

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO.

1.1 EL ALGARROBO

El algarrobo blanco es una de las especies nativas más importantes de nuestro país y tiene una extensa área de distribución que incluye los ecosistemas forestales de toda la Región Chaqueña de Argentina, presente también en Brasil, Paraguay y Bolivia (Di Marco, E. 2009).

El algarrobo pertenece a la familia de las leguminosas subfamilias mimosoideas y al género *Prosopis*, estas leguminosas se denominan así por su gran similitud con el algarrobo mediterráneo. Los algarrobos se distribuyen desde las llanuras subtropicales de Argentina, la mitad occidental del Paraguay, Uruguay, Sur de Bolivia, el norte de Chile y regiones semiáridas de la costa norte peruana (Alfaro, E. 1995).

Figura I-1

Algarrobo "*Prosopis Alba Griseb*".



Fuente: Elaboración propia, 2017

Las especies del género *prosopis* son arbustos de tamaño mediano o árboles de diámetro amplio que pueden llegar a tener una altura de 20 metros, con troncos de

1 metro de diámetro. Tienen espinas en las ramas, y las hojas son compuestas formadas por numerosas hojitas que tienen apariencias de plumas y sus flores son pequeñas (Alfaro, E. 1995).

Figura I-2

Algarrobos en formación, racimo floral y hojas de *Prosopis alba*.



Fuente: Elaboración propia, 2017

Aunque crecen también cerca del agua, distintas especies de prosopis se encuentran en lugares tan secos donde difícilmente puedan sobrevivir otras plantas. Pueden tolerar y aún crecer con rapidez en suelos salinos o de baja fertilidad. Generalmente necesitan 250 mm anuales de lluvia algunas especies se adaptan a la cifra de 75 mm o menos. Soportan fácilmente largos periodos de sequía aun produciendo abundantes vainas (Alfaro, E. 1995).

Las vainas del prosopis crecen en pequeños tallos formando racimos de hasta 12 vainas que tienen generalmente 5 a 20 cm de largo, planos y ligeramente enroscados y contienen varias semillas alojadas en una pulpa dulce y de color amarillento (Alfaro, E. 1995).

Figura I-3

Especies del género *prosopis alba griseb* (vaina en fructificación).



Fuente: Elaboración propia, 2017

1.2 ESPECIES PROSOPIS EN EL VALLE Y CHACO TARIJEÑO.

De acuerdo a las claves del Ing. Burkart, especialista en leguminosas, se ha determinado en el Valle de Tarija cuatro especies de algarrobos, que son los siguientes:

Algarrobo Blanco (*Prosopis alba griseb*)

Algarrobo Negro o Tacko (*Prosopis alba griseb*)

Churqui Blanco (*Prosopis Ferox*)

Alpataco o taquillo (*Prosopis Alpataco*)

El *Prosopis Alba*, está distribuido abundantemente en casi todas las áreas del Valle, de la sub formación Montes del Valle, tanto en serranías de ríos y quebrachos como en partes altas y secas del Valle (Alfaro, E. 1995).

El Prosopis Nigra, se distribuye en las mismas áreas que el *Prosopis alba*, pero siempre se encuentra en menor densidad, especialmente en las partes altas (Alfaro, E. 1995).

El Prosopis Alpataco, este arbusto sólo tiene una distribución en las partes más altas secas del Valle (Alfaro, E. 1995).

El Prosopis Ferox una distribución muy escasa (Alfaro, E. 1995).

1.3 SELECCIÓN DE LA ESPECIE EN ESTUDIO.

En el presente trabajo se consideró la especie *Prosopis alba griseb*, por contar sus frutos con mayor cantidad y de mayor tamaño y principalmente por ser esta especie la más ampliamente distribuida en el Departamento de Tarija (Provincia Gran Chaco).

1.4 PRODUCCIÓN Y COSECHA DEL ALGARROBO.

El Algarrobo empieza a producir vainas al culminar los cinco años de vida, y dependiendo de la región, fructifica entre los meses de diciembre y febrero, posteriormente en junio y julio en el Chaco Tarijeño, y entre febrero y marzo en el Valle Central de Tarija. Según diferentes autores y especialistas de la región la producción de vainas varía considerablemente entre los años, especies sitios y aún entre árboles de la misma especie.

En Argentina, la fructificación del algarrobo ocurre en el verano. Los árboles, producen frutos a partir del quinto año de vida y según la edad de los ejemplares, entre 5 - 40 kilogramos. La producción de frutos puede verse afectada por heladas tardías o por lluvias que dañan flores o frutos. En el Chaco, la mayor producción de frutos proviene de los bosques nativos (Pía, M. 2012).

Tradicionalmente las vainas son recolectadas del suelo en forma manual por toda la familia, incluyendo mujeres y niños, siendo lo más recomendable que permanezcan el menor tiempo posible en contacto con la tierra, ya que son atacadas por gran variedad de insectos y por microorganismos que deterioran fuertemente su calidad.

Para un mayor aprovechamiento, el fruto debe ser sometido a:

- Selección
- Limpieza
- Secado
- Molienda
- Separación por tamizado y
- Clasificación

Operaciones que permiten disponer al fruto para distintas aplicaciones industriales (Luchini, L. 2010).

El momento ideal para la cosecha, es cuando los algarrobos alcanzan un grado de madurez tal, que el desprendimiento es por sí solo. La cosecha se hace por recolección de las algarrobas caídas en el suelo. Que la cosecha sea buena depende de varios factores, como las heladas tardías que afectan las flores produciéndose pocos frutos, o que estos sean dañados por las lluvias tempranas cuando están madurando en el árbol, o cuando ya maduros, en el suelo, llueve (Saravia, 1995) (Prokopiuk, D. 2004).

1.5 DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL DEL ALGARROBO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA.

Estudios fitogeográficos del Departamento de Tarija realizados por el Ing. Martiniano Coro y colaboradores, señalan las zonas de **producción** del algarrobo (*Prosopis alba*) tanto en el valle como en el Chaco tarijeño.

La distribución del algarrobo (*Prosopis alba*), corresponde a la sub-formación Montes Valle y esta sub-formación corresponde a todo el Valle de Tarija, excluyendo la zona y rinconadas de la Victoria, Erquis, Coimata y Pinos.

En lo correspondiente al Chaco tarijeño se pueden distinguir dos zonas de acuerdo a la altitud, estas son: El Chaco Alto con una altura de 600 hasta 800 m.s.n.m y el Chaco Bajo con una altitud menor a 600 m.s.n.m., es la serranía del Aguaraje que divide a estas dos zonas.

Fitogeográficamente en el Chaco Alto se distinguen el Chaco Alto Seco y el Chaco Alto Húmedo, esta última zona está comprendida entre Carapari y Yacuiba (Alfaro, E. 1995).

La producción de algarrobos (*Prosopis alba*) comprende todas las zonas del Chaco con excepción del Chaco Alto Húmedo donde su distribución es poco frecuente (Alfaro, E. 1995).

De acuerdo con la información de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, en 2009 se extrajeron 160 mil toneladas, de las cuales más del 70% fueron de la Región Chaqueña. Los productos se clasificaron por orden de importancia cuantitativa en: leña, palos para apoyar plantas y postes (Di Marco, E. 2009).

En la provincia de Chaco se estima una producción de 100 mil toneladas anuales, con destino a la producción de muebles. Las estadísticas de la Dirección de Bosques de la provincia Chaco contabilizan en 2010, 51.491 toneladas de rollos (valor de materia prima puesta en establecimientos industriales), correspondiente al cómputo de guías y vales de transporte. En cuanto a la superficie forestada con algarrobo se estima en 6 mil ha en la provincia de Chaco y en 2005 se plantaron 2 mil ha en la provincia Formosa (Di Marco, E. 2009).

1.6 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Reino: Vegetal.

Phylum: Telemophytae.

División: Tracheophytae.

Subdivisión: Anthophyta.

Clase: Angiospermae.

Subclase: Dicotyledoneae

Grado Evolutivo: Archichlamydeae

Grupo de Ordenes: Corolinos

Orden: Rosales

Familia: Leguminosae

Subflia.: Mimosoideae

Nombre científico: *Prosopis alba* griseb

Nombre común: Algarrobo

Fuente: Ing. M.Sc. Ismael Acosta Galarza Encargado Herbario Universitario

1.7 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA DE ALGARROBO.

1.7.1 PROSOPIS ALBA GRISEB.

1.7.1.1 ÁRBOL espinoso de 5 a 12 metros de altura, con diámetro de 40 a 80 cm, ramas y ramitas armadas de espinos (Alfaro, E. 1995).

Figura I-4

Árbol del algarrobo “*Prosopis alba griseb*”.



Fuente: Elaboración propia, 2017

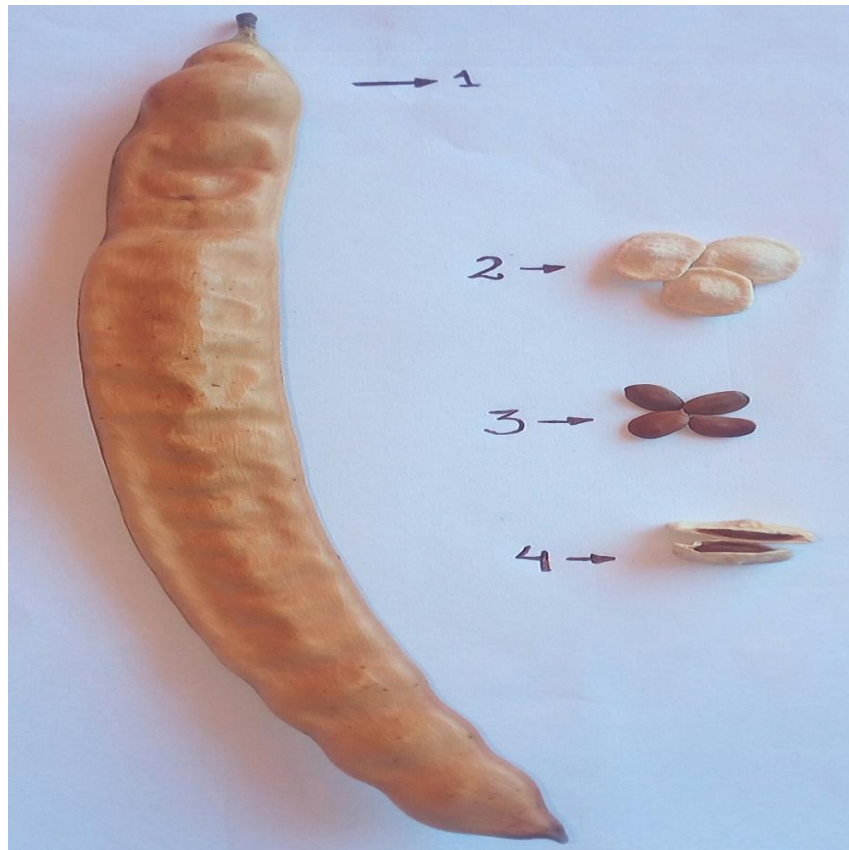
1.7.1.2 HOJAS abundantes, pero tenues bipinadas con 1-3 pares de pinas foliolos lineares, 25-36 pares por pina, multifloros, amarillo verdoso, flores hermafroditas de 5 a 7 mm de largo (Alfaro, E. 1995).

Figura I-5**Hojas, inflorescencia y legumbres de “*Prosopis alba griseb*”.**

Fuente: Elaboración propia, 2017

1.7.1.3 FRUTO de color amarillo claro, generalmente semicircular o en forma de hoz, a veces recto, aplanado, las caras laterales con marcas transversales de las semillas en relieve, la vaina dividida en numerosos artejos duros rectangulares que encierran las semillas, estas últimas castañas, lisas, lucidas en número de 15 a 30 por vaina, elipsoideas y subglobosas, comprimidas lateralmente de 6-7 mm de largo por 4-5 mm de ancho, 2 mm de espesor, 40 a 45 mg de peso, el fruto no está preparado para abrirse de manera fácil para que salgan las semillas (Alfaro, E. 1995).

Figura I-6
Fruto "*Prosopis alba griseb*".



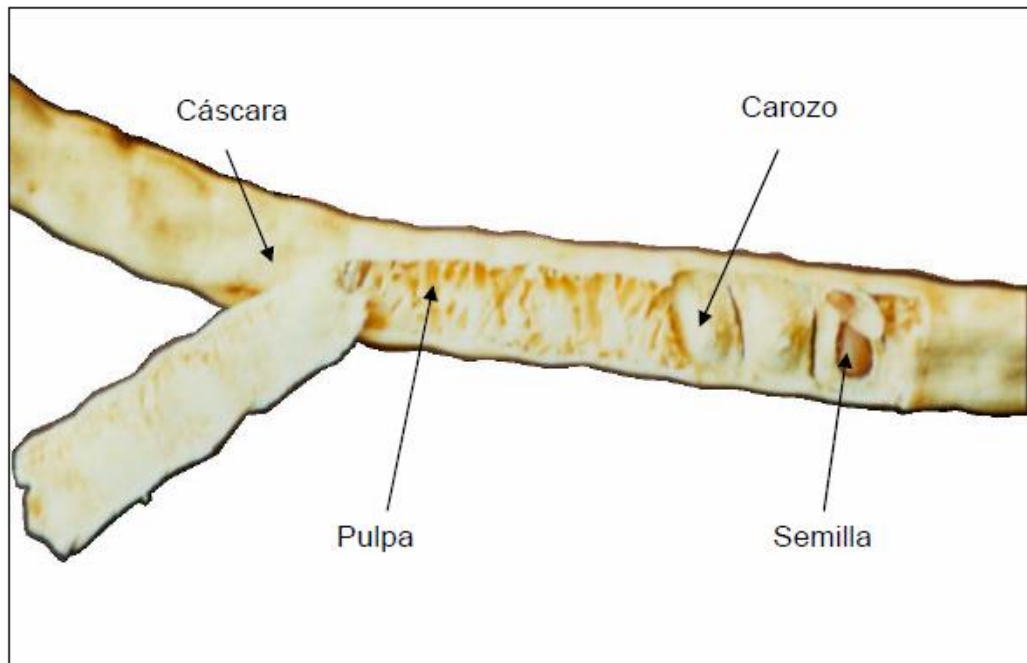
Fuente: Elaboración propia, 2017

1.-Fruto; 2.- Artejos del endocarpio; **3.-** Formas de semillas; **4.-** Sección transversal del fruto mostrando la semilla dentro del artejo.

Una algarroba está compuesta de cuatro componentes separables mecánicamente: exocarpio (cáscara fibrosa), endocarpio (carozo fibroso), mesocarpio (pulpa), y semillas (Prokopiuk, D. 2004).

Figura I-7

Componentes separables mecánicamente de una algarroba (algarroba madura de *Prosopis alba* aspecto interno).



Fuente: Dante Basilio Prokopiuk.

1.8 MATERIA PRIMA.

Las vainas de algarrobo constituyen la materia prima de la investigación.

Estos frutos se encuentran entre los alimentos más antiguos utilizados por el hombre pre-histórico en el Nuevo Mundo y hasta la actualidad han constituido una fuente de carbohidratos para muchos habitantes de los desiertos Nor y Sud Americanos.

La vaina es una legumbre que no está preparado para abrirse de manera fácil para que salgan las semillas, tiene forma alargada, más o menos curvada, que varía de 5 a 25 cm. de longitud, de 1,4 a 3 cm. de ancho y de 0,6 a 1,3 cm. de grosor, comprimido y carnoso (Alfaro, E. 1995).

Pueden distinguirse dos partes, la externa o pericarpio (pulpa) y la interna o semilla. En el pericarpio se diferencian tres estructuras:

Figura I-8
Estructura de la vaina de algarrobo.



Fuente: Elaboración propia, 2017

- **Epicarpio o cubierta exterior:** De color marrón amarillento y de naturaleza fibrosa.
- **Mesocarpio o pulpa:** Constituye la parte interior carnosa de la vaina, de color amarillento, textura y muy rica en azúcares.
- **Endocarpio o capa interna:** De color miel brillante, naturaleza fibrosa y divide a la legumbre en espacios carpelares o lóculos destinados a alojar las semillas (Alfaro, E. 1995).

La recolección se realiza a finales del verano o principios de otoño, según variedades y zonas.

La vaina, mediante procesado industrial es troceada y separada en sus dos componentes básicos: pulpa y semilla (Alfaro, E. 1995).

1.9 APORTES Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ALGARROBO.

1.9.1 IMPORTANCIA Y CONSUMO DE LA MATERIA PRIMA.

En la actualidad a nivel internacional la demanda de productos orgánicos se incrementa día tras día, el interés de las personas en **consumir** productos sanos, libres de compuestos químicos, con menor contenido calórico ya que es un factor por lo que se considera de vital **importancia** la implementación de un producto elaborado a base del algarrobo que conserve sus características naturales, y en lo posible no se introduzcan elementos químicos ajenos que afecten la salud de los potenciales consumidores.

Adoptada a los diversos climas y suelos de la región, el algarrobo es una especie arbórea que cumple un **importante** papel como proveedora de madera y leña, y que, en virtud de su capacidad de producción de fruto, también brinda alimento para **consumo** animal y humano. Estas propiedades convierten al algarrobo en un elemento estructurador de los sistemas silvopastoriles y agroforestales de la región, representando una de las más importantes alternativas desde el punto de vista de sustentabilidad (Luchini, L. 2010).

1.9.2 EL ALGARROBO COMO ALIMENTO.

Los frutos han sido y son utilizados como alimento por la palatabilidad del mesocarpo dulce, el alto contenido proteico de las semillas y el aporte de carbohidratos (Burkart, 1976; Prokopiuk, 2004). En general, el fruto entero contiene: (11 – 17%) de proteínas y (13.- 34%) de azúcares, con la proteína concentrada en las semillas (26 - 37 % de la semilla) y los azúcares en el pericarpo (Meyer et al., 1986) (Pía, M. 2012).

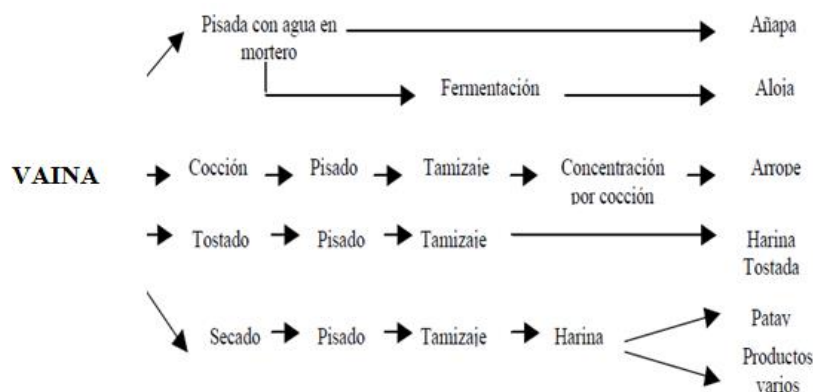
1.9.3 USOS TRADICIONALES COMO ALIMENTO.

Alimentación animal: Las vainas se cosechan y almacenan por algún tiempo, para brindárselo a los animales (bovinos) en épocas críticas (invierno y primavera). (Traskauskas, C.).

Alimentación humana: Con las vainas se preparan distintos productos que son muy consumidos por la población originaria y en las zonas donde se encuentra la especie. Algunas de estas preparaciones se citan en la figura siguiente.

Figura I-9

Preparaciones de la vaina.



Fuente: INCUPO (Traskauskas, C.).

1.9.4 PRODUCTOS TRADICIONALES DERIVADOS DEL ALGARROBO.

Los frutos de *Prosopis* se han usado como fuente de alimento, en casi todos los lugares donde existen estos árboles (Cruz, 1999).

Las vainas de muchas de las especies de *Prosopis* de América contienen un dulce y pulposo mesocarpio, y se han utilizado como alimento humano desde tiempos prehistóricos (Fagg y Stewart, 1994); de acuerdo con Felker (1981), ha sido la legumbre mucho más usada como fuente alimenticia. El uso de vainas de *Prosopis* para consumo humano data de tiempos lejanos (Prokopiuk, D. 2004).

Cuando los españoles arribaron a Sudamérica observaron que los indios, especialmente de Perú, Chile y Argentina, incluían vainas de *Prosopis* en sus dietas (Silva, 1988). Los algarrobos de mejor calidad se emplean en la alimentación humana, aunque en la Argentina su uso sólo persiste entre las clases pobres. Los indios, sobre todo en Chaco y Formosa, encuentran sin embargo un precioso recurso en los algarrobos (Burkart, 1952). Los indios tobas, con los algarrobos de *Prosopis alba* y *P. nigra*, preparaban harina dejándolas secar y moliéndolas en un mortero. La consumían disuelta en agua (Martínez Crovetto, 1964). Falkner (1787, citado por Burkart, 1952) describe los algarrobos en Santiago del Estero (Argentina) y dice que su fruto es el alimento más común de

los habitantes, quienes fabrican con él “patay”, “aloja” y “añapa” (Prokopiuk, D. 2004).

En **Bolivia** la gente hervía los algarrobos y comía su pulpa (Roig, 1993b).

Actualmente, entre los productos **derivados** existentes en el mercado, figuran: un sustituto del café (granos o polvo instantáneo), una melaza, alcohol (obtenido por fermentación), productos de panadería y snacks, combustible (carbón vegetal) y gomas (Figueiredo, 1975, 1990; Felker y Bandurski, 1977; del Valle et al., 1983; Meyer, 1984; Bravo et al., 1994; Frías - Hernández et al., 1994; Grados, 1996; Galindo - Almanza et al., 2000; Maldonado - Aguirre et al., 2000; Freyre et al., 2001; Arenas, 2003).

En el Departamento de Cochabamba (**Bolivia**), el **consumo** de frutos constituye el 54% de la alimentación humana, comprobándose que el complemento dietario de cereales (maíz) y algarroba favorece notablemente los índices biológicos de los consumidores (Loma Mercado et al., 2011). En Argentina, aún hoy, algunas comunidades locales en Chaco y Formosa, continúan utilizándolo como recurso para la alimentación (Burkart, 1952). En general, los frutos maduran rápidamente y caen; su período de aprovechamiento es muy corto, aproximadamente un mes. El “patay”, elaborado en ese período, una vez seco o tostado, asegura el mantenimiento del alimento por mucho tiempo. Para la elaboración de patay, los frutos maduros y secos se machacan en un mortero (de piedra o de madera), luego se ciernen para dejar sólo la harina y eliminar el resto, incluidas las semillas (Pía, M. 2012).

Figura I-10

Patay de Prosopis alba.



Fuente: Dante Basilio Prokopiuk.

Con esta harina y agua se elabora una pasta, se le da forma de panes que se secan, al horno o al rescoldo. Así, pueden conservarse bien en climas semiáridos (Roig y Dalmasso, 1986). En Catamarca, San Luis, Santiago del Estero y La Rioja, el patay es un alimento muy popular (Burkart, 1952). Las especies más utilizadas para su elaboración son: *P. alba*, *P. nigra* y *P. flexuosa*, también se usan *P. elata*, *P. ruscifolia*, *P. vinalillo* (Arenas, 1981), y *P. torquata* (Ragonese y Martínez Crovetto, 1947). Escudero y Herraiz (1943) encontraron que el patay, además del alto contenido de azúcares (30 -40 %), posee un alto contenido de calcio asimilable (0,138 - 0,217 %), como también de tiamina y de riboflavina.

En La Rioja llaman “chuningo” a una variedad de “patay”, que se prepara con los frutos molidos y cernidos, maíz y agua para ser consumida sin hornear. En Santiago del Estero elaboran bollitos a partir de pasta de mistol (*Zizyphus mistol*), rodeada por harina de algarrobo llamada “bolanchao” (Burkart, 1952).

Las bebidas con un alto contenido de alcohol como la chicha o aloja se elaboran por fermentación de las vainas en agua. Las especies más utilizadas en Argentina para la elaboración de “aloja” son *P. alba* y *P. chilensis* (Burkart, 1952), también *P. ruscifolia* (Martínez Crovetto, 1964), *P. hassleri* y *P. torquata* (Ragonese y Martínez Crovetto, 1947), *P. elata* y *P. vinalillo* (Arenas, 1981). En la provincia de Salta se prepara con frutos de *P. alba* según el siguiente protocolo: una parte de algarrobo molido en cuatro partes de agua. Se machacan los frutos en un mortero, luego se vierten en una tinaja agregando agua. Se tapa, se deja fermentar y transcurridas 24 horas comienza la formación de burbujas. A las 48 h, se saca la parte sólida estrujándola entre las manos y se agrega una mayor cantidad de algarroba. Esta bebida tiene un gusto acidulado agradable, pero debe ser consumida enseguida, no puede conservarse (Burkart, 1952).

La añapa, una bebida no fermentada, dulce y refrescante, se prepara a partir de frutos molidos colocados en agua fría (Cornelli, 1996). En Argentina y Chile, se utilizan las mismas especies que para la elaboración de la aloja. (Roig, 1993b; Habit, 1981). En México y Centroamérica, esta bebida se conoce como “mesquitatole” (Allen y Allen, 1981) y en Perú, “yusipín” (Cruz, 1999). Prokopiuk (2004), obtuvo un reemplazante de café a partir de frutos de *P. alba*

tostada a 160° C durante 60 minutos. El aroma del café, presentó matices de tostado, miel, hierba y chocolate. Resulta parecido al del café genuino y tuvo aceptación entre los consumidores. Recientemente, algunas pequeñas fábricas en Perú comenzaron a elaborar reemplazante de café o “café de algarroba” (Cruz, 1999). En la provincia de Formosa (Argentina), este producto es fabricado y comercializado por pobladores originarios de la etnia Wichí.

En Perú se prepara la algarrobina, un almíbar o extracto concentrado azucarado que se obtiene a partir de algarrobos maduros enteros o partidos, hervidos en agua durante dos horas, prensadas, filtradas y concentradas por evaporación. El resultado es un producto viscoso, de color marrón brillante que se comercializa en botellas de vidrio o botes de plástico para ser usado como endulzante y saborizante. Es revitalizante y fortificante para niños y ancianos. Se utiliza en repostería y como aperitivo, mezclándolo con pisco y leche (Cruz, 1999, Prokopiuk, 2004). Una ventaja, es que los frutos podrían cosecharse de Diciembre a Febrero y luego almacenarlos para ser usados en temporadas de escasez (Karlin, 1979). Las moliendas que incluyen el fruto (pericarpo) y las semillas, registran alto contenido de proteínas. Este producto asegura el aporte de proteínas (8,5 %), fibras (11,5 %) y sales minerales, en especial calcio y hierro (INCUPO, 1997). Esta harina responde a los requerimientos recomendados por la FAO (FAO/WHO, 1973) (Pía, M. 2012).

En Perú la “algarrobina” se consume de diferentes maneras: muchas personas recomiendan tomar una cucharada diaria como alimento saludable o también directamente o agregándola al jugo de frutas o la leche, como agente endulzante y saborizante. Se da a menudo de este modo a niños y a personas de avanzada edad porque se reconocen en la “algarrobina” propiedades fortificantes y revitalizantes. En las zonas urbanas, este almíbar se usa como un ingrediente en repostería y para preparar una bebida sabrosa, el “cocktail de algarrobina”, la cual es una mezcla de una pequeña cantidad de “algarrobina” con “pisco” (aguardiente de uva) y leche (Cruz, 1999) (Prokopiuk, D. 2004).

Las alternativas de utilización de las vainas están localizadas especialmente en el uso de las diferentes partes del fruto [exocarpio, mesocarpio (pulpa), endocarpio]

y el episperma, endosperma y cotiledones de la semilla. Cada uno de estos componentes puede tener aplicaciones específicas industriales en la elaboración de alimentos. Con las vainas de algarrobo blanco maduras y secas se puede obtener un polvo harinoso dulce que puede ser materia prima para distintos productos alimenticios, como galletas, pan, tortas o pasteles en mezcla con leche, como reemplazante del café y del cacao, o fibras para el desayuno (Felker, P. 1999).

1.10 PROPIEDADES DEL ALGARROBO.

El algarrobo como harina que se extrae del fruto del algarrobo, en muchas ocasiones funciona como reemplazante del chocolate en recetas para personas que no pueden comerlo. Los budines o galletas de algarrobo son muy recomendados para celíacos, ya que no contiene gluten.

Es un alimento muy energizante, que tiene muchísimos beneficios para el organismo, especialmente a la hora de curar molestias y dolencias respiratorias y gástricas. Esto se debe especialmente a que el algarrobo contiene muchísimos mucilagos, que desinflama las mucosas y las vías respiratorias irritadas. Lo mismo ocurre en el sistema digestivo, aliviando las molestias estomacales y ayudando a la digestión y curando diarreas.

Hay que destacar el alto contenido energético del algarrobo, ya que posee un 50% de azúcar natural y apenas un 10% de proteínas. También es muy rica en vitaminas del complejo vitamínico B y vitamina A. Posee grandes cantidades de potasio, fósforo, magnesio, calcio, hierro y silicio; y también es muy rica en taninos, un poderoso antioxidante natural.

Más que la harina, la resina del algarrobo se recomienda especialmente para los tratamientos naturales del asma, blenorragia, laringitis, cistitis e indigestión. En este caso funciona también como un antiinflamatorio. También puede utilizarse como gotas para aliviar inflamaciones oculares, y funciona como purgante natural equilibrado.

1.11 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALORACIÓN NUTRICIONAL.

En cuanto a la composición química y valoración nutricional de los frutos, Freyre et al. (2003), reportan que los valores para la harina de los frutos de *P. alba* creciendo en la provincia de Formosa son:

Tabla I-1 Composición química y valoración nutricional.

COMPONENTES	VALOR
Humedad	(4%)
Cenizas	(3,4%)
Proteínas	(7,4%)
Materia grasa	(1,8%)
Fibra	(21,2%)
Hidratos de carbono	(62,2%)
Ácidos grasos saturados	(0,4%)
Ácidos grasos mono insaturados	(0,4%)
Ácidos grasos polinsaturado	(0,5%)
Sodio	(6%)
Almidón y ácidos grasos trans	No se detecta

Fuente: (INTA, 2006).

Según Prokopiuk et al. (2000), los valores en frutos de *P. alba*, molidos y tostados a 60° C por 60 minutos, expresados en gramos por kilogramo de masa seca, son:

Tabla I-2 Valores en frutos de *P. alba*, molidos y tostados.

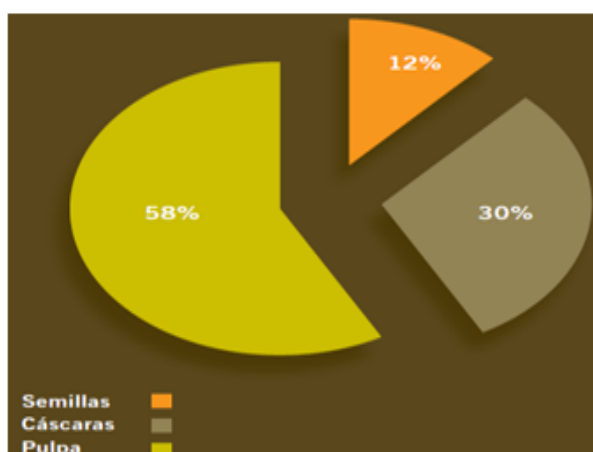
Proteínas	71,7 g/kg de masa seca
Grasa	21,7 g/kg de masa seca
Cenizas	31,3 g/kg de masa seca
Carbohidratos totales	849,6 g/kg de masa seca
Azucares totales	591 g/kg de masa seca
Azucares reductores	27,6 g/kg de masa seca
Fibra cruda	24,3 g/kg de masa seca
Fibra dietética insoluble	200,9 g/kg de masa seca
Fibra dietética soluble	64,7 g/kg de masa seca
Fibra dietética total	265,6 g/kg de masa seca
Taninos condensables	5,7 g/kg de masa seca
Polifenoles solubles totales	0,06 g/kg de masa seca
Calcio	1274,5 mg/kg
Hierro	450 mg/kg
Potasio	8920 mg/kg
Magnesio	967 mg/kg

Fuente: (INTA, 2006).

1.12 DESCOMPOSICIÓN DEL FRUTO (VAINA) ALGARROBO PROSOPIS ALBA GRISEB.

FIGURA I-11

Descomposición del fruto (vaina) algarrobo “*Prosopis alba griseb*”.



Fuente: (Luchini, L. 2010).

La separación de las partes del fruto del algarrobo proporciona la posibilidad de elaboración de varios productos.

1.13 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y UTILIDADES DE LA PULPA.

La pulpa representa aproximadamente el 56% del peso total del fruto (Cruz, 1999) (Prokopiuk, D. 2004).

La **composición química** es variable, dependiendo de la variedad, zona, clima y técnicas de cultivo, destacando el elevado contenido en azúcares solubles (40-50%) de los cuales casi el 75% corresponde a la sacarosa y el resto se compone de glucosa, fructosa y maltosa en la relación mientras que son bajos los porcentajes de proteína bruta (3-5%) cenizas (2,5-3%) y grasa (0,2-1,5%).

La pulpa es utilizada también para la fabricación de un producto destinado a la alimentación animal. En forma triturada se emplea en el engorde de terneros y cerdos; y troceada se usa para el ganado vacuno, ovino, caprino, equino y también para conejos (Alfaro, E. 1995).

1.14 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y UTILIDADES DE LA SEMILLA.

La semilla constituye normalmente el 10% del peso del fruto entero y se compone de tres elementos estructurales diferenciados:

Tabla I-3 Elementos estructurales

Cutícula o testa	(30-33%)
Endospermo	(42-46%)
Germen	(23-25%)

Fuente: (Alfaro, E. 1995).

- a) Cutícula o epispermo: Conocido también como testa, es el tegumento que rodea a la semilla y está constituido principalmente por celulosa, lignina y taninos. De ella se obtienen colorantes, carbón activo y extractos tánicos principalmente.
- b) Endospermo: Es el tejido de reserva de la semilla, el cual es usado cuando la semilla comienza a germinar en el suelo.

- c) Germen: Es la parte de la semilla en la que reside el poder germinativo y está constituido por el embrión y los cotiledones. Se utiliza en la obtención de harina de germen que tiene un elevado contenido proteico próximo al 50% y pequeñas cantidades de fósforo, potasio y vitaminas B, B2, D, E y P.P. Concretamente se usa en preparados dietéticos y de régimen; extractos alimenticios vegetales, productos especiales para diabéticos, pastas, bizcochos, etc (Alfaro, E. 1995).

1.15 PRINCIPIOS ACTIVOS Y FACTORES ANTI NUTRICIONALES.

❖ Proteínas

En la semilla la concentración relativa de sustancias de reserva (lípidos, proteínas y carbohidratos) varía considerablemente entre especies. Las proteínas de reserva se acumulan en cuerpos proteicos, ovoides o esféricos, rodeados de una membrana. En general, los cuerpos proteicos varían en la estructura interna y tamaño (Pía, M. 2012).

❖ Azúcares

La pulpa del fruto de *P. alba*, tiene una cantidad de azúcares totales equivalente a 549,14 g/kg de materia en base seca, con una cantidad alta de azúcares reductores (27,6 g/kg). Se caracteriza, además, por la presencia de xilosa, fructosa, glucosa y sacarosa, está última en proporción mayoritaria (Pía, M. 2012).

❖ Fibra

La fibra alimentaria (fibra dietética) es un componente importante en alimentos de origen vegetal por sus propiedades para el organismo humano.

La fibra cruda indica la porción no digerible de los alimentos. Prokopiuk et al. (2000) indican los siguientes valores en *P. alba*: para fibra dietética total (FDT): 265,6 g/kg, fibra dietética insoluble (FDI): 200,9 g/kg y fibra dietética solubles (FDS): 64,7 g/kg (Pía, M. 2012).

❖ Taninos

Dada la baja proporción de taninos en frutos de *P. alba*, son insignificantes los efectos adversos mencionados de los taninos condensados (5,7 g/kg base seca) y

polifenoles solubles totales (0,06 g/kg base seca). Por lo tanto su presencia no constituye un factor limitante para ser usado en la elaboración de alimentos (Pía, M. 2012).

1.16 HARINA

La harina es un producto obtenido de la molienda de diferentes especies vegetales, llevadas a contenidos óptimos de humedad para su almacenamiento y adecuada conservación (Rodríguez B. G. y col, 2004).

Se puede obtener harina de distintos cereales y de otros alimentos ricos en almidón, aunque la más habitual es la harina de trigo (Rodríguez B. G. y col, 2004).

1.16.1 CLASIFICACIÓN DE LAS HARINAS.

Las harinas en general, se clasifican teniendo en cuenta la cantidad de gluten que poseen; según esto pueden ser Flojas o Fuertes:

- **Harina floja:** Se conoce como harina floja, a aquella que en su composición contiene poco porcentaje de Gluten, no es apta para la industria panificadora, ya que con ello el pan resulta bajo y de apariencia deficiente. La característica primordial de este tipo de harina es que retienen muy poca agua, por ello forman masas muy débiles (flojas).
- **Harina fuerte:** La harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha agua, posibilitando la formación de masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios (Bonilla, 2013).

Otra clasificación de las harinas es numeración por “ceros”.

Una de las clasificaciones de la harina, más habitual en Argentina y los países de Sudamérica, es mediante ceros; un cero (0), dos ceros (00), tres ceros (000) y cuatro ceros (0000). Los ceros determinan los grados de pureza de la harina.

- **Las harinas 0:** Son las más bastas, con más impurezas y posibles restos de granos. Son menos refinadas, y se utilizan para elaboraciones más espesas.

- **Las harinas 00 y 000:** Se utilizan siempre en la elaboración de panes, ya que su alto contenido de proteínas posibilita la formación de gluten y se consigue un buen leudado sin que las piezas pierdan su forma.
- **La harina 0000:** Es más refinada y más blanca, al tener escasa formación de gluten no es un buen contenedor de gas y los panes pierden forma. Por ese motivo sólo se utiliza en pastelería, repostería, etc, y masas que tengan que ser ligeras.

El equivalente entre esta clasificación de la harina y clasificación de su fuerza podríamos decir que:

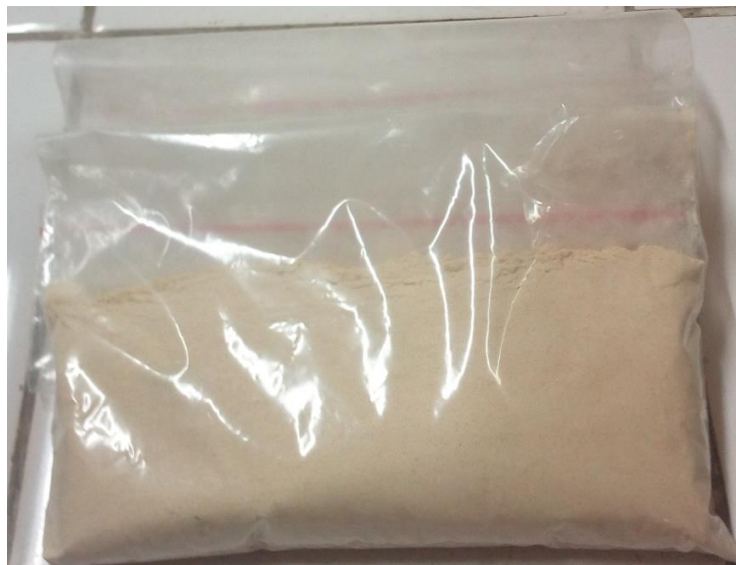
- Harina 0 = harina de gran fuerza.
- Harina 00 = harina de media fuerza.
- Harina 000 = harina floja.
- Harina 0000 = harina muy floja.

1.16.2 DESCRIPCIÓN DE LA HARINA DE ALGARROBO.

Con el nombre de “Harina de algarroba, se entiende el producto de la molienda de las semillas, limpias, sanas y secas, del algarrobo blanco (*Prosopis alba Griseb*) y/o algarrobo negro (*Prosopis nigra* (Grisebach) Hieronymus)].” (Pía, M. 2012).

Las harinas de algarrobo (conocidas como “algarrobas”) son dulces, con predominio de sacarosa, y la investigación abre camino a utilizaciones distintas de las tradiciones. Si se las tuesta suavemente se obtiene una sustancia semejante al chocolate, tanto sensorialmente como desde el punto de vista del aroma, y si se les da un tostado intenso se crea un sustituto del café, pero libre de cafeína. Como su contenido de hidratos de carbono es menor que el de la harina de trigo, el consumo es adecuado para los diabéticos. Además, permite la elaboración de alimentos para celíacos, dado que no contiene gluten.

Figura I-12
Harina de algarrobo.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.16.3 USOS Y APLICACIONES DE LA HARINA DE ALGARROBO.

La harina de algarrobo es un alimento que merece probarse por nutritivo y sabroso. Es naturalmente dulce y no contiene estimulantes u otras drogas. Recogida en su justo punto de madurez, la vaina del algarrobo brinda una harina aromática y muy dulce, con sabor bastante parecido al cacao y con muchas propiedades nutricionales. Proveniente de las semillas del fruto del algarrobo, que crece en largas vainas con forma de cuernos, la harina se produce a partir de la molienda de dichas vaina. Dentro de ellas están las semillas, y una proporción de éstas, aunque baja, es parte de la harina (INTA-IPAF, 2012).

El algarrobo ha sido largamente utilizado como sustituto para el chocolate en recetas para dulces y horneados más saludables. Además con el reemplazo de algarrobo implica utilizarse menos azúcar, dado que el polvo de algarrobo es naturalmente más dulce que el cacao. Los alimentos que se producen a escala artesanal o en pequeños establecimientos suelen venderse en las dietéticas o en casas de comidas naturales. Los budines y caramelos de algarrobo hace tiempo que están, pero no todos los conocen (INTA-IPAF, 2012).

El fruto del algarrobo, que contiene una pulpa dulce y de color amarillo, tiene varios destinos y se usa como un reemplazo del café, como miel, para hacer licor y especialmente, como una harina blanca o tostada, dulzona y orgánica, porque no contiene conservantes ni agroquímicos (INTA-IPAF, 2012).

1.16.4 PROPIEDADES DE LA HARINA DE ALGARROBO.

El algarrobo pertenece a la familia de las legumbres. Su harina es más baja en grasas y calorías. No contiene cafeína ni otros estimulantes del cacao. Su dulzor es natural (tiene azúcares). Es fuente de proteínas, hidratos de carbono, fósforo, potasio, calcio, hierro, pectina, lignina y vitaminas A, B1 y B3 (INTA-IPAF, 2012).

Las fibras que contiene benefician la flora intestinal y disminuyen las bacterias e incrementan los lactobacilos. Asimismo, la pectina aporta propiedades como la laxante, coagulante, bactericida, preventiva del cáncer, reductora del colesterol y elimina metales pesados y sustancias tóxicas del organismo, protegiendo la mucosa intestinal.

Contiene taninos que evitan las formaciones cancerígenas, actúan como antiinflamatorios, antirreumáticos y son beneficiosos para el corazón y los pulmones (INTA-IPAF, 2012).

1.16.5 COMPOSICIÓN Y VALOR ALIMENTICIO DE LA HARINA DE ALGARROBO.

1.16.5.1 COMPOSICIÓN

Las harinas de algarrobo contienen proteínas en cantidad menor que las semillas de otras leguminosas como los porotos, arveja, soja. Es normal, ya que estas harinas son el resultado de la molienda de las vainas y de las semillas. Al separar las semillas de las vainas y analizarlas se encontraron valores proteicas muy altas que pueden competir con los valores de la soja. Sin embargo, a nivel comunidad, por el momento, la separación de las semillas para tener un alimento más proteico es impensable porque se precisa herramienta sofisticada y sobretodo porque el rendimiento es muy bajo ya que las semillas alcanzan a penas 9% del peso de las vainas (Saravia, R. 1992).

En las dos harinas, hay presencia notable de hidratos de carbono: la sacarosa que da el sabor dulzón, pero también maltosa y almidón; éste en pequeñas cantidades lo que permite consumir las vainas crudas. Los azúcares son más elevados en el algarrobo blanco; por eso es más preciada que las otras, por las personas que le gusta lo dulce.

Las grasas aparecen en pequeñas cantidades, pero los análisis revelan que son de excelente calidad en particular es muy buena la composición en ácidos grasos indispensables (linoleicos y oleicos) que nuestro organismo no puede fabricar. Las fibras son muy importantes sobre todo en la harina de cernido grueso. Pero lo más notable es la cantidad de sales minerales; estos árboles por sus raíces son capaces de extraer su producción frutal. Si bien todos tienen valores altos, los más interesantes son el calcio en cantidades vecinas al queso fresco, y el hierro que en el algarrobo blanco llega a los valores del hierro del hígado (Saravia, R. 1992). (Sharpenier, M. 1998).

1.16.5.2 VALOR ALIMENTICIO.

Las harinas de algarrobos son constructoras por sus proteínas, calcio y hierro (Saravia, R. 1992).

Brinda un buen contenido proteico aunque, como todas las leguminosas, no contiene todos los aminoácidos esenciales que el organismo necesita. Sin embargo, esto se puede solucionar mezclando esta harina con algún cereal o sus derivados (trigo, arroz, maíz, avena) (Molina y burkart. 2015).

Hierro y calcio son otros nutrientes que se encuentran en mayor cantidad respecto a otras harinas. Sin embargo, debe recordarse que los nutrientes presentes en alimentos de origen vegetal presentan menor absorción de sus nutrientes que los de origen animal (Molina y burkart. 2015).

Por la alta presencia de azúcares estas harinas son altamente energéticas. Las grandes cantidades de sales minerales son un aporte valioso a las necesidades de regulación de nuestro organismo sobre todo si se toma la precaución de completar su consumo con algunas frutas o verduras frescas para el aporte de vitamina A y C.

Con estas precauciones podemos considerar las harinas de estas leguminosas como alimentos casi completos (Saravia, R. 1992).

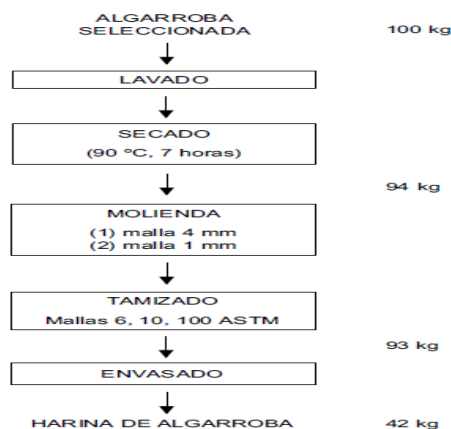
Por su valor nutritivo y fácil disponibilidad, los algarrobos pueden ser procesados y usados como suplementos e ingredientes alimenticios. El procesamiento involucra la separación de las partes del fruto, siendo la fracción de mesocarpio (pulpa) la que ofrece más posibilidades de aplicación, en forma de harinas o extractos.

1.17 PROCESO PARA LA PRODUCCIÓN DE HARINA DE ALGARROBO.

El proceso para la producción de harina de algarrobo se presenta en la Figura I-13 y consta de las siguientes etapas que indican en la figura I-13:

Figura I-13

Diagrama de bloques del proceso de elaboración de harina de algarrobo.



Acopio. Consiste en abastecerse de materia prima, sobre todo durante la época de la cosecha (diciembre a marzo), con el fin de disponer de ella durante todo el año. En la propuesta se han evaluado dos opciones: la de acopiar para disponer de materia prima todo el año y la de ir comprando según los requerimientos de producción.

Selección. En este caso la selección es más tomada en cuenta que en el proceso anterior, con el fin de evitar la presencia de huevos de insectos y materias extrañas que disminuirían el tiempo de vida del producto final.

Almacenamiento. El algarrobo, una vez seleccionado, se somete a un proceso depre-secado para llevar la humedad inicial (alrededor de 14%) hasta un 12%. En estas condiciones se procede a almacenar, de manera que se conserve la calidad durante un tiempo de almacenamiento prolongado.

Lavado. Las vainas se lavan con agua de manera que se eliminan sustancias adheridas a ellas. La operación se realiza en una lavadora, cuyas características se detallan en la Tabla 4.

Secado. Es la etapa en la que se disminuye el contenido de humedad de las vainas con el fin de facilitar la operación de molienda y evitar la aglomeración de la harina y el atascamiento de los martillos del molino. La humedad de las vainas al final de esta etapa es de 6%; esto se consigue en un secador de bandejas cuyas características se encuentran en la Tabla I-4.

Molienda. Se efectúa en dos etapas en un molino pulverizador cuyas características se aprecian en la Tabla I-4. En primer lugar se muelen las vainas enteras colocando en el molino la malla de abertura de poro de 4 mm; luego, el producto se muele por segunda vez, usando para ello la malla de abertura de poro de 1 mm. Esta operación permite obtener un 45% de harina respecto a la cantidad alimentada de algarrobo.

Tamizado. El producto pulverizado anteriormente se hace pasar a través de tres tamices con el fin de separar la harina fina. Esta última es la fracción pasante por la malla N° 100 (ASTM). Para los volúmenes que se plantea procesar, son necesarios cuatro tamizadores vibratorios que generan una capacidad de tamizado de 80 kg/h. En la Tabla I-4, se aprecian las características para un tamizador vibratorio.

Envasado. El producto final se envasa en bolsas de polietileno de 2 kg de capacidad (Grados, N; Ruiz, W; Cruz, G; Díaz, C y Puicon, J. 2000).

Tabla I-4 Equipos para la producción de harina de algarrobo.

EQUIPO	CARACTERÍSTICAS
Lavadora de vainas	Rendimiento: 125 kg/h-H Tanque colector de agua de 01 m ³ Bomba de recirculación: 1/2 HP
Secador estático de bandejas	Rendimiento: 700 kg/6 horas Quemador a gas de 175.000 BTU/h Sistema de recirculación de aire con extractor de aire de 1 HP. Carros portabandejas: 12 Bandejas/carro: 11 Capacidad de cada bandeja: 5,5 kg
Molino pulverizador	Material: acero inoxidable Rendimiento: 70 kg/h Motor trifásico: 3,5 HP Velocidad del rotor: 3.700 rpm Número de martillos pivotantes: 24
Tamizador vibratorio	Material: acero inoxidable Rendimiento: 20 kg/h Motor trifásico: 1/4 HP 3 tamices ASTM N°: 6, 10 y 100

Fuente: (Grados, N; Ruiz, W; Cruz, G; Díaz, C y Puicon, J. 2000).

1.18 PARDEAMIENTO

Un factor crítico para la industria de alimentos es la calidad sensorial de sus productos, siendo el color uno de los índices más importantes en su evaluación (Dondero et al., 1985). El oscurecimiento de los alimentos es un fenómeno común que ocurre durante el procedimiento y almacenamiento de los mismos. Las reacciones de pardeamiento alteran el sabor, la apariencia y el valor nutritivo del producto (Eskin, 1990). Los mecanismos de oscurecimiento suelen dividirse en enzimáticos y no enzimáticos según su origen (Sapers 1993) (Morales, A. 1999).

1.18.1 PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO.

El sistema enzimático más involucrado en el pardeamiento de frutas y vegetales es el de la polifenoloxidasas (PPO). Este complejo incluye todas aquellas enzimas capaces de oxidar compuestos fenólicos a orto-quinonas. Su nombre bioquímico es o-difenoloxireductasa y requiere de cobre como grupo prostético.

Estas enzimas catalizan dos tipos de reacciones: la ortohidroxilación de los monofenoles y la oxidación de los difenoles a sus correspondientes o-quinonas. En ambos casos el oxígeno es indispensable ya que actúa como aceptor de protones (H⁺).

Las o-quinonas formadas se pueden polimerizar y producir pigmentos conocidos como melaninas o bien acoplarse con aminoácidos, proteínas o fenoles generando tonalidades oscuras. Aunque el color final de los polímeros es café existe una gran variedad de compuestos intermedios con colores rosa, rojo o azulado (Morales, A. 1999).

Existen numerosos medios para impedir el pardeamiento enzimático entre los más comunes se encuentran:

- Tratamiento térmico
- Agentes químicos
- Sulfitos
- Ácido ascórbico
- Ácido cítrico

1.18.2 PARDEAMIENTO NO ENZIMÁTICO.

Los tres principales mecanismos de pardeamiento no enzimático son las reacciones de Maillard, la caramelización de los azúcares y la degradación del ácido ascórbico (Eskin, 1990). Estas reacciones se aceleran por el calor y son particularmente importantes durante las operaciones de cocción, pasteurización y deshidratación. El oscurecimiento del producto no siempre se debe a uno sólo de estos mecanismos pues en ocasiones pueden ocurrir simultáneamente y en algunos casos las reacciones comparten intermediarios en común (Morales, A. 1999).

1.19 CARACTERÍSTICAS DEL PRETRATAMIENTO.

1.19.1 DG-6

El dg-6, es ideal en la desinfección de verduras, legumbres, frutas y hortalizas, no es tóxico a diluciones habituales en la desinfección de verduras, bacterias, hongos, virus y gérmenes de fiebre tifoidea, cólera y salmonella, de los alimentos frescos: verduras, legumbres frutas y hortalizas. Es un desinfectante que destruye los microbios.

1.20 CONCEPTOS BÁSICOS DE SECADO DE ALIMENTOS.

A continuación se describen conceptos básicos involucrados en el proceso de secado de alimentos.

1.20.1 SECADO

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos. Es un proceso copiado de la naturaleza; se han realizado mejoras en las características de la operación. El secado es el método de conservación de alimentos más ampliamente usado (Desrosier, Norman W 1995) (Ordoñez, B. 2007).

Según Cánovas y Mercado (2000), la deshidratación de alimentos es una de las operaciones unitarias más relevantes e importantes en el proceso de secado de alimentos, la deshidratación de alimentos reduce la cantidad de agua lo que provoca una disminución del peso y reduce la posibilidad de crecimiento de microorganismos que aceleran la descomposición (García, J. 2005).

Los términos de secado y deshidratado se relacionan mucho, debido a que los dos se refieren al proceso de eliminación de agua, la diferencia está en el contenido final. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, define como producto deshidratado al que no contiene más del 2.5% de agua (base seca) y como alimento seco todo aquel que ha sido expuesto a un proceso de eliminación de agua y que contiene menos del 2.5% de ésta (Cánovas y Mercado, 2000).

1.20.2 SECADO DE LOS PRODUCTOS DESHIDRATADOS.

1.20.2.1 EL MECANISMO DE SECADO.

Según Cánovas y Mercado (2000), el calor requerido para el secado puede ser suministrado por convección, conducción y radiación. En el procesamiento de alimentos se puede utilizar tanto el secado directo como indirecto. Directo cuando la humedad del alimento es removida mediante aire sin la presencia de otro material; en el indirecto se usan tambores u otros tipos de mecanismos, la humedad removida es por el material caliente y no por aire.

Para una adecuada evaluación de los fenómenos de secado de cualquier producto alimenticio es necesario comprender los conceptos físico-químicos asociados con la deshidratación de alimentos. Los elementos claves para cualquier operación de secado de alimentos que deben ser tomados en cuenta son: actividad de agua, temperatura de transición vítrea, los mecanismos y teorías de deshidratación y los cambios químicos y físicos (Cánovas y Mercado, 2000).

1.20.2.2 CAMBIOS FÍSICO- QUÍMICOS EN LOS PRODUCTOS DESHIDRATADOS.

Como establece Lewis (s.f.), debido a las condiciones a las que son sometidos los alimentos en la deshidratación, las características de los productos tienden a cambiar, el contenido de agua juega un papel muy importante, ya que al eliminar parte de ésta las características organolépticas que son percibidas de manera diferente. La misma vida útil del producto se aumenta por la eliminación de agua, ya que esto evita el crecimiento de microorganismos que deterioran el alimento.

De acuerdo a Mercado y Cánovas (2002), los cambios de estructura en la deshidratación afectan la calidad del producto, siendo estos cambios: endurecimiento, estructura leñosa, baja o incompleta rehidratación y pérdida de la frescura de los alimentos.

Según Lewis (s.f.), los cambios que pueden presentarse en el secado de alimentos son:

- ✓ Diferencias de color.
- ✓ Diferencias de sabor.
- ✓ Pérdida de vitaminas y elementos nutritivos.
- ✓ Ataque de hongos y mohos.

1.20.2.3 CAMBIO DE PROPIEDADES FÍSICAS DEBIDO AL SECADO POR AIRE CALIENTE.

Durante el secado la forma y tamaño del producto cambia, influenciando sus propiedades físicas como la densidad de partícula y la porosidad, en consecuencia cambia su textura, rehidratación y propiedades de transporte de nutrientes en

alimentos secos. Estas propiedades varían durante el secado debido a la remoción de humedad, cambio estructural y colapso interno celular (Mujumdar, 2000).

Durante la deshidratación, el agua migra desde las células interiores del alimento, atravesando las membranas celulares y las paredes circundantes a las mismas, para luego fluir a través de una estructura porosa hacia el medio de secado. Los gradientes de humedad dentro del producto inducen tensiones micro-estructurales, llevando el producto a encogerse y/o a deformarse. El encogimiento puede ocurrir como consecuencia de que el tejido no es capaz de retener su malla estructural cuando los espacios que contienen agua son continuamente vaciados y luego rellenos por aire, y la estructura externa colapsa. También, en el último caso, el fenómeno llamado endurecimiento superficial influencia los fenómenos de encogimiento del producto (Michelis, 2008).

1.21 CLASIFICACIÓN DE SECADORES.

En la actualidad existe una gran variedad de equipos de secado, y hacer una clasificación de los mismos es casi imposible: Diversos autores lo han intentado atendiendo a diversos criterios, como el tipo de materia prima a secar, y el modo en que el material se transfiere a través del secador (Marcilla, A. 1999).

A continuación se muestra algunos tipos de secadores que se utilizan para el secado de alimentos a nivel industrial:

1.21.1 SECADOR DE BANDEJAS.

Este tipo de secadores se utilizan normalmente para materiales granulares o particulados. La materia a secar se sitúa en una serie de bandejas. Estas bandejas pueden calentarse por la parte inferior por medio de serpentines o resistencias, y el secado se lleva a cabo por medio de circulación de aire sobre el material. En algunos casos el aire se calienta previamente al paso por el secador. En muchos casos de ellos se utiliza recirculación de aire y recalentamiento antes del paso por cada bandeja. Este procedimiento presenta dos ventajas. Por una parte se requieren menores cantidades de aire para conseguir el mismo grado de secado. Por otra, si se tuviera que eliminar la misma cantidad de agua con una sola etapa, la misma cantidad de aire debería calentarse a una temperatura más elevada.

1.21.2 SECADORES ROTATORIOS.

Para el secado continuo de materiales en gran escala (0.3 kg/s o mayor) los hornos rotatorios son muy adecuados. Consisten en tubos relativamente largos montados sobre sistemas que permiten su giro, a baja velocidad (hasta 0.4 Hz), alrededor del eje del cilindro. El cilindro se suele disponer con un pequeño ángulo sobre la horizontal, de modo que el material, alimentado por la parte más elevada, pueda circular por gravedad a lo largo del secador. El aire puede alimentarse indistintamente por cualquiera de los dos extremos, circulación en contracorriente o en paralelo. La calefacción se puede proporcionar por dos procedimientos:

- a) calefacción directa, donde los gases calientes se hacen circular sobre los sólidos.
- b) calefacción indirecta, donde el material está en el interior de una carcasa interna que se calienta externamente por gases calientes (sin contacto con el sólido a secar). Alternativamente, se pueden disponer tubos por el interior de los cuales circula el gas caliente.

Suelen llevar una serie de aletas o tabiques deflectores que facilitan la circulación y agitación de los sólidos. El gas caliente en algunos casos se introduce por orificios laterales situados en la pared de la carcasa, de forma que en una parte del horno la circulación es a través del lecho, en lugar de flujo paralelo. En muchos casos estos sistemas de aletas o tabiques puede ser muy complicado.

1.21.3 SECADORES DE TAMBOR.

Se utilizan para el secado de suspensiones o soluciones, y consisten generalmente en tambores cilíndricos interiormente calentados por vapor, que giran muy lentamente. La parte inferior se encuentra sumergida en la suspensión o pasta a secar, la parte arrastrada en su giro se seca y es retirada de su superficie por medio de cuchillas situadas en el otro extremo.

La solución, suspensión o pasta, se mantiene agitada con el fin de evitar la decantación. La alimentación a veces se realiza por vertido o spray sobre el tambor. En algunos casos se utilizan dobles tambores.

1.21.4 SECADORES DE SPRAY.

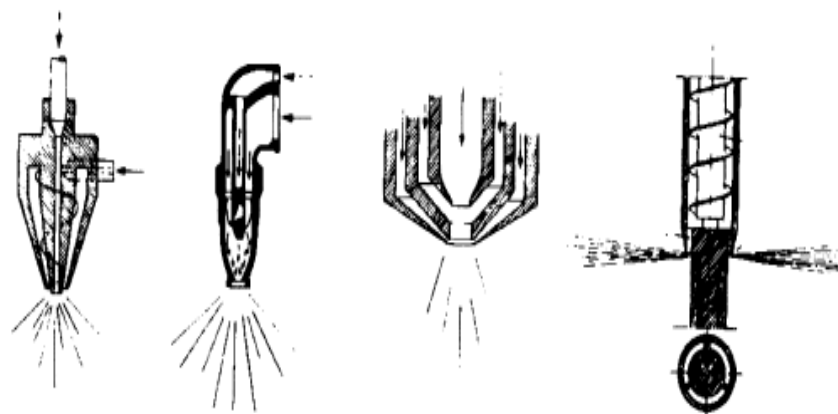
El agua de una suspensión de finas gotas o partículas de una disolución o suspensión se puede evaporar produciendo una nebulización de las mismas en una cámara por donde se hace circular gases calientes. Por este procedimiento se obtienen grandes superficies interfaciales de contacto y, por lo tanto elevadas velocidades de evaporación.

La temperatura de las gotas permanece por debajo de la temperatura húmeda del gas hasta que el secado se ha completado prácticamente. Por ello, el proceso resulta adecuado para el secado de materiales que tienen baja estabilidad térmica, como es el caso de la leche, el café, el plasma, etc. El material se obtiene normalmente con tamaños de partícula muy pequeño.

En este tipo de secadores hay que atomizar y distribuir el material bajo condiciones controladas. El tiempo de secado está directamente relacionado con el tamaño de partícula. Se pueden manejar distintos tipos de materiales que van desde las soluciones-suspensiones hasta pastas e incluso geles. Hay, por tanto, multitud de diseños de atomizadores: de tipo boquilla, rotatorios, de impacto, a presión, etc. Figura I-14 muestra algunos tipos de atomizadores.

Figura I-14

Tipos de atomizadores.



1.21.5 SECADORES NEUMÁTICOS.

En este tipo de secadores el material se mantiene finamente dividido, de forma que la superficie por unidad de volumen es grande y se obtiene una gran velocidad de secado. El sólido se introduce en el secador por medio de un alimentador mecánico (tomillo sin fin, rueda dentada, extrusor con guillotina).

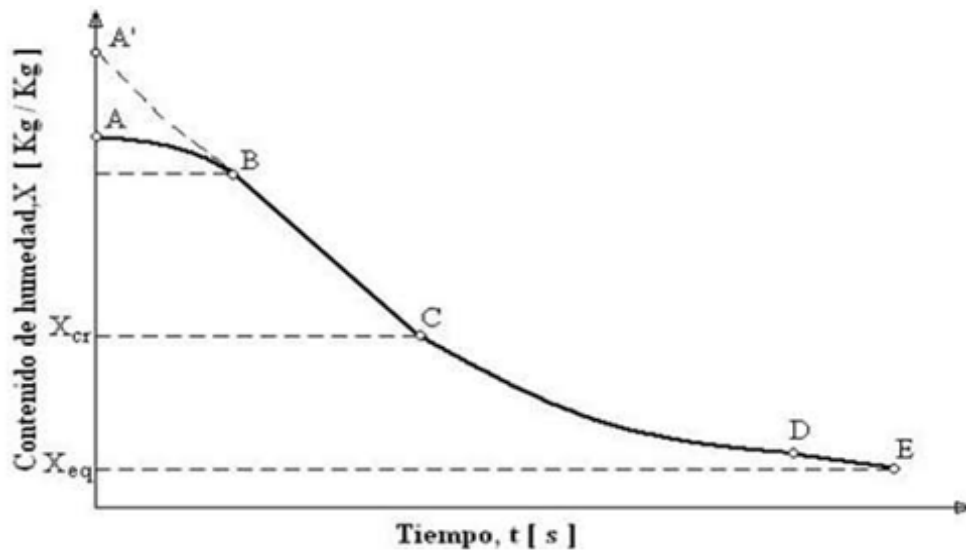
Los gases calientes se alimentan por la parte inferior del secador de donde toman las partículas y las arrastran hacia arriba en la columna. Las partículas abandonan el sistema por el colector de un ciclón de donde se separan del gas que lo atraviesa.

En algunos casos es necesario disponer una serie de filtros para retener las partículas. Se pueden secar ciertos tipos de alimentos, arcillas, talco, carbón, materiales orgánicos, etc. Como agente calefactor y de transporte se utilizan gases de chimenea, de combustión de calderas o motores utilizados a tal efecto.

1.22 CURVAS DE SECADO.

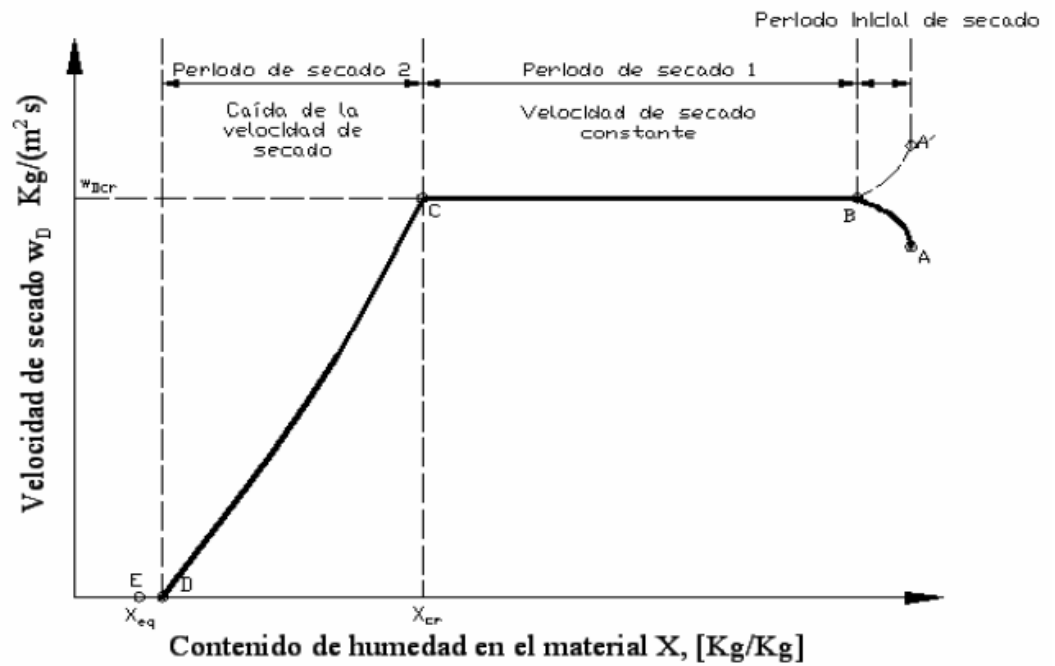
La figura (I-15), representa el caso general en que los sólidos húmedos pierden humedad, primero por evaporación desde la superficie saturada que tiene una área que gradualmente va disminuyendo, y por último cuando el agua del interior del sólido evapora. Resaltando cada punto de la figura (I-15) se ilustra el contenido de humedad del material a través del tiempo en el proceso de secado. En el periodo inicial de secado, el cambio de humedad en el material está ilustrado en la curva A-B. Al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal del tipo $X=f(t)$, en este periodo la velocidad de secado es constante (recta B-C). El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega a un punto crítico (Punto C) donde la línea recta tiende a curvarse y a formar una asíntota con el contenido de humedad X_{eq} donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado esto quiere decir que el punto E jamás es tocado (Dávila, C. 2009). La recta (B-C) es llamado el periodo de velocidad de secado constante, y al siguiente periodo de secado se conoce como el periodo de caída de velocidad del secado (Dávila, C. 2009).

Figura I-15
Contenido de humedad en función del tiempo.



Fuente: Dávila, C. 2009.

Figura I-16
Velocidad de secado en función del contenido de humedad.



Fuente: Dávila, C. 2009.

Estas curvas de velocidad de secado demuestran que el secado no es un proceso suave y continuo en el cual existe un sólo mecanismo que ejerza el control a lo largo de toda su duración (Perry, R. y Green, D. 1996).

Descripción de las curvas de secado.- Las curvas anteriores representan el proceso desecado a condiciones constantes. Empezando en el tiempo cero el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A; al principio el sólido suele estar a una temperatura inferior de la que tendrá al final y la velocidad de evaporación va en aumento; por el contrario, cuando el alimento está a una temperatura más elevada A, la velocidad de evaporación disminuye hasta llegar al punto B, en el cual, la temperatura de superficie alcanza su valor de equilibrio. Este periodo inicial de ajuste en estado estacionario suele ser bastante corto y por lo general se pasa por alto en el análisis de los tiempos de secado (Geankoplis, C. 1998; Treybal, R. 2001). La resta entre el punto B-C tiene una pendiente y velocidad constante. Durante este periodo, la superficie del sólido está muy húmeda al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua, es agua libre y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Si el sólido es poroso, la mayor parte de agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior (Geankoplis, C. 1998).

Este periodo continua mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora (Geankoplis, C. 1998).

Los periodos de velocidad decreciente inician en el punto crítico de humedad C, al concluir los periodos de velocidad constante. En este punto no hay suficiente agua en la superficie ya no está totalmente húmeda, y la porción húmeda comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad, puntoD. Aquí, el plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire. Es posible que la cantidad de humedad que se elimine durante este periodo sea bastante pequeña, pero aun así, el tiempo requerido puede ser largo (Geankoplis, C. 1998).

1.23 FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE SECADO.

Las variables que afectan al proceso de secado son las siguientes:

1.23.1 TEMPERATURA DEL AIRE.

La temperatura desempeña un papel muy importante en el proceso de secado. En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica de secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración a la especie que se vaya a someter al proceso (Ordóñez, B. 2007).

Existen diferentes niveles de temperatura que se mantienen durante el proceso técnico de secado según (Perry, R. y Green, D. 1996), son:

- **temperatura de bulbo seco.**- Es la temperatura del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio.
- **temperatura de bulbo húmedo.**- Es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie.

1.23.2 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura (Perry, 1984). Generalmente se expresa en porcentaje, a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

Cuando el aire mantiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y por lo tanto incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tiene la capacidad de absorber una cantidad de humedad hasta alcanzar su saturación. (Ordóñez, B. 2007).

Humedad en base húmeda: Es la cantidad de agua por unidad de masa de producto húmedo (nonhebel, 1979).

$$H_{BH} = \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de agua} + \text{Kg sólido seco}} \quad \text{Ec. 1 - 1}$$

Humedad en base seca: Es el contenido de humedad de un sólido referido a la masa seca del mismo sólido (Contreras, 1997).

$$H_{BS} = \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg sólido seco}} \quad \text{Ec. 1 - 2}$$

1.23.3 VELOCIDAD DEL AIRE.

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales; en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material.

La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de la humedad. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire.

Durante las primeras etapas del secado, la velocidad de aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación de aire fuerte y regular (Ordóñez, B. 2007).

1.23.4 NATURALEZA DE LA MATERIA PRIMA.

La naturaleza de la materia prima es uno de los factores más importantes que afectan a la calidad de secado y además el contenido inicial de humedad y la forma (cubos, rodajas, mitades, etc.) en que son preparadas las muestras tienen una influencia determinante (Ordóñez, B. 2007).

1.23.5 CARGA DE BANDEJAS.

La carga de bandeja es muy importante, cuanto mayor sea la carga de las bandejas mayor será el tiempo de secado, una carga demasiado pequeña no es conveniente y una carga excesiva además del retraso en el tiempo de secado puede ser causada de una merma de calidad del producto (Ordóñez, B. 2007).

1.24 MOLIENDA

La molienda es la última etapa del proceso, en esta etapa las partículas se reducen de tamaño por una combinación de impacto. La molienda se realiza en molinos que giran alrededor de su eje horizontal y que contienen una carga de cuerpos sueltos de molienda conocidos como “medios de molienda”, los cuales están libres para moverse a medida que el molino gira produciendo la disminución de tamaño de las partículas (Gutierrez, P. 2005).

Se entiende por molienda, a la obtención de formas más pequeñas de los materiales sólidos mediante la utilización de equipos donde se llevan a cabo operación de cortado, picado, triturado o molido. Muchos productos entre ellos las harinas se obtienen por operaciones de molienda. (Ordóñez, B. 2007)

El propósito de la operación de molienda es ejercer un control estrecho en el tamaño del producto y, por esta razón frecuentemente se dice que una molienda correcta es la clave de una buena recuperación de la especie útil.

1.24.1 TIPOS DE MOLINOS.

1.24.1.1 MOLINO DE MARTILLOS.

Este molino actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar. La trituración en estos equipos se produce por impacto, los martillos están sujetos por medio de pernos la superficie de un disco o cilindro que gira a alta velocidad dentro de una cascara, el espacio entre la cascara y los martillos móviles puede ajustarse para obtener el tamaño de partículas deseado. La trituración es provocada por el desgaste que sufren los materiales al chocar contra el plato estacionario. Los molinos de martillos de alta velocidad no pueden aceptar materiales abrasivos por que sufren un desgaste excesivo (Gutiérrez, P. 2005).

1.24.1.2 MOLINO DE BOLAS.

El molino de bolas es una máquina que convierte materiales en polvo fino mediante el golpeteo de bolas de acero. En este tipo de molinos se utiliza a la vez fuerzas de cilla e impacto para la reducción de tamaño está formado por un cilindro giratorio horizontal que se mueve a baja velocidad con un cierto número de bolas de acero o piedras duras. Estos molinos pueden operar en estado húmedo o seco la trituración húmeda cuando es posible, es más eficiente y da un polvo más fino a causa de que las superficies de trituración, se mantienen libres de capaz de polvo que sirven como colchones (Gutiérrez, P. 2005).

1.24.1.3 MOLINO DE DISCOS.

Este molino consiste en dos discos, lisos o dentados que se encuentran enfrentados y giran a velocidades opuestas y el material a moler cae por gravedad entre ambos, este tipo de molino a evolucionado a lo que se conoce actualmente como “molino de rodillos” (Universidad de Buenos Aires, 2012) (Mesa, M., Muñoz, S., Palacios, X. y Ramírez, C. 2013).

El material cae entre los dos discos y la trituración deseada se produce por efectos de presión y fricción, la disposición progresiva de los dientes hace que el material sea primero partido y luego empujado por la fuerza centrífuga hacia el área perimetral de los discos donde se realiza la trituración fina, el material obtenido cae en un recipiente colector, (Retsch, 2013) Mesa, M., Muñoz, S., Palacios, X. y Ramírez, C. (2013).

1.24.1.4 MOLINO DE TAMBOR.

Los molinos de tambor son usados en muchas industrias para lograr una molienda fina. Básicamente poseen un tambor cilíndrico horizontal que rota a baja velocidad, parcialmente lleno de bolas o de barras. La carcasa cilíndrica es usualmente de acero recubierta de una lámina de acero al carbono, porcelana o goma. Las bolas son de acero o de piedra. Tanto el material a moler como las bolas o barras del equipo son levantadas en las paredes del tambor (debido a la rotación), las que caen nuevamente en el lecho. La rotación y el impacto del material al caer favorecen la molienda.

1.25 TAMIZADO

El tamizado consiste en separar partículas sólidas de acuerdo a su tamaño. Prácticamente es utilizar coladores de diferentes tamaños en orificios, colocados en forma consecutiva, en orden decreciente, de acuerdo al tamaño de los orificios. Es decir, los de orificios más grandes se encuentran en la parte superior y los más pequeños en la inferior. Los coladores reciben el nombre de tamiz y están elaborados en telas metálicas.

En general, los tamices se usan extensamente para separar mezclas de productos granulares o pulverulentos en intervalos de tamaños (Gutiérrez, P. 2005).

1.25.1 TIPOS DE TAMICES INDUSTRIALES.

Los tamices para la industria se fabrican de barras metálicas, láminas y cilindros metálicos perforados, telas y tejidos con hilos. Entre los principales equipos tenemos los siguientes (Gutiérrez, P. 2005):

a) Tamices vibratorios.

Este equipo consiste en un marco que soporta una rejilla de malla de hilo o una placa perforada. Pueden ser sacudidos mecánicamente o electromagnéticamente.

b) Tamices de tambor.

Son tamices cilíndricos giratorios montados casi horizontalmente. La superficie de tamizado puede ser también de malla de hilo o placa perforada.

c) Tamices de barras.

Estos equipos se utilizan para tamizar partículas de tamaño mayor que 2,5 cm. Consiste en un grupo de barras paralelas, espaciadas según se necesite.

1.26 ENVASADO

Los empaques, son materiales polímeros susceptibles elaborados de materias orgánicas caracterizadas por su estructura macromolecular, estos deben proteger al producto del oxígeno y humedad, preservar el aroma del mismo, darle estabilidad, resistencia a los agentes, resistencia a los agentes químicos y atmosféricos y a la radiación, resistencia al estiramiento y desgarramiento, facilidad para abrirse y cerrarse, susceptible de reciclarse, bajo costo del envase en su transportación y almacenamiento. (Vidales, G. D. 2000).

En caso de harinas se utilizan normalmente empaques de polietileno, aunque puede utilizarse empaques de papel. Estos deben ser: impermeables, resistente a la grasa y de preferencia opaco, sellarse herméticamente para impedir la contaminación con suciedad, insectos, etc.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe los puntos que se tomaron en cuenta para la realización del presente proyecto de investigación.

La parte experimental de la investigación para la “Obtención de harina de algarrobo (*Prosopis alba griseb*)” mediante el secado por aire caliente”, se realizó en los predios del laboratorio del área fisicoquímica del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” y en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química.

2.2 MATERIA PRIMA Y ADITIVOS E INSUMOS.

La materia prima y los aditivos e insumos que se utilizaron son:

➤ **MATERIA PRIMA.**

La materia prima que se utilizó para realizar el trabajo de investigación es el algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”, la misma que fue adquirida en la Zona de Villamontes departamento de Tarija.

➤ **ADITIVOS E INSUMOS**

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes aditivos e insumos:

- Agua destilada.
- Ácido cítrico.
- Dg-6

2.3 REQUERIMIENTO, DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, MATERIALES DE LABORATORIO Y UTENSILIOS DE COCINA UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE ALGARROBO VARIEDAD “*Prosopis alba griseb*”.

Para la realización del presente trabajo de investigación se describen los instrumentos utilizados en la obtención de harina de algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”.

2.3.1 EQUIPOS DE LABORATORIO.

Los equipos de laboratorio que se utilizaron para llevar a cabo el trabajo de investigación se describen a continuación.

2.3.1.1 BALANZA ANALÍTICA DIGITAL.

En la figura II-1 se muestra la balanza analítica digital, que se utilizó para pesar la cantidad de materia prima (cortada en trozos) lo que entró al proceso de secado, como también se utilizó para el control respectivo del peso de los trozos de algarrobo en su determinado tiempo durante el secado.

Figura II-1

Balanza analítica.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

La balanza analítica digital pertenece al laboratorio del área fisicoquímica del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. Las especificaciones técnicas de este equipo, se describen en la tabla II-1.

Tabla II-1 Especificaciones de la balanza analítica digital.

Características	Detalles
Marca	KERN
Modelo	ABS 220-4
Nº de serie	WB1210334
Potencia	0,22Kw
Capacidad	220g
Legibilidad	0,1mg

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.3.1.2 ESTUFA DE CONVECCIÓN FORZADA.

En la figura II-2, se muestra la estufa de convección forzada que se utilizó para efectuar el secado de los trozos del algarrobo, este equipo se encuentra en el Laboratorio del área fisicoquímica del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Figura II-2

Estufa de convección forzada.



Fuente: Elaboración propia, 2017

Las especificaciones técnicas de la estufa de convección forzada, se describen en la tabla II-2:

Tabla II-2 Especificaciones técnicas de la estufa de convección forzada.

Características	Detalles
Marca	Binder
Modelo	53 FD
Carga permitida	40 Kg
Potencia	1,60 Kw
Capacidad	6 bandejas
Dimensiones internas	400 mm de alto 330 mm de profundidad

Fuente: Elaboración propia, 2017

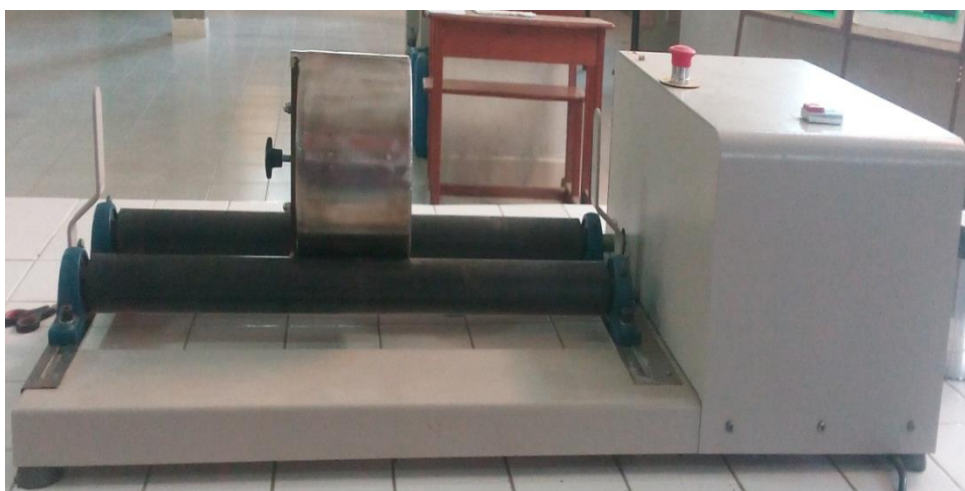
2.3.1.3 MOLINO DE BOLAS.

En la figura II-3 se muestra el molino de bolas, que se utilizó para la reducción del tamaño de partículas que está formado por un cilindro giratorio horizontal que se mueve a baja velocidad con un cierto número de bolas de acero.

Este equipo se encuentra en el laboratorio de operaciones unitarias (LOU), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” de la carrera de Ingeniería Química.

Figura II-3

Molino de bolas.



Fuente: Elaboración propia, 20017

Las especificaciones técnicas del molino de bolas, se describen en la tabla II-3:

Tabla II-3 Especificaciones técnicas del molino de bolas.

Características	Detalles
Marca	ORTO ALRESA
Fabricado	ESPAÑA
Voltaje	230 V
Velocidad	227 rpm
Potencia	250 W
Frecuencia	50 Hz
Intensidad de corriente	2,3 A

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.3.1.4 TAMIZ VIBRATORIO.

En la figura II-4 se muestra el tamizador, que se utilizó para conocer y poder clasificar la harina de algarrobo por el tamaño de partículas; los tamices utilizados fueron de 1m/m, 0,50m/m, 0,25m/m y 0,063m/m. Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” de la carrera de Ingeniería Química.

Figura II-4

Tamiz vibratorio



Fuente: Elaboración propia, 2017

Las especificaciones técnicas del tamiz vibratorio, se describen en la tabla II-4.

Tabla II-4 Especificaciones técnicas del tamiz vibratorio.

Características	Detalles
Marca	ORTO ALRESA
Fabricado	ESPAÑA
Voltaje	230 V
Velocidad	2.500 rpm
Potencia	80 W
Frecuencia	50 Hz
Intensidad de corriente	0,4 A

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.3.1.5 DESECADOR

En la figura II-5 se muestra el desecador, que se utilizó para colocar las muestras secas de algarrobo, salidas del secador para su posterior enfriamiento, para evitar que la muestra absorba humedad del ambiente; dentro del desecador contiene silicagel en granos el cual actúa como absorbente de humedad.

Figura II-5

Desecador



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.3.1.6 MOLINO DE PIEDRA.

En la figura II-6 se muestra el molino de piedra, donde se realizó la molienda de las semillas del algarrobo, el cual consta de 2 piedras, una grande a base y otra mediana para moler (tunar). Se utilizó este molino de piedra porque las semillas son duras para molerlo en un molino de bolas.

Figura II-6

Batán de piedra.



Fuente: Elaboración propia, 2017

2.3.1.7 BALANZA

La balanza es un instrumento lo cual se puede controlar pesos, es por eso que se utilizó esta balanza para poder controlar los pesos de las muestras durante cada etapa del proceso de secado de los trozos de algarrobo, la misma que cuenta con calibración automática y una pantalla digital. La balanza de la figura II-7, fue proporcionada gentilmente por el Ing. Jorge Tejerina Oller.

Figura II-7**Balanza**

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Sus especificaciones son las siguientes que indican en la tabla II-5:

Tabla II-5 Especificaciones de la balanza.

Capacidad	7kg*0,2g
Power	1.5 V x 2 AAA batería (inducida)
Modo función	g/oz

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.3.2 MATERIALES DE LABORATORIO.

En la figura II-8 se muestra los materiales de laboratorio utilizados en la parte experimental, durante el desarrollo de investigación el cual pertenecen al laboratorio del área fisicoquímica de Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”. Las especificaciones técnicas se describen en la tabla II-6.

Figura II-8
Materiales de laboratorio.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla II-6 Material de laboratorio

Materiales	Capacidad/tamaño	Tipo de material	Cantidad
Termómetro	0-100 °C	Bulbo de mercurio	1
Vaso de precipitación	500 ml	Vidrio	1
Piseta	Mediano	Plástico	1
Guantes	Pequeños	Látex	50
Barbijo	Pequeños	Tela	30
Espátula	Mediana	Metálico	1
Bote de agua destilada	Pequeño	Plástico	1

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.3.3 UTENSILIOS DE COCINA.

En la figura II-9 se observa todos los utensilios utilizados durante el trabajo de investigación de la parte experimental. Las especificaciones técnicas se describen en la tabla II-7

Figura II-9
Utensilios de cocina.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Tabla II-7 Utensilios de cocina.

Materiales	Tipo de material	Capacidad/tamaño	Cantidad
Cuchillo	Metal	Mediano	1
Fuente	Acero inoxidable	Mediano	1
Fuentones	Plástico	Grandes	4
Cuchara	Metal	Pequeña	1

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.4 DISEÑO FACTORIAL.

El análisis estadístico nos permite el estudio de varias variables en el tiempo y la interpretación de la interacción entre las variables estudiadas, con el propósito de seleccionar las más importantes y significativas (Ramírez, 1999).

El diseño experimental seleccionado en la presente investigación es de tipo 2^n (2^2):

Dónde:

2 = Número de niveles.

n = Número de variables o factores.

Es decir, que es un diseño en el cual hay dos variables o factores, temperatura de secado y tipo de corte, siendo la variable respuesta la aceptación de cada muestra.

Por lo tanto, el diseño experimental corresponde a un modelo 2^2 , es decir de 2 niveles (variables dependientes), 2 factores (variables independientes) y dos repeticiones por lo que el número de combinaciones de tratamientos entre las variables será igual a:

$$2^2 = 2*2 = 4 \text{ P}$$

P = Pruebas

Las repeticiones de cada prueba serán de la siguiente manera:

$$4*2=8 \text{ pruebas}$$

En la tabla II-8 se encuentran los niveles de variación para la operación de secado.

T = Temperatura (°C) de secado.

T.C = Tipo de corte (S)de la materia prima. (S = Semilla)

Tabla II-8 Niveles de las variables de secado del algarrobo.

VARIABLES	NIVEL INFERIOR (-)	NIVEL SUPERIOR (+)
T	60(°C)	70(°C)
T.C	1(S)	2(S)

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El número de experimentos realizados es:

$$N_{\text{EXP}} = \text{Nº de niveles}^{\text{Nº de variables}} * \text{repeticiones} = N_{\text{EXP}} = 2^2*2 = 8$$

En la tabla II-9 se representa la matriz de diseño factorial 2^2 para el proceso de secado de las vainas de algarrobo:

Tabla II-9 Matriz de diseño.

Nº DE ENSAYOS	VARIABLES		COMBINACIONES	RESPUESTA I	RESPUESTA II	PUNTO DE CONTROL (%H)	
	(T.C _{ij})	(T _{ij})	T.C * T	Y _{ijk}	Y _{ijk}	ENSAYO I	ENSAYO II
1	—	—	+	T ₁₁ T.C ₁₁	T ₁₂ T.C ₁₂	5,16	5,19
2	—	+	—	T ₁₁ T.C ₂₁	T ₁₂ T.C ₂₂	4,98	4,13
3	+	—	—	T ₂₁ T.C ₁₁	T ₂₂ T.C ₁₂	5,91	6,01
4	+	+	+	T ₂₁ T.C ₂₁	T ₂₂ T.C ₂₂	5,73	5,30

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Dónde: Y_{ijk} = variable respuesta = Aceptabilidad del producto obtenido en cada ensayo.

Dónde:

i= nivel

j= repetición

T= Temperatura de secado (°C).

T.C=Tipo de corte de algarrobo.

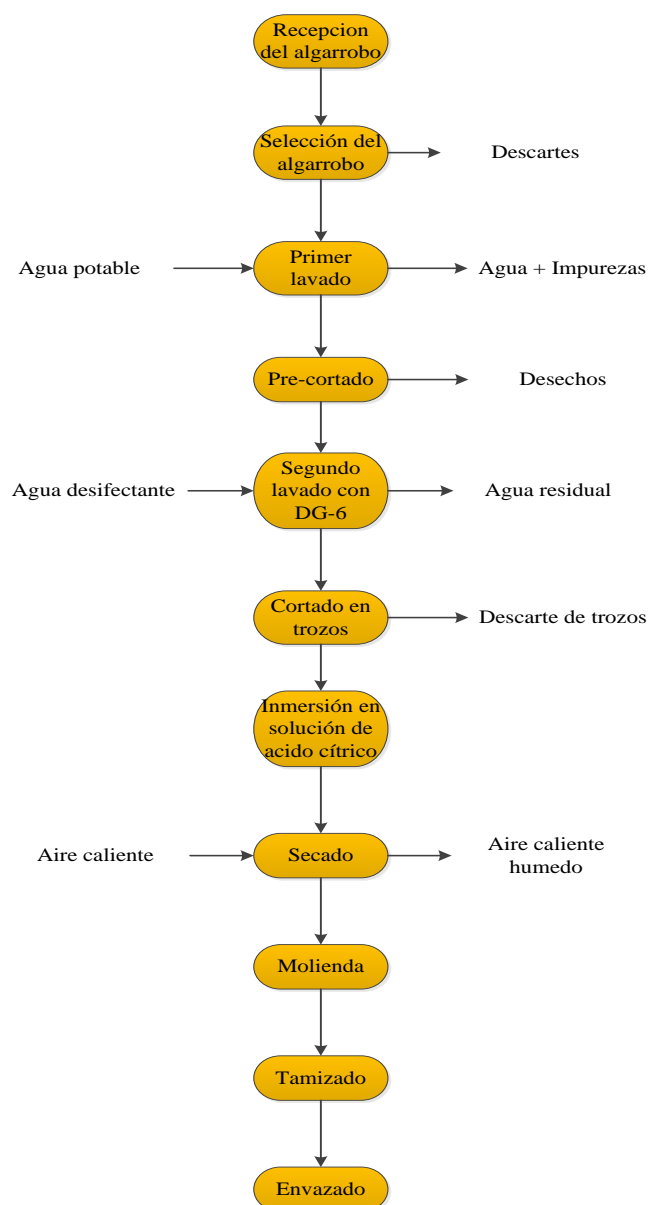
R= Humedad (kg H₂O/kg sólido seco).

Se tomó como referencia las variables Temperatura y Tipo de corte ya que son variables dependientes que fueron fijadas y definidas en el diseño experimental, las mismas fueron establecidas en los niveles especificados el diseño factorial. El tiempo es una variable independiente que transcurre durante el proceso y que está relacionado a las condiciones operativas y fija el tiempo final de secado de acuerdo a la cinética.

2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE HARINA DE ALGARROBO.

A continuación se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de algarrobo, (véase en el diagrama II-1), de la parte experimental que se utilizó para la elaboración de harina de algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”.

Diagrama II-1 Diagrama de flujo para la elaboración de “Harina de Algarrobo”.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

A continuación damos a conocer el proceso experimental que se seguirá para la “Obtención experimental de Harina de Algarrobo variedad *Prosopis alba griseb*”:

2.5.1 RECEPCIÓN DEL ALGARROBO.

La materia prima que fue utilizada para llevar a cabo el presente trabajo de investigación es algarrobo de la variedad “*Prosopis alba griseb*”, la cual fue adquirida de la Zona de Villamontes.

Figura II-10

Recepción del algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.5.2 SELECCIÓN DEL ALGARROBO.

Este proceso se lo lleva a realizar de manera visual descartando la materia prima que se encuentra en mal estado.

Figura II-11**Selección de la materia prima (descarte).****Materia seleccionada.****Fuente:** Elaboración propia, 2017.

2.5.3 LAVADO 1

El proceso del primer lavado se lo realizó colocando la materia prima (algarrobo) seleccionado debajo de la pila dejando caer agua potable del grifo, con la finalidad de eliminar sustancias indeseables es así que se hace el lavado correspondiente para quitar el exceso de impurezas (tierras y otros).

Figura II-12**Proceso de lavado de la materia prima algarrobo *Prosopis alba*.****Fuente:** Elaboración propia, 2017.

2.5.4 PRE CORTADO

El proceso de pre cortado, se realizó en forma manual utilizando un cuchillo mediano de acero inoxidable, se procedió a cortar las puntas de los extremos del algarrobo.

Figura II-13

Proceso de pre cortado (puntas) de la materia prima algarrobo *Prosopis alba*.



Fuente:Elaboracion propia, 2017.

2.5.5 LAVADO 2.

El proceso del segundo lavado se lo realizó colocando la materia prima (algarrobo) pre cortado seleccionado en una fuente de plástico con agua (mezcla con dg-6 desinfectante) durante 30 seg. removiéndolas. La desinfección con el dg-6 se lo realizó en el precortado, esto con la finalidad de desinfectar el material de los microorganismos que pudiera traer en el interior de la materia como también en el proceso de extracción de la planta y su traslado, de esta manera fue que se tomó la desinfección en el precortado y no así en el primer lavado. Luego el agua incorporada fue escurrida sobre una superficie plana.

Figura II-14**Lavado con Dg-6.****Fuente:** Elaboracion propia, 2017.

2.5.6 CORTADO EN TROZOS

Después del proceso del 2^{do} lavado, el algarrobo es cortado en trozos diferentes (1S y 2S) con un cuchillo normal con la finalidad de obtener trozos de igual tamaño con una y dos semillas, de manera que se facilite el proceso de secado.

Figura II-15**Cortado de las vainas de algarrobo.****Fuente:** Elaboración propia, 2017.

2.5.7 INMERSIÓN EN SOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO.

Se utilizó como inactivador del oscurecimiento enzimático ácido cítrico al 2%, sumergiendo los trozos de algarrobo en una solución por un periodo de 3 minutos para evitar el pardeamiento en los trozos de algarrobo (con esto se obtiene un producto de color agradable, sin afectar el sabor y las características del producto final) pasado el tiempo de inmersión se escurren los trozos con la ayuda de un colador y estas luego son colocadas en bandejas para ser sometidas al proceso de secado.

Figura II-16

Ácido cítrico inhibidor enzimático.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II-17

Trozos de algarrobo sumergidas en solución de ácido cítrico.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II-18

Trozos de algarrobo escurriendo luego del tratamiento con ácido cítrico.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.5.8 SECADO

Para realizar las pruebas de secado, primero se realizaron ensayos previos de secado con vainas de algarrobo entero, evitando no contaminarla, es así que en el momento de la operación de secado se utilizaron guantes estériles y espátula para esparcir la muestra de forma uniforme, también tuvo en cuenta el cuidado de colocar rápidamente la muestra en las bandejas para evitar la exposición de la misma a la atmósfera para evitar que adquiriera humedad del medio ambiente.

En la tabla II-10 se muestra los datos de la pérdida de peso de las pruebas a las vainas de algarrobo entero, con mediciones en intervalos de 15 min. a la temperatura de 60°C.

Tabla II-10 Pérdida de peso en el secado del algarrobo entero.

Tiempo (min)	Peso (g)	% Pérdida de Humedad
0	12,293	0
15	11,009	10,445
30	10,598	13,788
45	10,198	17,042
60	9,875	19,669
75	9,686	21,207
90	9,412	23,436
105	9,229	24,925
120	9,009	26,714
135	8,879	27,772
150	8,698	29,244
165	8,498	30,871
180	8,39	31,498
195	8,287	32,588
210	8,176	33,491
225	8,045	34,556
240	7,891	35,809
255	7,789	36,639
270	7,672	37,590
285	7,524	38,794
300	7,498	39,006
315	7,387	39,909
330	7,294	40,665
345	7,109	42,170
360	7,001	43,049
375	6,806	44,635

390	6,754	45,058
405	6,659	45,831
420	6,534	46,848
435	6,423	47,751
450	6,356	48,296
465	6,298	48,768
480	6,106	50,329
495	6,003	51,167
510	5,899	52,013
525	5,79	52,900
540	5,661	53,949
555	5,541	54,926
570	5,452	55,650
585	5,321	56,715
600	5,212	57,602

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la tabla II-10 se observa la reducida pérdida de peso de las vainas enteras del algarrobo durante el secado a la temperatura de 60 que alcanzó a 600 minutos no es lo suficiente, para remover casi el 57% de la humedad.

Esta primera experiencia nos mostró que las vainas de Algarrobo ya habían sufrido un proceso natural de secado en la planta, por lo que se formó una delgada capa con escasa porosidad que cubre toda la vaina, la misma que impide la pérdida de humedad y reduce el ataque de los insectos sobre el material genético que se encuentra en el interior de la vaina.

Este hecho, nos ha permitido deducir que para encarar un proceso de secado más eficiente, era necesario ampliar el área de contacto y aperturar las vainas para provocar la evaporación de la humedad contenida al interior de las mismas, por lo que se vio por conveniente reducir las mismas a tamaños 1S y 2S, y así desarrollar el trabajo para un proceso de secado en un menor tiempo con menor gasto de energía.

Posteriormente para el proceso de secado en la estufa del Laboratorio, se trabajó con un secador de convección; primeramente se procede a encender el equipo sin cargar hasta que alcance la temperatura deseada de 60°C, posteriormente se cargan las bandejas con los trozos tratadas con solución de ácido cítrico y se carga al equipo. Luego se realizó el control de peso (bandeja más muestra) cada 15 min hasta el peso final constante.

Figura II-19

Muestras de trozos de algarrobo en las bandejas.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II-20

Muestras de trozos de algarrobo en las bandejas dentro del secador.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II-21**Acondicionamiento de la muestra seca.**

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Una vez obtenido el algarrobo seco, se lo dejó en reposo en un desecador para estabilizar la temperatura y la humedad, posteriormente el algarrobo fue llevado a la sección molienda.

Figura II-22**Enfriamiento de la muestra seca de algarrobo en un desecador.**

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.5.9 MOLIENDA

Una vez obtenido los trozos deshidratados (producto seco), se procedió a la molienda donde una vez dentro del molino las partículas se rompen mediante el golpeteo de las bolas de acero, así se muele la materia prima obteniéndose un producto completamente pulverizado.

Se sitúan los jarros con el producto a moler y sus bolas. En el jarro de molienda se introducen las bolas en una cantidad no superior a una cuarta parte, añadiendo el producto a moler que es el algarrobo. Se tapó el jarro y se depositó en sentido horizontal encima de los cilindros ya regulados.

Se conectó y encendió el equipo de molino de bolas. La muestra de algarrobo seco fue colocada en el molino trabajando con una velocidad de 227 rpm y durante un tiempo de 30 minutos.

Figura II-23

Materia prima dentro del molino.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II-24**Molienda de los trozos de algarrobo.**

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.5.10 TAMIZADO

Terminando el proceso de molienda se procedió al tamizado del producto, esto con la finalidad de poder clasificar la harina según el tamaño de partícula.

El tamizado se lo realizó en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química; donde el tamiz presenta mallas de 1mm, 0,50mm, 0,25mm y 0,063mm.

Figura II-25**Tamiz**

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura II-26**Proceso de tamizado.****Fuente:** Elaboración propia, 2017.**Figura II-27****Tamizado de la harina de algarrobo.****Fuente:** Elaboración propia, 2017.

Figura II-28**Clasificación granulométrica de la harina de algarrobo.**

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Dónde:

mm = Milímetros

2.5.11 ENVASADO

Terminado el proceso de tamizado, pasa a un proceso de envasado donde se realiza colocando las muestras de harina de algarrobo manualmente en bolsas de polipropileno con cierre hermético a fin de que pueda conservar sus propiedades del producto obtenido, ya que las bolsas de polipropileno suelen ser muy vistas también para guardar alimentos que necesitan mantenerse a determinadas temperaturas.

Figura II-29
Producto envasado.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.5.12 ALMACENAMIENTO

El producto final obtenido debe ser almacenado en cajas de cartón en condiciones adecuadas de temperatura ambiente y humedad con la finalidad de prolongar su vida útil del producto.

2.6 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS.

La metodología para obtener los resultados experimentales del presente trabajo de investigación se detallan a continuación:

2.6.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA “ALGARROBO”.

En la Tabla II-11, se muestran las características físicas del algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”, obtenidas en la caracterización de la materia prima.

Tabla II-11 Propiedades físicas de la materia prima.

Parámetros	Unidades
Peso	g
Ancho	cm
Longitud	cm
Porción comestible	%
Porción no comestible	%

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA “ALGARROBO” Y DEL PRODUCTO.

En la tabla II-12, se muestra el detalle de los análisis realizados fisicoquímicos de la materia prima algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*” y del producto.

Tabla II-12 Determinación de las propiedades fisicoquímicas.

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD
Azúcares totales.	Volumetría	%
Azúcares reductores.	Volumetría	%
Calcio total.	Absorción Atómica.	mg/100g
Ceniza	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Grasa	NB 313019:06	%
Hierro total.	Absorción Atómica.	mg/kg
Humedad	NB 313010:05	%
Magnesio total.	Absorción Atómica.	mg/100g
Potasio total.	Absorción Atómica.	mg/100g
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Sodio total.	Absorción Atómica.	mg/100g
Valor energético.	Cálculo	Kcal/100g

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.6.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA HARINA DE ALGARROBO.

En la tabla II-13, se muestra el detalle de los análisis microbiológicos realizados del producto harina de algarrobo variedad “Prosopis alba griseb”.

Tabla II-13 Técnicas para la determinación de los análisis microbiológicos.

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO.	UNIDAD
Coliformes totales.	NB 32005:02	UFC/g
Coliformes fecales.	NB 32005:02	UFC/g
Mohos	NB 32006:03	UFC/g
Levaduras	NB 32006:03	UFC/g

Fuente: Elaboración propia, 2017.

2.6.4 EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DEL PRODUCTO FINAL

En los análisis para las propiedades organolépticas del producto final, se realizó una evaluación sensorial en escala hedónica, compuesta por 16 jueces no entrenados que evaluaron los atributos de olor, color, textura y sabor (Ver ANEXO C).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

La caracterización de la materia prima algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”, se realizó tomando en cuenta lo siguiente:

3.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA.

Para establecer las propiedades físicas de la materia prima, en la parte experimental del trabajo se han tomado 10 muestras de algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”.

El promedio de los resultados es la suma de todos los valores observados (Peso del algarrobo, ancho, longitud, porción utilizada y porción no utilizada) dividido por el número de observaciones (10). Se tomó en cuenta la expresión matemática (3.1).

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N} \quad (3.1)$$

Dónde:

\bar{X} = Valor promedio de los resultados.

X_1, X_N = Son los valores individuales observados de las muestras.

N = Número de observaciones (muestras).

En la Tabla III-1, se muestran las características físicas del algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”, obtenidas en la caracterización de la materia prima.

Tabla III-1 Características físicas del algarrobo variedad “Prosopis Alba Griseb”.

Muestras	Peso algarrobo (g)	Ancho (cm)	Longitud (cm)	Porción comestible (g)	Porción comestible (%)	Porción no comestible (g)	Porción no comestible (%)
1	14,894	1,9	21,5	14,697	98,677	0,197	1,323
2	12,142	1,6	22,3	11,929	98,246	0,213	1,754
3	15,543	1,8	22,5	15,259	98,173	0,283	1,827
4	11,643	1,7	23,4	11,372	97,672	0,272	2,328
5	14,307	1,7	23,6	14,023	98,015	0,284	1,985
6	12,560	1,8	23	12,329	98,161	0,231	1,839
7	15,745	1,8	22,6	15,493	98,399	0,253	1,601
8	15,384	1,9	22,1	15,068	97,946	0,316	2,054
9	12,811	1,9	20	12,679	98,969	0,131	1,031
10	11,511	1,7	20,5	11,272	97,924	0,239	2,076
Promedio	13,654	1,8	22,2	13,412	98,228	0,242	1,773

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Como podemos observar, en la tabla III-1 se muestran los promedios de las propiedades físicas del algarrobo empleado para el presente proyecto se tiene: el peso promedio del algarrobo que es de 13,654 g, un ancho promedio de 1,8 cm, una longitud promedio de 22, 2 cm, teniendo una porción aprovechable o comestible del 98,228 % y un descarte del 1,773 %, lo que significa que se debe poner atención en lo que corresponde a los residuos que se generan y las posibilidades de aprovechamiento.

3.1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

Los resultados obtenidos de la composición fisicoquímica del algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”, adquirida de la Zona de Villamontes departamento de Tarija se muestran en la Tabla III-2. Los análisis se realizaron en el laboratorio del área fisicoquímica del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” (ver ANEXO B).

Tabla III-2 Composición fisicoquímica del algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”.

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO
Azúcares totales.	Volumetría	%	37,22
Azúcares reductores.	Volumetría	%	2,28
Calcio total.	Absorción Atómica	mg/100g	48,2
Ceniza	NB 39034:10	%	3,09
Fibra	Gravimétrico	%	7,90
Grasa	NB 313019:06	%	1,13
Hierro total	Absorción Atómica	mg/kg	10,5
Hidratos de carbono.	Cálculo	%	66,53
Humedad	NB:313010:05	%	12,83
Magnesio total.	Absorción Atómica	mg/100g	57,7
Potasio total.	Absorción Atómica	mg/100g	1108
Proteína total (Nx6,25).	NB/ISO 8968-1:08	%	8,62
Sodio total	Absorción Atómica	mg/100g	53,8
Valor energético.	Cálculo	Kcal/100g	309,87

Fuente: CEANID, 2017

En la tabla III-2, se observa que la materia prima contiene un alto contenido de potasio y calcio ya que se puede mencionar que es un producto de valor alimenticio, como para mujeres en gestación, niños y personas de la tercera edad por el calcio que contiene, como también potasio para personas deportistas, sin hacer a un lado los demás que también son de mayor importancia para los humanos en el consumo como fruto.

3.1.3 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO OBTENIDO.

Los resultados obtenidos de la composición fisicoquímica del producto final del algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”, adquirida de la Zona de Villamontes

departamento de Tarija se muestran en la Tabla III-3. Los análisis se realizaron en el laboratorio del área fisicoquímica del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” (ver ANEXO B).

Tabla III-3 Composición fisicoquímica del producto final del algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”.

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO	UNIDAD	RESULTADO	HARINA REFERENCIAL FORMOSA
Azúcares totales.	Volumetría	%	47,71	591 g/kg
Azúcares reductores.	Volumetría	%	2,34	27,6 g/kg
Calcio total.	Absorción Atómica.	mg/100g	103	1274,5 mg/kg
Ceniza	NB 39034:10	%	3,26	31,3 g/kg
Fibra	Gravimétrico	%	3,00	24,3 g/kg
Grasa	NB 313019:06	%	1,19	21,7 g/kg
Hidratos de carbono.	Cálculo	%	81,05	-
Humedad	NB 313010:05	%	5,16	-
Proteína total (Nx6,25).	NB/ISO 8968-1:08	%	6,37	71,7 g/kg
Valor energético.	Cálculo	Kcal/100g	360,39	-
Magnesio total.	Absorción Atómica.	mg/100g	56,0	967 mg/kg
Potasio total.	Absorción Atómica.	mg/100g	1328	8920 mg/kg
Sodio total.	Absorción Atómica.	mg/100g	51,8	-

Fuente: CEANID, 2017.

De acuerdo a la tabla se observa que comparativamente con la harina de Formosa, la producida en Tarija tiene menores cantidades de calcio, potasio, fibras y azúcares, lo cual probablemente esté relacionado con la variedad de Algarrobo y/o las condiciones de suelo y climáticas.

3.1.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL.

El análisis microbiológico del producto final de la harina de algarrobo, se realizó en el laboratorio del área de microbiología del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” (ver ANEXO B).

Tabla III-4 Análisis microbiológico del producto final.

PARÁMETRO	TÉCNICA y/o MÉTODO DE ENSAYO.	UNIDAD	RESULTADO
Coliformes totales.	NB 32005:02	UFC/g	< 10 (*)
Coliformes fecales.	NB 32005:02	UFC/g	< 10 (*)
Mohos	NB 32006:03	UFC/g	< 10 (*)
Levaduras	NB 32006:03	UFC/g	< 10 (*)

Fuente: CEANID, 2017.

Como se aprecia en la tabla III-4, la harina de algarrobo obtenida experimentalmente, no presenta contaminación de bacterias, mohos ni levaduras, lo que significa que fue procesada y almacenada con higiene, tal como se exige para los productos alimenticios para la alimentación de personas y/o animales.

3.2 EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DEFINIR LA HARINA DE ALGARROBO VARIEDAD “PROSOPIS ALBA GRISEB”.

El análisis sensorial, se lo realizó mediante un panel de 16 jueces, docentes y estudiantes de la carrera de ingeniería química, quienes calificaron el grado de satisfacción de la harina de algarrobo variedad “*Prosopis alba griseb*”. Para lo cual, se emplearon las cuatro muestras obtenidas de acuerdo al diseño factorial, y cuatro aplicaciones realizando anchi de algarrobo con los mencionados productos. Los atributos que los panelistas tomaron en cuenta al momento de seleccionar las muestras fueron: sabor, color, olor, textura y apariencia. Se pudo observar en las harinas obtenidas que se mantenían su color y olor característicos.

El modelo de test que se utilizó para la aceptabilidad general se encuentra en el (ver ANEXO C). La prueba de preferencia se evaluó mediante el método de escala

Hedónica de nueve puntos, donde 1 corresponde a la calificación de “me disgusta extremadamente” y 9 “me gusta extremadamente”, donde se calificaron las siguientes características: color, olor, apariencia, textura y sabor; en la cual cada juez eligió entre las siguientes opciones y puntajes.

Tabla III-5 Escala hedónica para la evaluación sensorial de los atributos de color, olor, sabor y textura.

PUNTAJE	ESCALA EDÓNICA
9	Me gusta extremadamente.
8	Me gusta mucho.
7	Me gusta moderadamente.
6	Me gusta levemente.
5	No me gusta ni me disgusta.
4	Me disgusta levemente.
3	Me disgusta moderadamente.
2	Me disgusta mucho.
1	Me disgusta extremadamente.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Las evaluaciones realizadas con los jueces se las hizo de forma individual con el propósito de no ejercer influencia sobre los demás jueces. Las pruebas se realizaron en un determinado lugar tranquilo, lejos de ruidos y olores extraños, con buena iluminación natural. A los jueces se les pidió anticipadamente su aceptación a participar en esta prueba lo cual se les explicó las características generales de la evaluación y la responsabilidad que ellos tenían como jueces.

La evaluación se realizó el mismo día para todos los panelistas, concluida la misma se tabularon los resultados obtenidos del análisis sensorial realizado para definir la muestra de harina de algarrobo a diferentes condiciones (temperaturas y tipos de corte). Con esta información obtenida se determinaron los promedios finales de cada característica en cada muestra.

A continuación se presentan los resultados en las siguientes tablas:

Tabla III-6 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N° 1 según la escala hedónica.

Muestra 1					
T=Temperatura 60 °C ; T.C=Tipo de corte 1S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	9	8	9	8	34
2	7	5	7	9	28
3	7	5	6	7	25
4	6	9	7	8	30
5	5	5	7	6	23
6	6	7	7	8	28
7	7	7	7	8	29
8	7	8	8	8	31
9	8	9	7	8	32
10	7	5	9	9	30
11	8	7	6	8	29
12	7	8	8	8	31
13	7	9	8	8	32
14	7	5	5	6	23
15	8	7	8	8	31
16	8	8	7	6	29
ΣTOTAL	109	112	116	123	465
PROMEDIO	6,813	7,000	7,250	7,688	7,1878

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°1, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida de la textura y color, siendo lo contrario el atributo olor con el menor promedio.

Tabla III- 7 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N° 2 según la escala hedónica.

Muestra 2					
T=Temperatura 60 °C ; T.C=Tipo de corte 2S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	5	7	7	8	27
2	8	8	7	7	30
3	8	7	8	8	31
4	6	8	6	6	26
5	7	7	5	6	25
6	8	7	8	8	31
7	6	6	5	6	23
8	8	7	7	8	30
9	9	8	8	7	32
10	3	6	4	5	18
11	8	7	8	6	29
12	7	6	7	8	28
13	8	7	7	5	27
14	5	6	5	8	24
15	7	7	8	7	29
16	9	5	5	7	26
ΣTOTAL	94	109	105	110	436
PROMEDIO	5,875	6,813	6,563	6,875	6,5315

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°2, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida del color y textura, siendo lo contrario el atributo olor con el menor promedio.

Tabla III- 8 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N° 3 según la escala hedónica.

Muestra 3					
T=Temperatura 70 °C ; T.C=Tipo de corte 1S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	7	7	8	9	31
2	7	7	7	8	29
3	8	8	5	7	28
4	5	8	7	7	27
5	6	7	8	8	29
6	7	6	6	6	25
7	7	8	8	7	30
8	8	8	6	6	28
9	6	8	8	8	30
10	8	7	6	7	28
11	5	7	7	7	26
12	7	7	8	9	31
13	6	7	5	7	25
14	8	5	7	8	28
15	7	7	6	6	26
16	6	7	7	6	26
ΣTOTAL	108	114	109	119	447
PROMEDIO	6,750	7,125	6,813	7,438	7,0315

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°3, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida del color y textura, siendo lo contrario el atributo olor con el menor promedio.

Tabla III- 9 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N° 4 según la escala hedónica.

Muestra 4					
T=Temperatura 70 °C ; T.C=Tipo de corte 2S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	8	8	6	9	31
2	8	7	7	7	29
3	7	7	8	7	29
4	8	8	7	7	30
5	9	7	6	7	29
6	4	5	5	8	22
7	8	6	7	5	26
8	6	7	6	8	27
9	5	8	7	7	27
10	8	8	9	8	33
11	7	9	4	8	28
12	5	6	7	9	27
13	6	7	7	5	25
14	6	5	7	7	25
15	7	8	8	6	29
16	5	7	7	7	26
ΣTOTAL	107	113	108	114	443
PROMEDIO	6,688	7,063	6,750	7,125	6,9065

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°4, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida del color y textura, siendo lo contrario el atributo olor con el menor promedio.

Los resultados del ensayo 2 se muestran en las siguientes tablas:

Tabla III-10 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N° 5 según la escala hedónica.

Muestra 5					
T=Temperatura 60 °C ; T.C=Tipo de corte 1S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	8	7	9	9	33
2	7	6	8	9	30
3	6	5	7	7	25
4	6	8	6	7	27
5	5	5	6	7	23
6	5	8	5	8	26
7	6	7	7	8	28
8	6	9	9	8	32
9	8	8	6	7	29
10	7	4	8	8	27
11	7	6	7	7	27
12	7	8	7	8	30
13	7	9	8	7	31
14	8	6	6	7	27
15	7	7	8	8	30
16	8	8	7	7	30
ΣTOTAL	108	111	114	122	455
PROMEDIO	6,750	6,938	7,125	7,625	7,1095

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°5, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida de la textura y color, siendo lo contrario el atributo olor con el menor promedio

Tabla III-11 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N°6 según la escala hedónica.

Muestra 6					
T=Temperatura 60 °C ; T.C=Tipo de corte 2S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	4	7	8	8	27
2	6	7	7	7	27
3	6	6	8	8	28
4	7	8	7	7	29
5	6	7	5	6	24
6	5	6	7	7	25
7	7	6	6	7	26
8	7	7	8	8	30
9	8	8	8	7	31
10	4	7	5	6	22
11	7	7	8	6	28
12	6	6	7	7	26
13	6	7	7	6	26
14	5	6	6	8	25
15	7	5	7	7	26
16	8	7	6	7	28
ΣTOTAL	99	107	110	112	428
PROMEDIO	6,188	6,688	6,875	7,000	6,6878

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°6, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida de la textura y color, siendo lo contrario el atributo olor con el menor promedio.

Tabla III-12 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N° 7 según la escala hedónica.

Muestra 7					
T=Temperatura 70 °C ; T.C=Tipo de corte 1S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	6	7	7	8	28
2	7	8	8	9	32
3	7	7	6	8	28
4	5	8	6	7	26
5	6	7	7	7	27
6	8	8	5	6	27
7	8	6	8	8	30
8	7	6	6	7	26
9	6	8	7	8	29
10	8	6	6	7	27
11	5	7	7	6	25
12	7	7	8	8	30
13	7	8	5	8	28
14	8	5	8	8	29
15	7	7	6	7	27
16	5	7	7	7	26
ΣTOTAL	107	112	107	119	445
PROMEDIO	6,688	7,000	6,688	7,438	6,9535

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°7, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida del color y textura, siendo el atributo olor con promedio igual al atributo de la textura.

Tabla III-13 Resultados obtenidos del análisis organoléptico de la muestra N° 8 según la escala hedónica.

Muestra 8					
T=Temperatura 70 °C ; T.C=Tipo de corte 2S					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	7	7	7	9	30
2	8	7	6	7	28
3	8	8	7	7	30
4	7	7	6	7	27
5	8	7	8	8	31
6	3	6	6	8	23
7	7	5	6	6	24
8	6	6	7	7	26
9	6	7	8	8	29
10	6	8	9	8	31
11	7	8	5	9	29
12	5	7	6	8	26
13	7	7	6	6	26
14	6	5	7	6	24
15	6	8	7	6	27
16	5	7	7	7	26
ΣTOTAL	102	110	108	117	437
PROMEDIO	6,375	6,875	6,750	7,313	6,8283

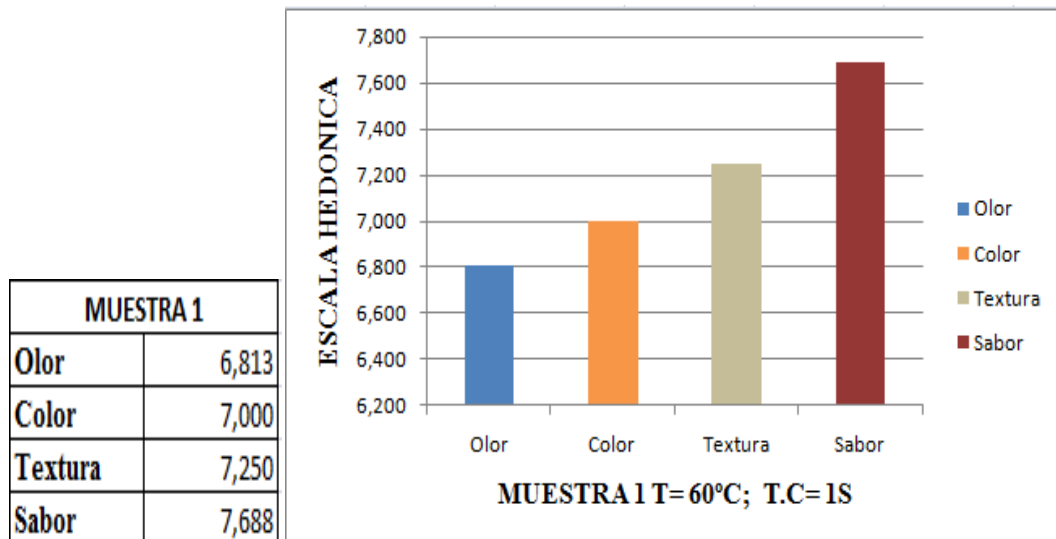
Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla precedente de la muestra N°8, se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada, seguida del color y textura, siendo lo contrario el atributo olor con el menor promedio.

A continuación se presenta los resultados finales del análisis sensorial de la harina de algarrobo obtenidos con los promedios de cada atributo para diferentes muestras del ensayo 1:

Figura III-1

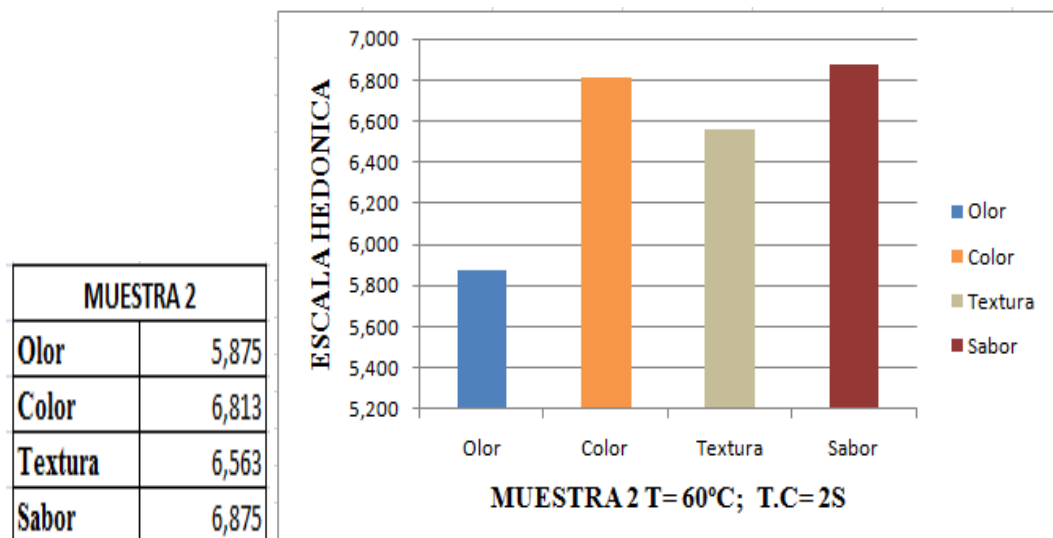
Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°1.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura III-2

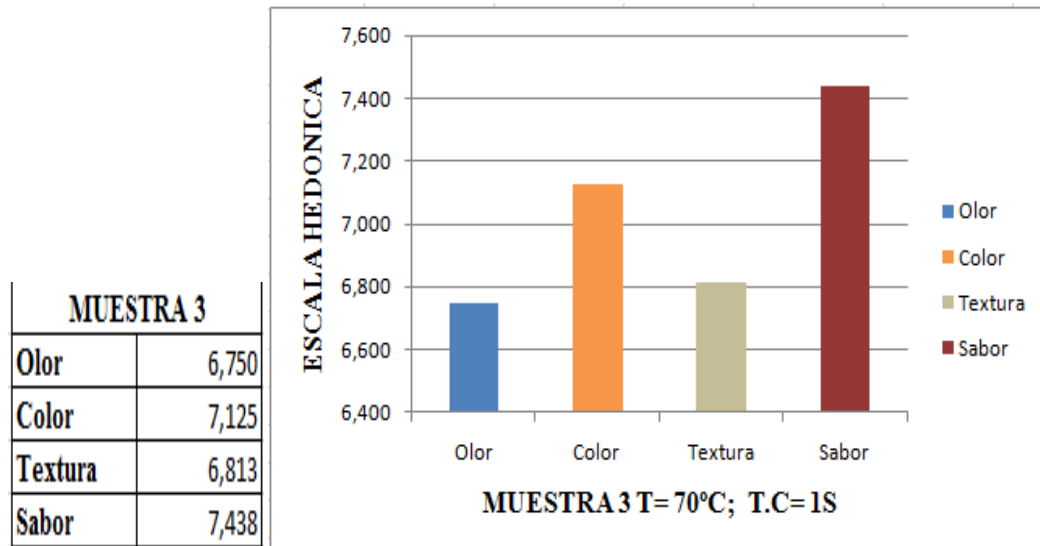
Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°2.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura III-3

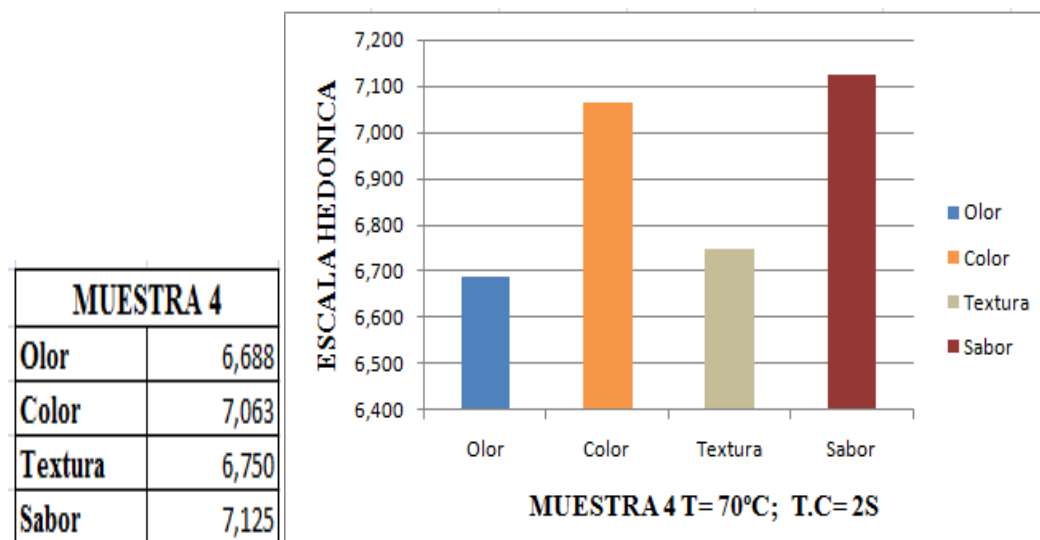
Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°3.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura III-4

Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°4.



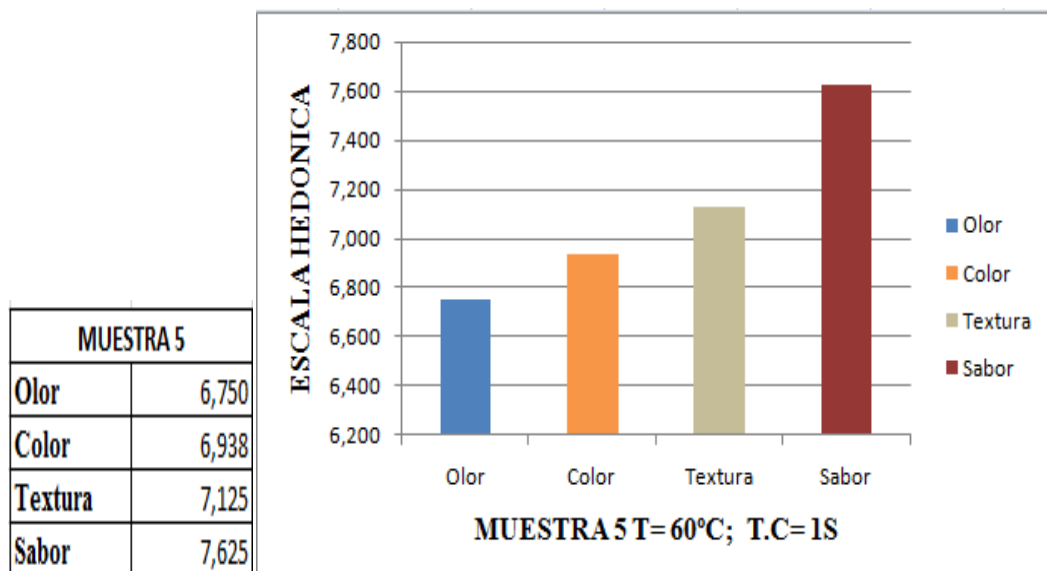
Fuente: Elaboración propia, 2017.

Se observa que la muestra N°1 mediante la escala hedónica, se estableció como la seleccionada; ya que en este sentido vale resaltar que este producto de acuerdo a lo comentado posee un color gris claro, además resaltar que es un producto muy alimenticio.

Los resultados finales del análisis sensorial de la harina de algarrobo obtenidos con los promedios de cada atributo para diferentes muestras del ensayo 2 son los siguientes:

Figura III-5

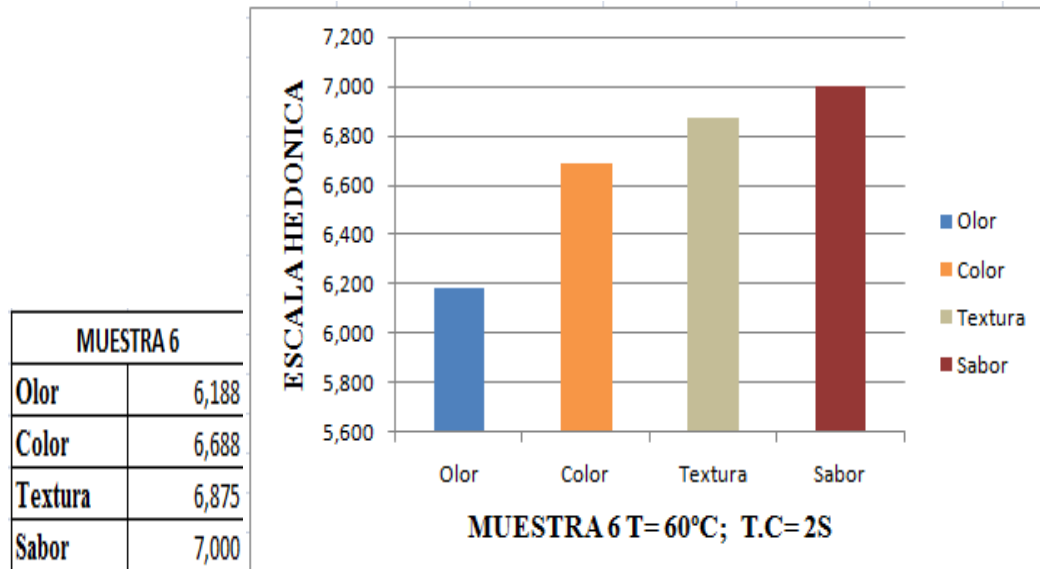
Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°5.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura III-6

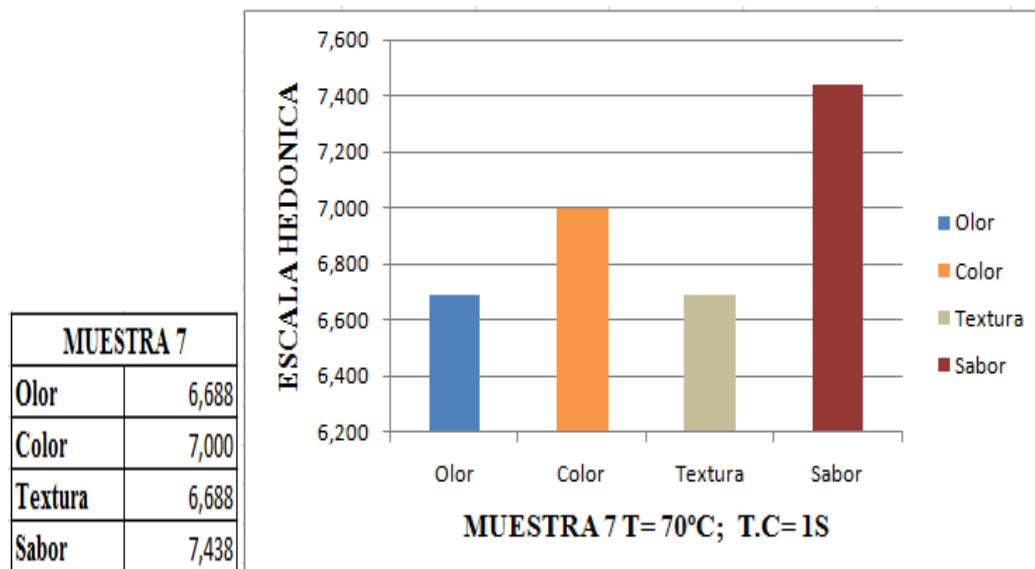
Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°6.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura III-7

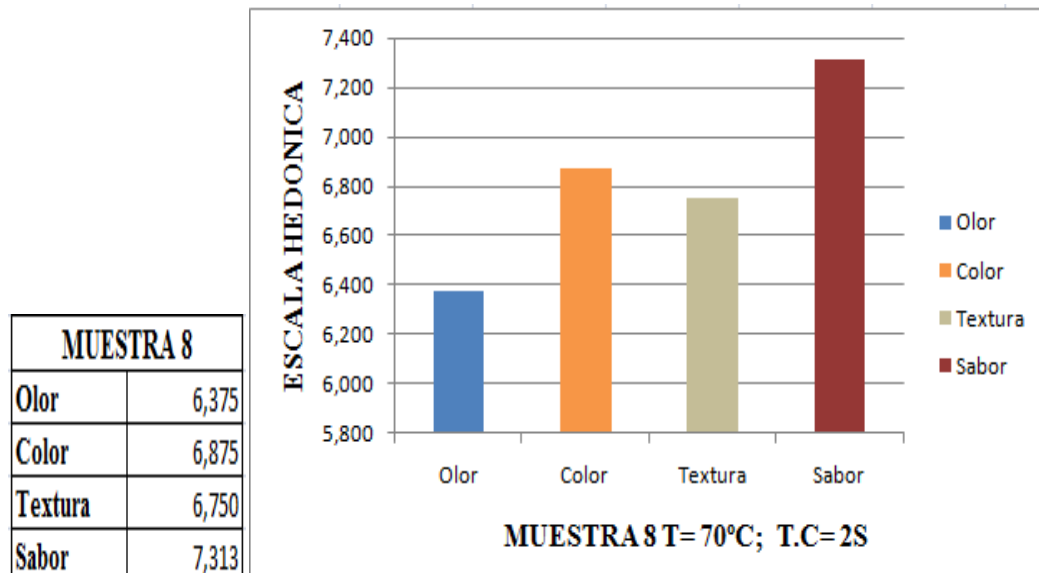
Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°7.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Figura III-8

Promedios de la evaluación sensorial de la muestra N°8.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño factorial, como se muestra en el capítulo II, da origen al presente análisis estadístico.

Para realizar el análisis estadístico del diseño experimental, se utilizó el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), el mismo que permite un tratamiento integrado de todas las fases que con lleva el análisis de datos, obteniendo de esta manera resultados más representativos y confiables.

Los resultados obtenidos de cada combinación Tipo de corte/Temperatura, facilitaron el diseño experimental y de este modo se determinaron las variables más significativas para el proceso de secado de las muestras de algarrobo.

A continuación en la tabla III-14 se muestra los valores experimentales obtenidos del arreglo matricial de datos de laboratorio del contenido final en base de las variables que se plantearon en el diseño factorial.

Tabla III-14 Resultados obtenidos de la variable respuesta del diseño.

Tipo de corte	Temperatura	Aceptabilidad del producto	
		Ensayo I	Ensayo II
1S	60	7,1878	7,1095
2S		6,5315	6,6878
1S	70	7,0315	6,9535
2S		6,9065	6,8283

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Estos datos se sometieron a un análisis estadístico ANOVA, para la interpretación de la variable respuesta aceptabilidad del producto de las pruebas organolépticas de la harina de algarrobo, cuyos datos de aceptabilidad fueron tomados con diferentes jueces quienes participaron de dichas pruebas para realizar la comparación de las cuatro pruebas.

En la tabla III-15 se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza para el proceso de aceptación del producto.

Tabla III-15 Prueba de efectos inter-sujetos.

Variable dependiente: ACEP

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,311 ^a	3	,104	19,416	,008
Intersección	381,382	1	381,382	71353,431	,000
TC	,221	1	,221	41,256	,003
T	,005	1	,005	,966	,381
TC * T	,086	1	,086	16,026	,016
Error	,021	4	,005		
Total	381,715	8			
Total corregida	,333	7			

a. $R = .936$ (R cuadrado corregida = .888).

A partir de este análisis se puede observar que el efecto de la variable Tipo de Corte, influye sobre la aceptabilidad, observándose que la temperatura no es significativa, con éste análisis es posible señalar que la variable tipo de corte es

significativa con una confianza del 95%, es decir, que la variable posee una cola de significación menor al 5% (0,05), lo cual comprueba estadísticamente que existe diferencia significativa entre las variables. Se observa que la temperatura no es significativa porque es mayor al 5% (0,05).

- **Análisis de Regresión.**

El modelo de regresión establece el modelo matemático que relaciona las variables más significativas con la variable respuesta. Para el análisis de regresión, se introdujo al SPSS las variables Tipo de Corte y Temperatura.

Tabla III-16 Anova

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	,306	2	,153	28,839	,002 ^a
	Residual	,027	5	,005		
	Total	,333	7			

a. Variable predictoras: (Constante), TCT, TC.

b. Variable dependiente: ACEP.

Tabla III-17 Coeficientes Análisis de varianza de la variable aceptabilidad del producto.

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	6,905	,026		268,043	,000	6,838	6,971
TC	-,166	,026	-,814	-6,445	,001	-,232	-,100
TCT	,103	,026	,507	4,017	,010	,037	,170

a. Variable dependiente: Aceptabilidad.

En la tabla III-17 se determinó que el modelo matemático ajustado para la aceptación, correlaciona la variable Temperatura y Tipo de Corte de las muestras; para el caso estudiado es el siguiente:

$$\text{Acep} = 6,905 - 0,166 * \text{TC} + 0,103 \text{ TCT}$$

Acep: Aceptabilidad

A partir de este modelo matemático encontrado para la aceptabilidad, ésta se ve favorecida, al presentar únicamente un tipo de corte significativa, se observa que la temperatura no presenta significativa.

En la tabla III-18 se indica los valores para la curva de aceptabilidad de las diferentes pruebas.

Tabla III-18 Valores para la aceptabilidad.

ENSAYOS	T.C	T	ACEP	ACEP
1	-1	-1	7.1878	7.166
2	-1	1	7.0315	6.928
3	1	-1	6.5315	6.697
4	1	1	6.9065	6.803
5	-1	-1	7.1095	7.213
6	-1	1	6.9535	6.975
7	1	-1	6.6878	6.603
8	1	1	6.8283	6.850

3.4 SECADO

Durante el proceso:

3.4.1 PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL SECADO DE LOS TROZOS DE ALGARROBO.

Durante el secado se pudo registrar la pérdida de peso de los trozos de algarrobo, los datos se registraron en intervalos de 15 minutos, para la muestra se fijó las variables: temperatura y tipo de corte de acuerdo al diseño factorial dado en el punto 2.4. Para la prueba de control se colocó en la bandeja 1134 gramos de trozos de algarrobo, evitando no contaminarla, es así que en el momento de ponerla se utilizó guantes estériles y espátula para esparcirla la muestra de forma uniforme, también se debe de tener en cuenta el cuidado de colocar rápidamente la muestra en las bandejas para evitar la exposición de la misma a la atmósfera para evitar que adquiera humedad del medio ambiente. Es así que seca la muestra hasta peso constante para generar la curva de secado.

En la tabla III-19 se muestra los datos de la pérdida de peso de las pruebas a 60 y 70 °C a un tipo de corte de 1S, con mediciones en intervalos de 15 min.

Tabla III-19 Pérdida de peso en el secado de los trozos de algarrobo a temperaturas de 60 y 70 °C, a un tipo de corte de 1S.

Tiempo (min)	60°C – 1S		70°C -1S	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
0	1134	1134	1134	1134
15	1026	1027	1014	1016
30	971	969	955	958
45	931	935	930	932
60	911	916	915	917
75	899	898	897	899
90	885	883	879	877
105	873	870	861	860
120	865	866	857	854
135	854	853	845	843
150	841	841	830	831
165	836	838	819	820
180	830	832	809	812
195	824	823	801	803
210	818	819	798	799
225	811	815	795	795
240	807	810	792	792
255	803	806	791	789
270	800	801	790	788
285	798	796	790	788
300	797	793	790	788
315	796	791		
330	795	790		
345	795	790		
360	795	790		

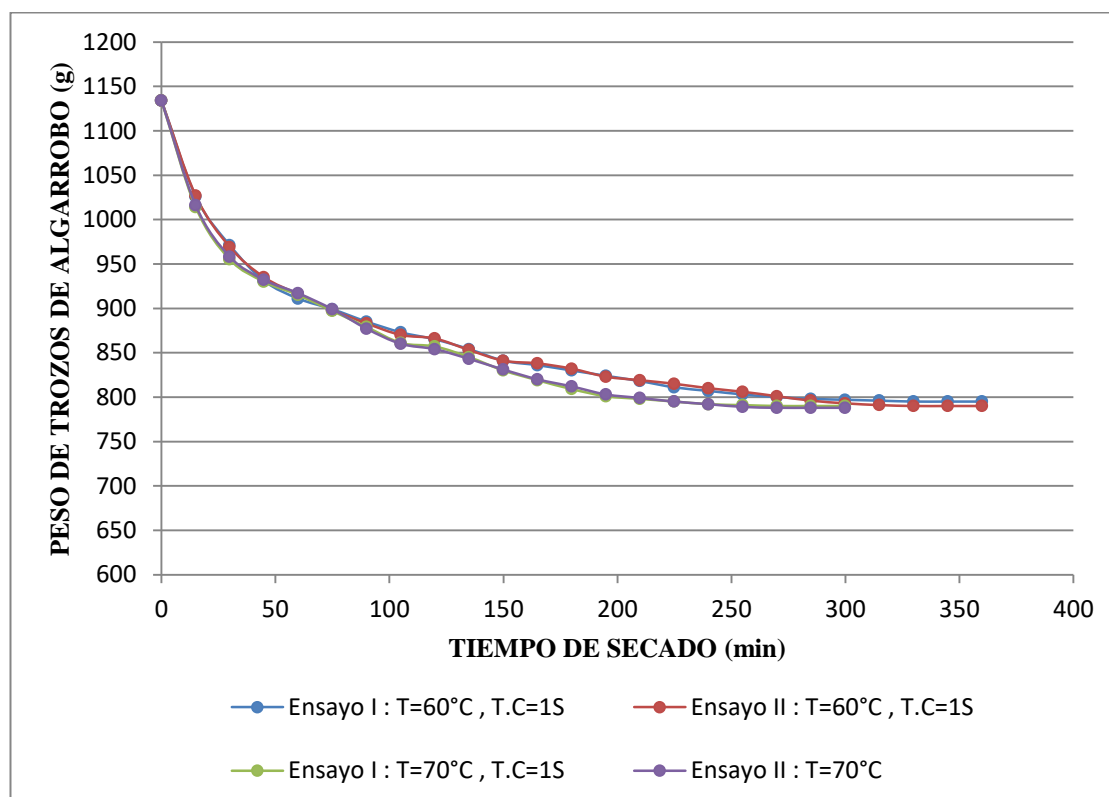
Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla III-19 se observa la pérdida de peso del algarrobo durante el secado a diferentes temperaturas, fijadas de acuerdo a lo definido en el diseño factorial, usando un tipo de corte de 1S con temperaturas de 60 y 70°C, donde se realizaron dos repeticiones, el tiempo que tardo en secar el algarrobo a temperatura de 60°C es de 360 minutos y a 70°C es de 300 minutos.

En la figura III-9, se muestra la variación del peso en el proceso de secado con las temperaturas de 60 y 70°C y un tipo de corte de 1S.

Figura III-9

Pérdida de peso del algarrobo a 60 y 70°C a un tipo de corte de 1S.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura III-9 se muestra la variación del peso en el proceso de secado con las temperaturas de 60 y 70°C y a un tipo de corte de 1S; se puede observar que las curvas al inicio del secado disminuyen casi linealmente con el tiempo por lo que la velocidad de secado permanece constante, lo que significa que se está eliminando el agua libre que se encuentra en las muestras de los trozos de algarrobo. Al igual se puede observar que la curva de 70°C va alcanzando mayor pendiente proporcionando así mayor velocidad de secado que la curva a 60°C, es así entonces que a mayor temperatura, se tiene mayor velocidad de secado en menor tiempo.

En la tabla III-20 se observa la pérdida de peso de los trozos de algarrobo a 60 y 70°C con un tipo de corte de 2S, con mediciones en intervalos de 15 min.

Tabla III-20 Pérdida de peso en el secado de los trozos de algarrobo a temperaturas de 60 y 70 °C, a un tipo de corte de 2S.

Tiempo (min)	60°C – 2S		70°C -2S	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
0	1134	1134	1134	1134
15	1039	1042	10300	1029
30	980	980	979	980
45	951	956	951	950
60	939	940	939	939
75	927	927	925	927
90	910	915	914	913
105	895	899	897	896
120	880	882	880	879
135	869	871	869	869
150	857	860	859	859
165	851	855	853	852
180	845	847	846	845
195	837	839	839	838
210	830	830	829	828
225	823	826	823	820
240	816	816	815	819
255	811	810	809	813
270	807	808	808	810
285	804	805	806	807
300	801	802	803	802
315	799	800	800	801
330	797	798	799	800
345	796	797	799	800
360	795	796	799	800
375	794	793		
390	793	792		
405	793	792		
420	793	792		

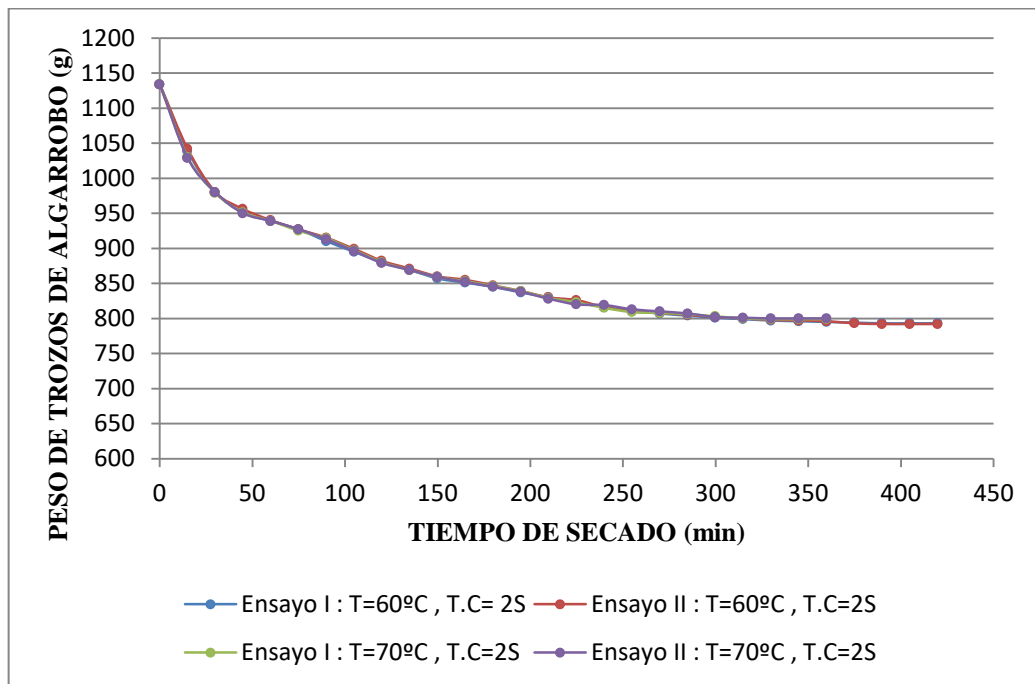
Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla III-20 se observa la pérdida de peso del sólido durante el secado a temperaturas de 60 y 70°C usando un tipo de corte de 2S, donde se realizaron dos repeticiones, el tiempo que tardó en secar el algarrobo a temperatura de 60°C es de 420 minutos y a 70°C es de 360 minutos.

En la figura III-10 se muestra la variación del peso en el proceso de secado con las temperaturas de 60 y 70°C y un tipo de corte de 2S.

Figura III-10

Pérdida de peso del algarrobo a 60 y 70°C a un tipo de corte de 2S.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la gráfica III-10 se puede observar que las curvas de 60 y 70°C y a un tipo de corte de 2S al inicio del secado disminuyen casi linealmente con el tiempo por lo que la velocidad de secado permanece constante, lo que significa que se está eliminando el agua libre que se encuentra en la muestra de los trozos de algarrobo; sin embargo se puede observar que la curva a 70°C tienen mayor velocidad de secado que la curva de 60°C.

3.4.2 PORCENTAJE DE HUMEDAD EN BASE HÚMEDA DEL ALGARROBO.

Para realizar el cálculo de la humedad en base húmeda de un material como porcentaje del peso del sólido húmedo, se realiza de acuerdo a la siguiente ecuación (3-2) citada por (Martínez y Lira, 2010) que es la siguiente:

$$X_h = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad (3.2)$$

Dónde:

m_s = Masa del solido seco

m_h = Masa inicial

Por ejemplo:

Para $T = 60^\circ\text{C}$ y $T.C = 1\text{S}$ se tiene:

$m_s = 795 \text{ g}$

$m_h = 1134 \text{ g}$

$$X = \frac{1134 - 795}{1134} * 100\% = 29.894\%$$

Mediante esta ecuación se determina el porcentaje de humedad en base húmeda de la harina de Algarrobo en el proceso de secado.

En la tabla III-21 se observa el porcentaje de humedad de las primeras cuatro muestras según el diseño experimental.

Tabla III-21 Porcentaje de la humedad del algarrobo.

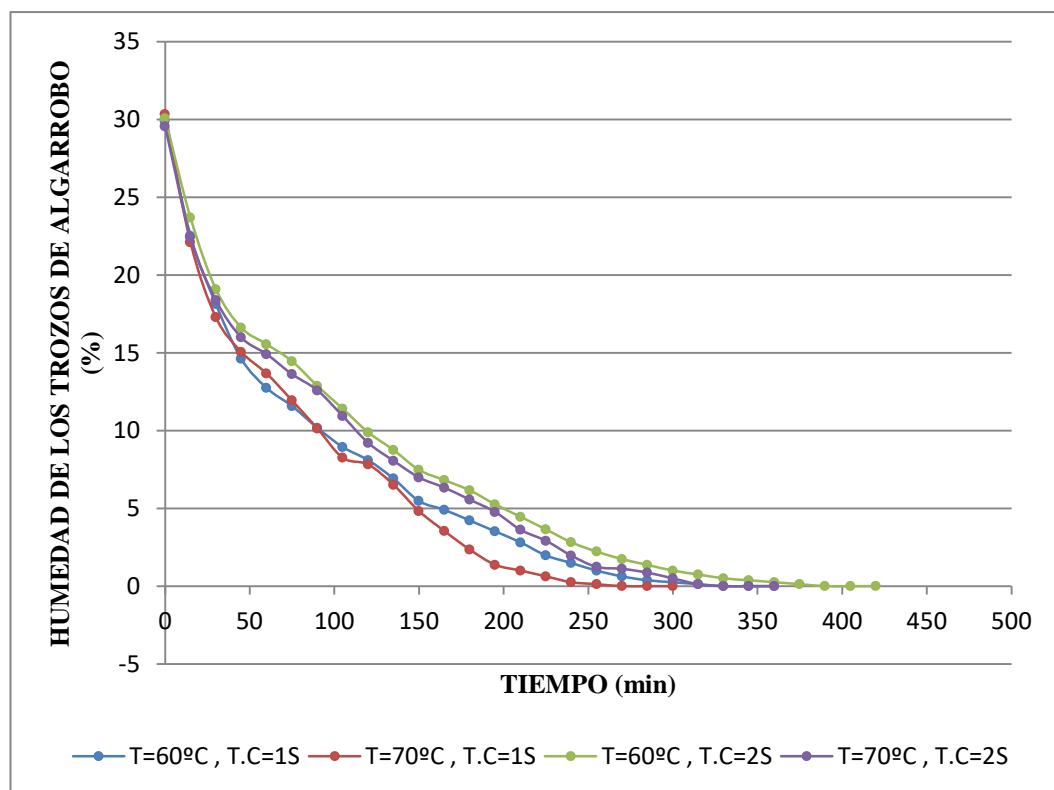
	T = 60°C	T = 70°C	T = 60°C	T = 70°C
Tiempo	T.C = 1S		T.C = 2S	
(min)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)
0	29,894	30,335	30,071	29,541
15	22,515	22,091	23,677	22,427
30	18,126	17,277	19,082	18,386
45	14,608	15,054	16,614	15,983
60	12,733	13,661	15,548	14,909
75	11,568	11,929	14,455	13,622
90	10,169	10,125	12,857	12,582
105	8,935	8,246	11,396	10,925
120	8,092	7,818	9,886	9,205
135	6,909	6,509	8,746	8,055
150	5,469	4,819	7,468	6,985
165	4,904	3,541	6,816	6,331
180	4,217	2,349	6,154	5,556
195	3,519	1,373	5,257	4,768
210	2,812	1,003	4,458	3,619
225	1,973	0,629	3,645	2,916
240	1,487	0,253	2,818	1,963
255	0,996	0,126	2,219	1,236
270	0,625	0	1,735	1,114
285	0,376	0	1,368	0,868
300	0,251	0	0,999	0,498
315	0,126		0,751	0,125
330	0		0,502	0
345	0		0,377	0
360	0		0,252	0
375			0,126	
390			0	
405			0	
420			0	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla III-21 se observa los porcentajes de humedad del algarrobo; se ve que al inicio el secado es más rápido porque hay mayor humedad en la superficie, por lo tanto hay un mayor fenómeno difusional de la humedad, a medida que se va secando el algarrobo la remoción del agua es más pequeña porque hay un encostramiento de la pulpa por lo tanto es más difícil el secado hacia la parte interna de la pulpa del algarrobo, conforme va secando la muestra, esta tiende a alcanzar un equilibrio.

Figura III-11

Porcentaje de humedad durante el secado del algarrobo.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En esta figura III-11 se observa que la humedad de la muestra de algarrobo va disminuyendo conforme se va secando hasta alcanzar un equilibrio, donde ya no puede perder más humedad porque ya llegó a una humedad de equilibrio, donde la temperatura de la estufa y de la muestras son iguales.

3.4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA.

El cálculo de la humedad en base seca se determina en base a los resultados obtenidos de la pérdida de humedad de peso del algarrobo, según la expresión

matemática citada por (Contreras, 2005) ecuación (3-3), para realizar el cálculo de la humedad en base seca que presenta el algarrobo se realiza con la siguiente ecuación:

$$X = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (3.3)$$

Dónde:

X= Contenido de humedad en base seca (kg H₂O/kg sólido seco)

m_i= Masa de muestra del algarrobo inicial (g)

m_{ss}=Masa de sólido seco del algarrobo (g)

Para realizar los cálculos del contenido de humedad en base seca, se consideró el contenido de humedad de la materia prima. La masa de sólido seco se puede estimar a través de la ecuación (3.4).

$$m_{ss} = m_i - m_i \left(X \frac{H_2O}{m_i} \right) \quad (3-4)$$

A continuación se presentan los promedios de pérdida de peso del algarrobo de las distintas pruebas que se hicieron, ya que estos se encuentran en gramos (g); para sacar la humedad en base seca se utilizan los datos de la tabla III-22 en la ecuación (3.3) ya que nos da el mismo resultado si trabajamos con kilogramos, pero la ecuación (3.3) está expresada en kilogramos para realizar la cinética de secado.

Tabla III-22 Promedio de pérdida de peso en el secado del algarrobo.

	T = 60°C	T = 70°C	T = 60°C	T = 70°C
Tiempo	T.C = 1S		T.C = 2S	
(min)	Promedio (g)	Promedio (g)	Promedio (g)	Promedio (g)
0	1134	1134	1134	1134
15	1026	1014	1039	1030
30	971	955	980	979
45	931	930	951	951
60	911	915	939	939
75	899	897	927	925
90	885	879	910	914
105	873	861	895	897
120	865	857	880	880
135	854	845	869	869
150	841	830	857	859
165	836	819	851	853
180	830	809	845	846
195	824	801	837	839
210	818	798	830	829
225	811	795	823	823
240	807	792	816	815
255	803	791	811	809
270	800	790	807	808
285	798	790	804	806
300	797	790	801	803
315	796		799	800
330	795		797	799
345	795		796	799
360	795		795	799
375			794	
390			793	
405			793	
420			793	

Fuente:Elaboración propia, 2017.

Por ejemplo:

Para $T = 60^{\circ}\text{C}$ y $T.C = 1\text{S}$, se tiene:

$$m_i = 1134 \text{ g para un } t = 0$$

$$m_s = 795 \text{ g para un } t = 360 \text{ min}$$

Reemplazando estos datos en la ecuación (3-3): se determina el porcentaje de humedad en base seca de la harina de Algarrobo en el proceso de secado.

$$X = \frac{1134 - 795}{795} = 0,423 \text{ gH}_2\text{O/gSS}$$

X_S = Humedad en base seca ($\text{kgH}_2\text{O/kg}$ sólido seco)

$$X_S = 0,423 \text{ g H}_2\text{O/gSS} * \left(\frac{1\text{kg}}{1000\text{g}}\right) * \left(\frac{100}{1\text{kg}}\right) = 0,423 \text{ kgH}_2\text{O/kgSS}$$

En la tabla III-23 se expresan los resultados de la humedad en base seca para los cuatro ensayos, expresados en $\text{kgH}_2\text{O/kgSS}$:

Tabla III-23 Contenido de humedad en base seca.

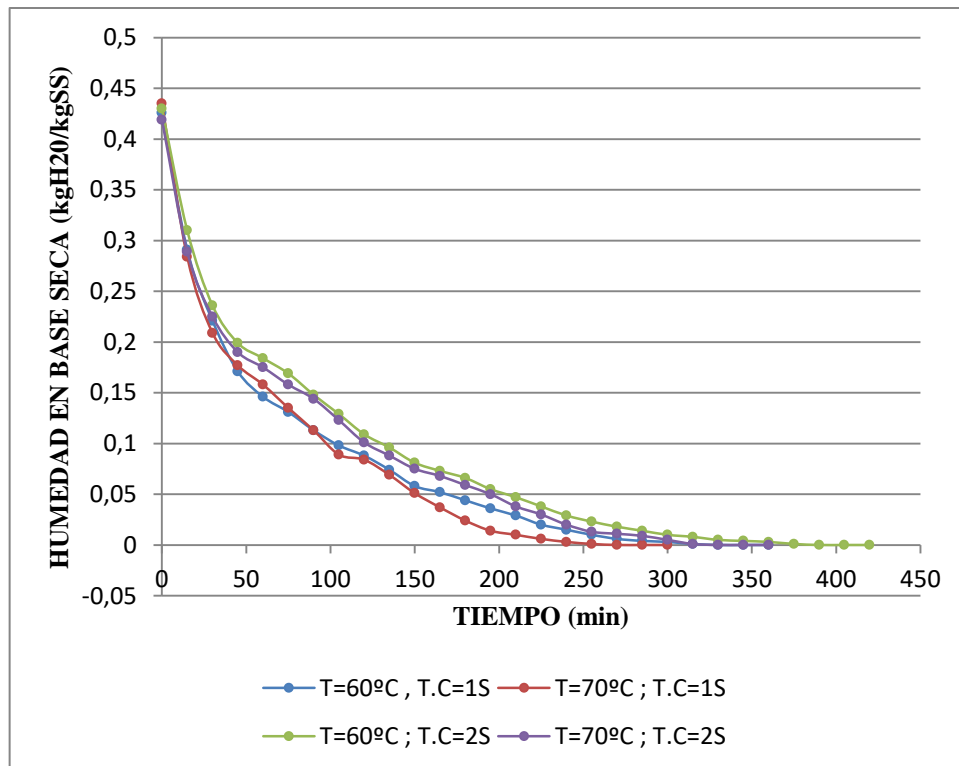
	T = 60°C	T = 70°C	T = 60°C	T = 70°C
Tiempo	T.C = 1S		T.C = 2S	
(min)	Xs(kgH ₂ O/kgSS)	Xs(kgH ₂ O/kgSS)	Xs(kgH ₂ O/kgSS)	Xs(kgH ₂ O/kgSS)
0	0,426	0,435	0,430	0,419
15	0,291	0,284	0,310	0,289
30	0,221	0,209	0,236	0,225
45	0,171	0,177	0,199	0,190
60	0,146	0,158	0,184	0,175
75	0,131	0,135	0,169	0,158
90	0,113	0,113	0,148	0,144
105	0,098	0,089	0,129	0,123
120	0,088	0,084	0,109	0,101
135	0,074	0,069	0,096	0,088
150	0,058	0,051	0,081	0,075
165	0,052	0,037	0,073	0,068
180	0,044	0,024	0,066	0,059
195	0,036	0,014	0,055	0,050
210	0,029	0,010	0,047	0,038
225	0,020	0,006	0,038	0,030
240	0,015	0,003	0,029	0,020
255	0,010	0,001	0,023	0,013
270	0,006	0	0,018	0,011
285	0,004	0	0,014	0,009
300	0,003	0	0,010	0,005
315	0,001		0,008	0,001
330	0		0,005	0
345	0		0,004	0
360	0		0,003	0
375			0,001	
390			0	
405			0	
420			0	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Con los datos calculados de la tabla III-23, de acuerdo al orden del diseño experimental se procede a graficar las curvas de la humedad en base seca como se observa en la figura III-12.

Figura III-12

Curva de humedad en base seca.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la figura III-112 se muestra la humedad en base seca en el proceso de secado de algarrobo con las primeras cuatro pruebas según el diseño experimental; se puede observar que las pruebas a 70 °C tienen mayor velocidad de secado que las pruebas a 60 °C por lo que alcanza en menor tiempo la humedad de equilibrio; por el contrario las pruebas de 60 °C tienen una menor velocidad de secado que las pruebas de 70 °C, y se puede apreciar en la figura que la variación de la humedad al final se mantiene constante.

3.4.4 DETERMINACIÓN DE LA CINÉTICA DE SECADO.

Para la determinación de la cinética de secado se tiene como parámetros de operación los valores de temperatura a 60 °C y un tipo de corte de 1S en la bandeja.

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en una unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ($- dX/dt$) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperaturas presión, humedad, y velocidad) permanecen constantes con el tiempo (Ocon y Tojo, 1963).

$$W = \frac{SS}{A} \left(- \frac{dX}{dt} \right) \quad (3-4)$$

Dónde:

SS = Peso de sólido seco (kg)

A = Área de la superficie expuesta (m²)

W = Velocidad de secado (kg/m²*h)

X = Humedad en base seca (kg H₂O/kg sólido seco)

Para la determinación de la cinética de secado en la deshidratación de algarrobo se desarrolla el método de tres puntos:

Método de tres puntos:

Para determinar la velocidad de secado (que está dada por la relación de la variación de la humedad en función del tiempo) en base a los datos de humedad base seca Vs tiempo, obtenidos en las experiencias de laboratorio, se utilizó el método de los tres puntos, el mismo que sirve para encontrar la pendiente o velocidad en cada uno de los puntos observados, por lo que para determinar la cinética de secado se plantea la ecuación (3-5).

$$- \frac{dX}{dt} = Y \quad (3-5)$$

Dónde:

X = Humedad en base seca (kg H₂O/kg sólido seco)

t = Tiempo horas

Y_0, Y_1, Y_2 = Datos tomados de las tablas

$$Y_0 = \frac{-3Y_0 + 4Y_1 - Y_2}{2h} \quad (3-6)$$

$$Y_1 = \frac{-Y_0 + Y_2}{2h} \quad (3-7)$$

$$Y_2 = \frac{Y_0 - 4Y_1 + Y_2}{2h} \quad (3-8)$$

Con los datos de la tabla III-23 se reemplazan en la ecuación (3-6), (3-7) y (3-8), para hallar los cálculos de la cinética de secado con el método de tres puntos, con un intervalo de tiempo de 0,25 horas.

Los demás cálculos que se realizaron para obtener la cinética de secado se encuentran en el (ANEXO D).

La tabla III-24, muestra los resultados de la cinética de secado para la muestra de trozos de algarrobo; los datos experimentales del contenido de humedad en base seca fueron extraídos de la tabla III-23 y los datos calculados fueron extraídos del ANEXO D. Las condiciones del proceso de secado fueron las siguientes:

SS = Peso de sólido seco = 0,795 kg

A = Área de la superficie expuesta = 0,1053 m²

Tabla III-24 Datos para la velocidad de secado.

Tiempo (horas)	X (kgH₂O/kgSS)	- (dx/dt)	$W = \frac{SS}{A} \left(- \frac{dx}{dt}\right)$
0,25	0,291	0,320	2,416
0,5	0,221	0,245	1,849
0,75	0,171	0,155	1,170
1	0,146	0,080	0,604
1,25	0,131	0,072	0,544
1,5	0,113	0,068	0,513
1,75	0,098	0,052	0,393
2	0,088	0,048	0,362
2,25	0,058	0,044	0,332
2,5	0,052	0,036	0,272
2,75	0,044	0,033	0,249
3	0,036	0,027	0,204
3,25	0,029	0,026	0,196
3,5	0,020	0,020	0,151
3,75	0,010	0,018	0,136
4	0,006	0,013	0,098
4,25	0,004	0,006	0,045
4,5	0,003	0,004	0,030

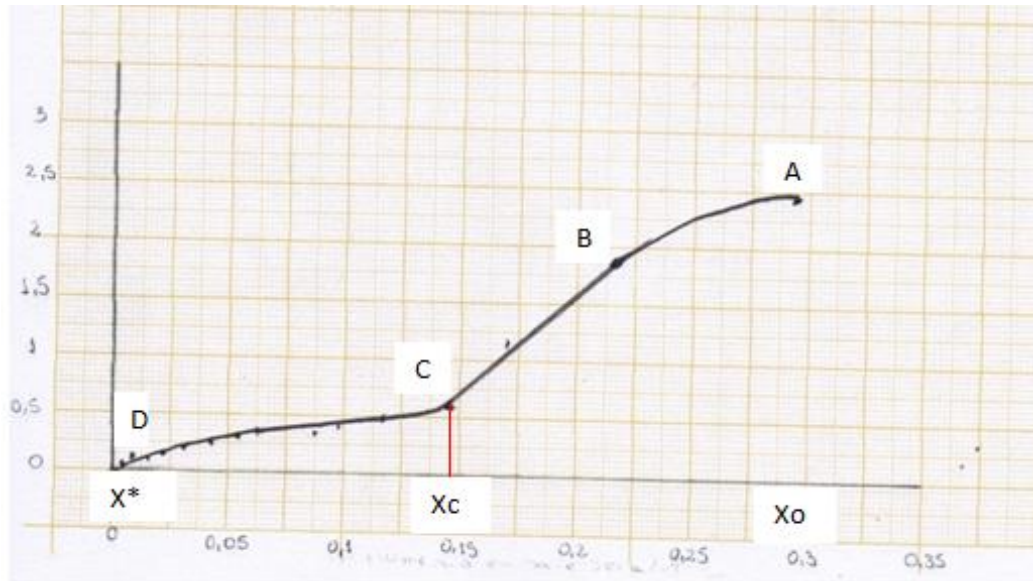
Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la tabla III-24 podemos ver la humedad en base seca y la velocidad de secado a la cual se realizó el secado del algarrobo.

En la figura III-13 se observa la velocidad de secado y sus diferentes etapas de velocidad, extraídos de la tabla III-24.

Figura III-13

Velocidad de secado en función de la humedad en base seca.



Humedad en base seca (X) (kg de agua/kg de SS)

Fuente: Elaboración propia, 2017.

En la gráfica III-13 se puede observar la humedad en base seca Vs la velocidad de secado con $\left(-\frac{dX}{dt}\right)$ y $W = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt}\right)$ de acuerdo a Ocon y Tojo (1963).

Humedad crítica

De acuerdo a lo estipulado en la teoría de la cinética de secado, el periodo de velocidad constante se verifica cuando el sólido a secar tiene en su superficie una película de agua, de tal manera que todo el proceso se verifica bajo un mismo mecanismo para evaporar esta película de agua. En nuestro caso, en las muestras de Algarrobo no presentan esta película de agua por cuanto ya se verificó en la planta y en el transporte y almacenamiento la evaporación de una cantidad de la humedad del fruto, por lo que observamos que los frutos tienen su superficie seca, por lo que podemos decir que el período de velocidad de secado constante no se verificará. Lo que sí se verifica es el acondicionamiento del material (Algarrobo) a la temperatura del secador, pues el material se encuentra a la temperatura ambiente y el secador a 60°C, de tal manera que debe producirse un proceso de adecuación entre el punto A y el B que se muestran en la gráfica III-9. Posteriormente se presenta el fenómeno que el plano de la superficie de secado se

desplaza desde la superficie de la muestra de algarrobo hacia el interior o centro del fruto, lo cual lo hace con una reducción de la velocidad variable con pendiente constante, desde el punto B hasta el punto C, en el que nuevamente existe un punto de inflexión y es en el que se determina la humedad crítica X_c ; el valor de la humedad crítica depende de las condiciones del aire de secado y del tipo de corte o espesor del material a secar. El periodo de la velocidad decreciente se extiende desde el punto C que corresponde al de la humedad crítica X_c hasta el punto D que corresