_{2-A}$$

$$A = 0,105 Q_1 - 0,06 Q_2$$

Remplazando el valor de A en la ecuación 4.5:

$$Q_2 = Q_1 - (0,105 Q_1 - 0,06 Q_2)$$

$$Q_2 = Q_1 - 0,105 Q_1 + 0,06 Q_2$$

$$Q_2 - 0,06 Q_2 = Q_1 - 0,105 Q_1$$

$$Q_2 (1 - 0,06) = Q_1 (1 - 0,105)$$

$$Q_2 = \frac{Q_1 (1 - 0,105)}{1 - 0,06}$$

$$Q_2 = \frac{98,04 \text{ g } (1 - 0,105)}{1 - 0,06}$$

$$Q_2 = 93,35 \text{ g}$$

El grano de quinua, con 6 % de humedad, obtenido después del proceso de secado es de 93,35 g.

Remplazando los valores de  $X_{1-A}$ ,  $X_{2-A}$  y  $Q_2$  en la ecuación 4.6:

$$A = Q_1 X_{1-A} - Q_2 X_{2-A}$$

$$A = 0,105 Q_1 - 0,06 Q_2$$

$$A = 0,105 * 98,04 \text{ g} - 0,06 * 93,35 \text{ g}$$

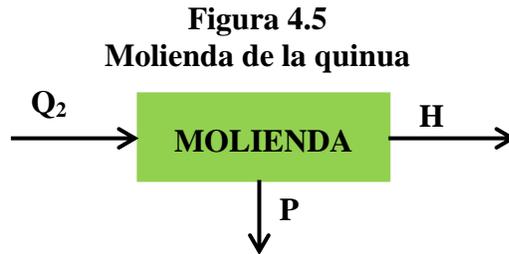
$$A = 10,29 \text{ g} - 5,60 \text{ g}$$

$$A = 4,69 \text{ g}$$

La cantidad de agua evaporada en el proceso de secado es de 4,69 g que equivale al 4,5 %.

### 4.6.3. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MOLIENDA

El balance de materia que se aplicó en el proceso de molienda del grano de quinua se muestra en la figura 4.5.



Dónde:

$$Q_2 = 93,35\text{g}$$

$$P = 3,10\text{g}$$

$$H = ?$$

Balance general de materia en el proceso de molienda:

$$Q_2 = P + H \quad \text{Ecuación 4.7}$$

$$H = Q_2 - P$$

$$H = (93,35 - 3,10)\text{g}$$

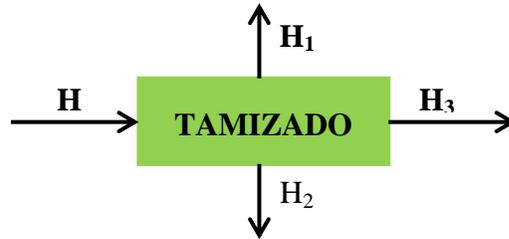
$$H = 90,25\text{g}$$

La cantidad de harina de quinua obtenida después del proceso de molienda es de 90,25 g.

### 4.6.4. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE TAMIZADO

El balance de materia que se aplicó en el proceso de tamizado de la harina de quinua, se muestra en la figura 4.6.

**Figura 4.6**  
**Tamizado de la harina de quinua**



Dónde:

$$H = 90,25\text{g}$$

$$H_1 = 26,07\text{g}$$

$$H_2 = ?$$

$$H_3 = 21,39\text{g}$$

Balance general de materia en el proceso de tamizado:

$$H = H_1 + H_2 + H_3 \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$H_2 = H - H_1 - H_3$$

$$H_2 = (90,25 - 26,07 - 21,39) \text{ g}$$

$$H_2 = 42,79\text{g}$$

La harina de quinua con tamaño de partícula de 0,50mm, obtenida después del proceso de tamizado es de 42,79 g.

#### **4.6.5. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN**

El balance de materia que se aplicó en el proceso de extracción se muestra en la figura 4.7.

**Figura 4.7**  
**Extracción de aceite de quinua**



Dónde:

$$H_2 = 42,79 \text{ g}$$

S = 641,85 g (en relación 1:15 con la harina)

$$H_4 = 51,49 \text{ g}$$

$$T = ?$$

Balance general de materia en el proceso de extracción:

$$H_2 + S = T + H_3 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$T = H_2 + S - H_3$$

$$T = (42,79 + 641,85 - 51,49) \text{ g}$$

$$T = 633,15 \text{ g}$$

La cantidad de mezcla homogénea entre aceite extraído y solvente es de 633,15 g.

#### 4.6.6. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN

El balance de materia que se aplicó en el proceso de destilación del aceite de quinua, se muestra en la figura 4.8.

**Figura 4.8**  
**Destilación del aceite de quinua**



Dónde:

$$T = 633,15 \text{ g}$$

$$S = 604,99\text{g}$$

$$O = ?$$

Balance general de materia en el proceso de destilación:

$$T = S + O \quad \text{Ecuación 4.10}$$

$$O = T - S$$

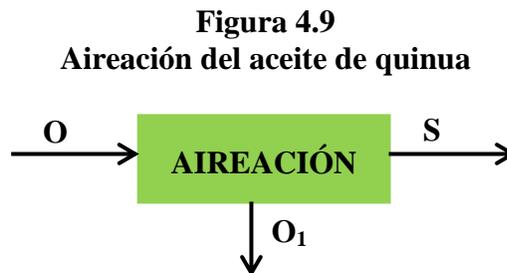
$$O = (633,15 - 604,99) \text{ g}$$

$$O = 28,16 \text{ g}$$

La cantidad de aceite de quinua y solvente obtenido después del proceso de destilación es de 28,16 g.

#### 4.6.7. BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE AIREACIÓN

El balance de materia que se aplicó en el proceso de aireación del aceite de quinua se muestra en la figura 4.9.



Dónde:

$$O = 28,16 \text{ g}$$

$$S = 23,11 \text{ g}$$

$$O_1 = ?$$

Balance general de materia en el proceso de aireación:

$$O = S + O_1 \quad \text{Ecuación 4.11}$$

$$O_1 = O - S$$

$$O_1 = 28,16 \text{ g} - 23,11 \text{ g}$$

$$O_1 = 5,05 \text{ g}$$

La cantidad de aceite de quinua obtenida después del proceso de aireación es de 5,05g.

#### 4.7. VOLUMEN DE ACEITE EXTRAÍDO

Para calcular la cantidad de aceite extraído en volumen se aplicó la ecuación 4.12 (citada por Barderas, 1994) y se utilizó el dato de la densidad obtenido en el análisis fisicoquímico del aceite (ver Anexo A):

$$\ell \frac{m}{v} = \text{Ecuación 4.12}$$

Dónde:

$$\ell \text{ aceite} = 0,92 \text{ g/cm}^3$$

$$m \text{ (masa de aceite obtenido del proceso de extracción)} = 5,05 \text{ g}$$

Despejando el volumen de la ecuación 4.12:

$$V = \frac{m}{\ell} \text{ Ecuación 4.13}$$

Remplazando los valores de  $\ell$  y  $m$  en la ecuación 4.13:

$$V = \frac{5,05 \text{ g}}{0,92 \text{ g/cm}^3} = 4,65 \text{ cm}^3 = 4,65 \text{ ml}$$

El volumen de aceite obtenido del proceso de extracción es de 4,65 ml.

#### 4.8. RENDIMIENTO DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE QUINUA

Para el cálculo del rendimiento del proceso de obtención de aceite de quinua se aplicó la ecuación 4.14 (citada por Barderas, 1994):

$$R = \frac{\text{Aceite Obtenido}}{\text{Harina de quinua (0,50mm)}} \times 100 \% \quad \text{Ecuación 4.14}$$

Datos del balance de materia:

Aceite obtenido = 5,05 g

Harina de quinua (0,50 mm) = 42,79 g

Remplazando los valores de aceite obtenido y harina de quinua en la ecuación 4.14:

$$R = \frac{5,05 \text{ g}}{42,79 \text{ g}} \times 100 \% = 11,80\%$$

El rendimiento del proceso de extracción del aceite de quinua es de 11,80 %.

#### 4.9. BALANCE DE ENERGÍA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE QUINUA

En los procesos de secado, extracción y destilación, ocurrieron transferencias de energía en forma de calor, donde, para la aplicación del balance total de energía se aplicaron las siguientes ecuaciones citadas por (Barderas, 1994):

**Ecuación para realizar el balance total de energía:**

**Calor saliente del sistema-Calor entrante al sistema=Acumulación** Ecuación 4.15

En la ecuación 4.15 la acumulación es igual a 0 debido a que la energía entrante es

igual a la saliente, por lo que se simplificaría a:

$$Q_c = Q_g \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Dónde:

$Q_c$  = Calor cedido

$Q_g$  = Calor ganado

**La ecuación para calcular el calor ganado o perdido por una sustancia (sin cambio de fase) es igual a:**

$$Q = m C_p (T_f - T_o) \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Dónde:

$Q$  = Calor

$m$  = masa del cuerpo

$C_p$  = Capacidad calorífica del cuerpo

$T_f$  = Temperatura final

$T_o$  = Temperatura inicial

**La ecuación para calcular el calor ganado o perdido por una sustancia (con cambio de fase) es igual a:**

$$Q_{\text{latente}} = m_a * \lambda_{\text{vap}} \quad \text{Ecuación 4.18}$$

Dónde:

$Q_{\text{latente}}$  = Calor cedido o ganado durante un cambio de fase

$m_a$  = masa del cuerpo

$\lambda_{\text{vap}}$  = Lambda de vaporización del cuerpo

#### **4.9.1. BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE SECADO**

Aplicando la ecuación 4.16 y desarrollando para el proceso de secado se tiene que:

$$Q_c = Q_{g1} + Q_{g2}$$

Dónde:

$Q_c$ : Calor cedido por la estufa

$Q_{g1}$ : Calor ganado por la caja Petri

$Q_{g2}$ : Calor ganado por la quinua

Para calcular el calor ganado por la caja Petri se aplicó la ecuación 4.17:

$$Q_{g1} = m_1 * Cp_1 * (T_s - T_1)$$

Dónde:

$Q_{g1}$  (Calor ganado por la caja Petri)

$m_1$  (masa de la caja Petri) = 48,20g = 0,048kg

$Cp_1$  (Capacidad calórica del vidrio) =  $0,12 \frac{Kcal}{Kg \text{ } ^\circ C}$  (Barderas, 1994)

$T_s$  (Temperatura de secado) = 105 °C

$T_1$  (Temperatura inicial de la caja Petri) = 22 °C

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_{g1} = 0,048 \text{ kg} * 0,12 \frac{Kcal}{Kg \text{ } ^\circ C} * (105 - 22) \text{ } ^\circ C$$

$$Q_{g1} = 0,48 \text{ Kcal}$$

El calor ganado por la caja Petri es de 0,48 Kcal.

Para calcular el calor ganado por la quinua se aplica y desarrolla la ecuación 4.17 considerando que hay un cambio de fase:

$$Q_{g2} = Q_{sensible} + Q_{latente}$$

Donde:

$Q_{g2}$  = Calor ganado por la quinua durante el proceso de secado

$Q_{sensible}$  = Calor sensible ganado por la semilla de quinua

$Q_{latente}$  = Calor latente ganado por la semilla de quinua

Para calcular el calor sensible ganado por la semilla de quinua se aplica y desarrolla la ecuación 4.18:

$$Q_{sensible} = m_2 * Cp_2 * (T_s - T_1)$$

Dónde:

$Q_{sensible}$  (Calor sensible ganado por la semilla de quinua)

$m_2$  (masa de la quinua seca) = 98,04 g = 0,01 kg

$Cp_2$  (Calor específico de la quinua) =  $1,20 \frac{Kcal}{Kg \text{ } ^\circ C}$  (Barderas, 1994)

$T_s$  (Temperatura de secado) = 105 °C

$T_1$  (Temperatura inicial de la quinua) = 22 °C

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_{\text{sensible}} = 0,01 \text{ kg} * 1,20 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (105 - 22) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 9,76 \text{ Kcal}$$

El calor sensible ganado por la semilla de quinua durante el proceso de secado es de 9,74Kcal.

Para calcular el calor latente ganado por la semilla de quinua se aplica y desarrolla la ecuación 4.19:

$$Q_{\text{latente}} = m_A * \lambda_{\text{vap}}$$

Dónde:

$Q_{\text{latente}}$  (Calor latente ganado por la semilla de quinua)

$m_a$  (masa de agua evaporada) = 4,69 g = 0,005 kg

$Q_{\text{Iv}}$  (Calor latente de evaporación del agua a 105 °C) = 535,80  $\frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$  (Barderas, 1996)

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_{\text{latente}} = 0,005 \text{ kg} * 535,80 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 2,68 \text{ kcal}$$

El calor sensible ganado por la semilla de quinua durante el proceso de secado es de 2,68 Kcal.

Remplazando los valores de  $Q_{g1}$ ,  $Q_{\text{sensible}}$  y  $Q_{\text{latente}}$  en la ecuación del calor cedido total por la estufa:

$$Q_c = Q_{g1} + Q_{g2}$$

$$Q_c = Q_{g1} + (Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}})$$

$$Q_c = 0,48 \text{ kcal} + 9,76 \text{ kcal} + 2,68 \text{ kcal}$$

$$Q_c = 12,92 \text{ kcal}$$

El calor total cedido por la estufa, durante el proceso de secado es de 12,92 Kcal.

#### **4.9.2. BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN (EQUIPO SOXHLET):**

Aplicando y desarrollando la ecuación 4.16 en el proceso de extracción se tiene que:

$$Q_{c1} = Q_{gb} + Q_{gs}$$

Dónde:

$Q_{c1}$ : Calor cedido por el calentador eléctrico

$Q_{gb}$ : Calor ganado por el matraz aforado

$Q_{gs}$ : Calor ganado por el solvente

Para calcular el calor ganado por el matraz se aplica y desarrolla la ecuación 4.18:

$$Q_{gb} = m_b * C_{pb} * (T_e - T_o)$$

Dónde:

$Q_{gb}$  (Calor ganado por el matraz aforado)

$m_b$  (masa del matraz aforado) = 235,2 g = 0,23 kg

$C_{pb}$  (Calor específico del matraz) =  $0,21 \frac{Kcal}{kg \cdot ^\circ C}$  (Barderas, 1995)

$T_e$  (Temperatura de extracción) = 145 °C

$T_o$  (Temperatura inicial del matraz aforado) = 21 °C

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_{gb} = 0,23 \text{ kg} * 0,21 \frac{Kcal}{kg} * (145 - 21) \text{ } ^\circ C$$

$$Q_{gb} = 6,12 \text{ kcal}$$

El calor ganado por el matraz durante el proceso de extracción es de 6,12 kcal.

Para la determinación del calor ganado por el solvente se aplica y desarrolla la ecuación 4.16:

$$Q_{gs} = Q_{sensible} + Q_{latente}$$

Donde:

$Q_{g2}$  = Calor ganado por el solvente durante el proceso de extracción

$Q_{sensible}$  = Calor sensible ganado por el solvente

$Q_{latente}$  = Calor latente ganado por el solvente

Para determinar el calor sensible ganado por el solvente se aplica la ecuación 4.17:

$$Q_{sensible} = m_s * C_{ps} * (T_e - T_o)$$

Dónde:

$Q_{sensible}$  (Calor sensible ganado por el solvente)

$m_s$  (masa del solvente) = 641,85 g = 0,64 kg

$$C_{ps} \text{ (Calor específico del solvente)} = 0,62 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \text{ (Perry, 1996)}$$

$$T_e \text{ (Temperatura de extracción)} = 145 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_o \text{ (Temperatura inicial del solvente)} = 19 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Remplazando valores en la ecuación en la ecuación anterior:

$$Q_{\text{sensible}} = 0,64 \text{ kg} * 0,62 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} * (145 - 19) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{sensible}} = 50 \text{ kcal}$$

El calor requerido para calentar el solvente hasta temperatura de ebullición es de 50 kcal.

Para determinar el calor latente ganado por el solvente se aplica y desarrolla la ecuación 4.18:

$$Q_{\text{latente}} = m_s * \lambda_{\text{vap}}$$

Dónde:

$Q_{\text{latente}}$  (Calor latente ganado por el solvente)

$$m_s \text{ (masa de solvente que se evapora cada 3 min)} = 14 \text{ 0g} = 0,14 \text{ kg}$$

$$\lambda \text{ (calor latente de evaporación del solvente)} = 50 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \text{ (Perry, 1996)}$$

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_{\text{latente}} = 0,14 \text{ kg} * 50 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_{\text{latente}} = 7 \text{ kcal}$$

El calor para evaporar el solvente cada 3 minutos es de 7 Kcal.

El tiempo de extracción es de 4,5hrs, la cantidad de veces que carga el soxhlet es de 50 veces en todo el proceso, entonces el calor necesario es de (7kcal \* 50) 350kcal:

Remplazando los valores de  $Q_{\text{sensible}}$  y  $Q_{\text{latente}}$  en la ecuación del calor cedido al solvente:

$$Q_{\text{gs}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{gs}} = 50\text{kcal} + 350\text{kcal}$$

$$Q_{\text{gs}} = 400 \text{ kcal}$$

El calor total para calentar y evaporar el solvente durante el proceso de extracción es de 400 Kcal.

Remplazando los valores de  $Q_{gs}$  y  $Q_{gs}$  en la ecuación del calor total cedido por el calentador durante el proceso de extracción:

$$Q_{c1} = Q_{gs} + Q_{gs}$$

$$Q_{c1} = 6,12 \text{ kcal} + 400 \text{ kcal}$$

$$Q_{c1} = 406,12 \text{ kcal}$$

El calor total cedido por el calentador eléctrico durante el proceso de extracción del aceite de quinua es de 406,12 Kcal.

#### **4.9.3. BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE DESTILACIÓN:**

Aplicando y desarrollando la ecuación 4.16 en el proceso de destilación se tiene:

$$Q_{c2} = Q_{gm} + Q_{gA} + Q_{gs}$$

Dónde:

$Q_{c2}$ : Calor cedido por el calentador

$Q_{gm}$ : Calor ganado por el matraz aforado

$Q_{gA}$ : Calor ganado por el aceite

$Q_{gs}$ : Calor ganado por el solvente

Para determinar el calor ganado por el matraz aforado en el proceso de destilación se aplica y desarrolla la ecuación 4.17:

$$Q_{gm} = m_m * C_{pm} * (T_d - T_o)$$

Dónde:

$Q_{gm}$  (Calor ganado por el matraz aforado)

$m_m$  (masa del matraz aforado) = 235,20 g = 0,23 Kg

$C_{pm}$  (calor específico del matraz) =  $0,21 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$  (Citado por Barderas, 1994)

$T_d$  (Temperatura de destilación) =  $160^\circ\text{C}$

$T_o$  (Temperatura inicial del matraz aforado) =  $30^\circ\text{C}$

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_{gs} = 0,23\text{kg} * 0,21 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (160 - 30)^\circ\text{C}$$

$$Q_{gs} = 6,28 \text{ kcal}$$

El calor ganado por el matraz aforado durante el proceso de destilación es de 6,28 Kcal.

Para determinar el calor ganado por el aceite durante el proceso de destilación se aplica y desarrolla la ecuación 4.17:

$$Q_{gA} = m_A * C_{pA} * (T_d - T_o)$$

Dónde:

$Q_{gA}$  (Calor ganado por el aceite)

$m_A$  (masa del aceite) = 5,61g = 0,006 kg

$C_{pA}$  (calor específico del aceite) =  $0,50 \frac{Kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$  (citado por Barderas, 1996)

$T_d$  (Temperatura de destilación) = 160°C

$T_o$  (Temperatura inicial del aceite) = 30°C

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_{gA} = 0,006kg * 0,50 \frac{Kcal}{kg \text{ } ^\circ C} * (160 - 30)^\circ C$$

$$Q_{gA} = 0,39kcal$$

El calor ganado por el aceite durante el proceso de destilación es de 0,39 Kcal.

Aplicando y desarrollando la ecuación 4.16 para calcular el calor ganado por el solvente durante el proceso de destilación se obtiene que:

$$Q_{gs} = Q_{sensible} + Q_{latente}$$

Donde:

$Q_{gs}$  = Calor ganado por el solvente

$Q_{sensible}$  = Calor sensible ganado por el solvente

$Q_{latente}$  = Calor latente ganado por el solvente

Para determinar el calor sensible se aplica y desarrolla la ecuación 4.17:

$$Q_s = m_s * C_{ps} * (T_d - T_o)$$

Dónde:

$Q_s$  (Calor sensible)

$m_s$  (masa del solvente "n - Hexano) = 641,95g = 0,64kg

$C_{ps}$  (Calor específico del solvente) =  $0,62 \frac{Kcal}{kg \text{ } ^\circ C}$  (Perry, 1996)

$T_d$  (Temperatura de destilación) = 160°C

$T_o$  (Temperatura inicial del solvente) = 30°C

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_s = 0,64\text{kg} * 0,62 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (160 - 30)^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 51,58\text{kcal}$$

Para determinar el calor latente se aplica y desarrolla la ecuación 4.18:

$$Q_1 = m_s * \lambda_{\text{vap}}$$

Dónde:

$Q_1$ (Calor latente)

$$m_s \text{ ( masa del solvente que se evapora )} = 604,99 \text{ g} = 0,60 \text{ Kg}$$

$$\lambda_{\text{vap}} \text{ (Calor latente de vaporización del solvente n - Hexano)} = 50 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \text{ (Perry, 1996)}$$

Remplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_1 = 0,60 \text{ Kg} * 50 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_1 = 30,25 \text{ Kcal.}$$

Remplazando los valores de  $Q_{\text{sensible}}$  y  $Q_{\text{latente}}$  en la ecuación del calor total ganado por el solvente:

$$Q_{\text{gs}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

$$Q_{\text{gs}} = (51,58 + 30,25) \text{ Kcal.}$$

$$Q_{\text{gs}} = 81,83 \text{ Kcal.}$$

El calor total ganado por el solvente en el proceso de destilación es de 81,83 Kcal.

Remplazando los valores de  $Q_{\text{gm}}$ ,  $Q_{\text{gA}}$  y  $Q_{\text{gs}}$  en la ecuación del calor total cedido por el calentador:

$$Q_{\text{c2}} = Q_{\text{gm}} + Q_{\text{gn}} + Q_{\text{gs}}$$

$$Q_{\text{c2}} = 6,28 \text{ Kcal} + 0,39 \text{ Kcal} + 81,83 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{c2}} = 88,50 \text{ Kcal}$$

El calor total cedido por el calentador eléctrico durante el proceso de destilación es de 88,50 Kcal.

#### 4.10. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE DE QUINUA EXTRAÍDO A ESCALA DE LABORATORIO

Con la finalidad de determinar las características fisicoquímicas del producto terminado “aceite de quinua”, se realizaron análisis en el Laboratorio de aguas, suelos y alimentos “RIMH – Aprotéc” de la ciudad de Tarija y en el Centro de Alimentos y Productos Naturales (CAPN) de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba.

##### 4.10.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS REALIZADOS AL ACEITE DE QUINUA

Los resultados que corresponden a los análisis fisicoquímicos efectuados al aceite de quinua extraído a escala de laboratorio son los que se muestran en la tabla 4.7. (Ver Anexo D).

**Tabla 4.7**  
**Características fisicoquímicas del aceite de quinua**

Parámetro	Unidad	Cantidad
Índice de refracción a 40 °C	%	1,47
Densidad a 25 °C	g/cm <sup>3</sup>	0,92
Índice de saponificación	mg de KOH/g de aceite	192,00
Acidez	%	4,10
Índice de Peróxido	meq O <sub>2</sub> /kg de aceite	14,90
Rancidez	Positivo / Negativo	Negativo

Fuente: Laboratorio RIMH – Aprotéc, 2013.

De los resultados de las características fisicoquímicas del aceite de quinua, presentados en la tabla 4.7 se puede observar que el aceite de quinua presenta un índice de refracción de 1,47 realizado a 40°C y de acuerdo a la Norma Boliviana 685–2000 está dentro de los límites permitidos (1,467–1,477) para aceites comestibles que esta indica.

En referencia a la densidad, en la tabla 4.7 se puede observar que el aceite de quinua presenta una densidad de 0,92, y según la Norma Boliviana 685–2000 este valor está dentro de los límites permisibles para aceites comestibles.

El valor del índice de saponificación, que se muestra en la tabla 4.7, para el aceite de quinua, es de 192 mg de KOH/g de aceite, que según (Rubio, 2005) está dentro de los límites permisibles para aceites extraídos (190 mg de KOH/g de aceite–192mg de KOH/g de aceite) de quinua.

Uno de los parámetros de calidad de los aceites de semilla es la acidez y como se puede observar en la tabla 4.7 el aceite de quinua presenta un valor de 4,10; que indica un deterioro hidrolítico, considerando como límite permisible el señalado por la Norma Boliviana 685 – 2000 que indica un máximo de 0,06 % para aceites refinados, sin embargo como bien se sabe el aceite obtenido es a escala de laboratorio y es de tipo crudo.

Respecto al índice de peróxidos, según la tabla 4.7, la muestra de aceite de quinua tiene un valor de 14,9 meq O<sub>2</sub>/ kg aceite, lo que indica un deterioro oxidativo según Rubio, 2005 que exige un máximo de 10 meq O<sub>2</sub>/kg de aceite, para aceites comestibles, este valor es tomado sólo como referencia, ya que este límite está señalado para aceites refinados; la razón de este deterioro se debe a que los aceites extraídos a escala de laboratorio pasan por el proceso de aireación para eliminar el exceso de solvente después de la destilación (contacto directo con el oxígeno atmosférico) y al ser el aceite de quinua altamente insaturado cuenta con múltiples dobles enlaces que lo vuelven vulnerable a la oxidación.

#### **4.10.2. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO PORCENTUAL DE LOS ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE QUINUA.**

Los resultados que se muestran en la tabla 4.8 corresponden al análisis de determinación del contenido porcentual de los ácidos grasos en el aceite de quinua,

que se realizaron en el Centro de Alimentos y Productos Naturales (CAPN) de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba.

**Tabla 4.8**  
**Contenido porcentual de los ácidos grasos presentes en el aceite de quinua**

Ácido graso	Fórmula	% Ácidos grasos en la muestra
Ácido mirístico	C14:0	0,05
Ácido pentadecanoico	C15:0	0,01
Ácido palmítico	C16:0	5,07
Ácido palmitoleico	C16:1	0,11
Ácido heptadecanoico	C17:0	0,03
Ácido heptadecanoicocis 10	C17:1	0,03
Ácido esteárico	C18:0	2,79
Ácido oleico	C18:1n9c	38,86
Ácido linolelaídico	C18:2n6t	0,02
Ácido linoleico	C18:2n6c	44,83
Ácido araquídico	C20:0	0,22
Ácido eicosenocio	C20:1	0,15
Ácido heneicosanoico	C21:0	0,05
Ácido eicosadienoicocis 11,14	C20:2	0,16
Ácido behénico	C22:0	0,57
Ácido araquidónico	C20:4n6	0,02
Ácido lignocérico	C24:0	0,20
Ácido Cis-5,8, 11,14, 17 Eicosapentanoico	C20.5n3	0,15
Ácido nervónico	C24:1	0,08

Fuente: Centro de Alimentos y Productos Naturales (CAPN), 2013.

Como se puede ver en la tabla 4.8 los ácidos grasos predominantes es el ácido linoleico con un contenido del 44,83 %, el ácido oleico con un contenido del 38,86 % y finalmente el más destacado de los ácidos grasos saturados, el ácido esteárico, con un contenido del orden del 2,79 %.

#### 4.10.3 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE INSATURACIÓN DEL ACEITE DE QUINUA

Los resultados que se muestran en la tabla 4.9 corresponden al análisis de determinación del contenido porcentual de los ácidos grasos en el aceite de quinua, que se realizaron en el Centro de Alimentos y Productos Naturales (CAPN) de la Universidad Mayor de San Simón de la ciudad de Cochabamba.

**Tabla 4.9**  
**Ácidos Grasos Totales**

Ácido graso	Fórmula	% Ácidos grasos en la muestra
Ácidos saturados totales	SFA	8,93
Ácidos monoinsaturados totales	MUFA	39,22
Ácidos poliinsaturados totales	PUFA	45,18
Ácidos insaturados totales	UFA	84,41
Ácidos grasos trans	TFA	0,22

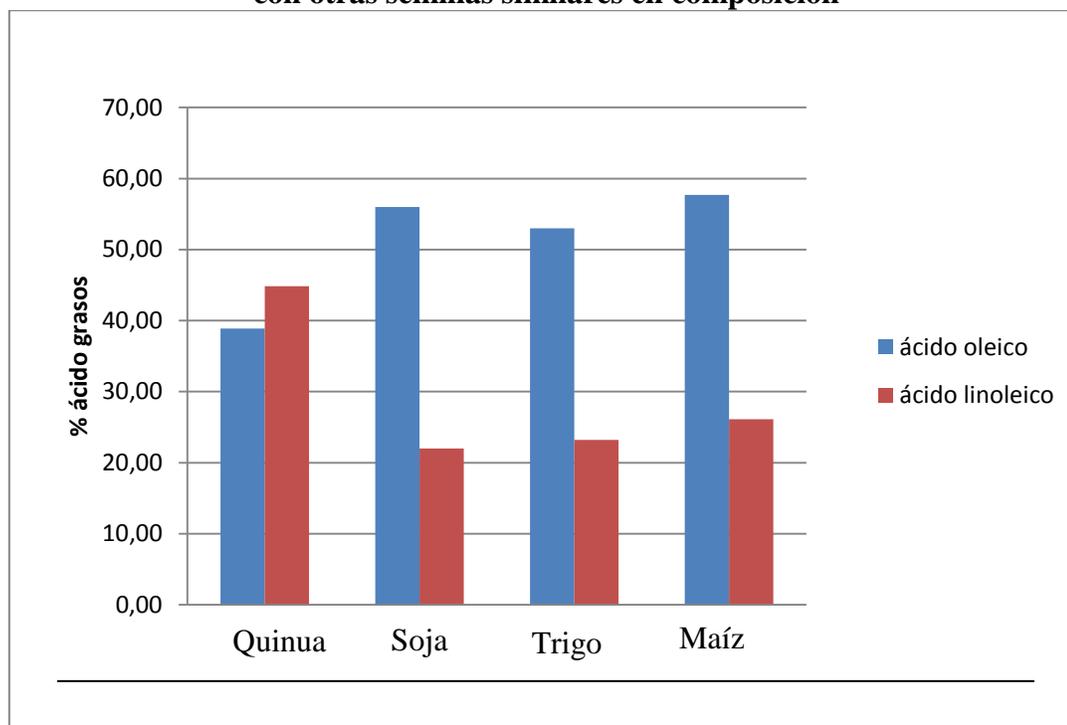
Fuente: Centro de Alimentos y Productos Naturales (CAPN), 2013.

Como se puede ver en la tabla 4.9 los ácidos predominantes son los: ácidos insaturados totales con un contenido de 84,41 % (de los cuales los ácidos poliinsaturados 45,18 % y los ácidos monoinsaturados 39,22 %) seguido por los ácidos saturados totales con un contenido de 8,93 %.

#### 4.10.4. COMPARACIÓN DE LOS PRINCIPALES ÁCIDOS GRASOS DEL ACEITE DE QUINUA CON OTRAS SEMILLAS SIMILARES EN COMPOSICIÓN

La figura 4.10 muestra una comparación de los aceites similares al aceite de quinua en composición de los principales ácidos grasos: oleico y linoleico, estos aceites son el de soja, de maíz y el aceite de germen de trigo que son los más parecidos en composición de los dos ácidos grasos mencionados.

**Figura 4.10**  
**Comparación de los principales ácidos grasos del aceite de la semilla de quinua con otras semillas similares en composición**



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 4.10 estos tres tipos de aceites de semillas tienen similitud en la composición de los ácidos grasos oleicos y linoleico.

## 5.1. CONCLUSIONES

Finalizado el trabajo de investigación, se puede concluir lo siguiente:

- De acuerdo a los análisis fisicoquímicos realizados a la semilla de quinua, contiene: 64,51 % de hidratos de carbono, 13 % de proteína, 10,55 % de humedad, 3,10 % de ceniza y 2,70 % de fibra.
- De los cálculos realizados para la determinación del tiempo de secado, se obtuvo que 20 minutos es el tiempo requerido para ajustar la humedad de la semilla de quinua desde el 10,56 % hasta el 6%.
- Según la clasificación granulométrica de la harina de quinua, se obtuvo que, el tamaño de malla con mayor retención fue la de 0,50 mm, seguida por el tamaño de 0,20 mm con el 28,89 %, luego el tamaño de malla de 0,80 mm que tuvo una retención del 22,71 % y finalmente en menor cantidad el tamaño de 1 mm con el 0,99 %.
- Como resultado de la aplicación del diseño factorial  $2^3$ , se establece que las variables T (tamaño de la partícula), S (tipo de solvente) y t (tiempo de extracción) influyen directamente en el proceso de extracción de aceite de quinua; es decir, que las variables son estadísticamente significativas para una probabilidad del 99 % de intervalo de confianza.
- De acuerdo a los resultados de los análisis fisicoquímicos que se realizaron al producto final, presenta un índice de refracción de 1,47 % a 40°C, una densidad de 0,92 g/cm<sup>3</sup>, un índice de saponificación de 192 mg de KOH/g de aceite, una acidez de 4,10 % y un índice de peróxidos de 14,9 meq O<sub>2</sub>/ kg aceite.

- Según los análisis de la determinación del contenido porcentual de los ácidos grasos del aceite de quinua, se establece que los predominantes son: el ácido linoleico con un contenido del 44,83 %, el ácido oleico con un contenido del 38,86 % y el ácido esteárico con el 2,79 %.
- De los análisis realizados sobre el grado de insaturación del aceite de quinua se obtuvo que contiene: Ácidos saturados 8,93 %, ácidos monoinsaturados 39,22 % y ácidos poliinsaturados 45,18 %.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda considerar la implementación de una planta piloto de extracción de aceite de quinua, en el municipio de Yunchará para incentivar el cultivo de la quinua, ya que esta presenta un rendimiento del 11,88 % que fácilmente podría competir con otras semillas oleaginosas como la soya.
- Realizar estudios de investigación sobre las propiedades fisicoquímicas del aceite de la semilla de quinua, para identificar los beneficios que puede otorgar a la piel si esta es utilizada en la elaboración de cosméticos.
- Se recomienda el consumo de aceite de quinua, ya que esta presenta elevado contenido de ácidos grasos poliinsaturados que reducen el colesterol “malo” del organismo, disminuyendo así el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares.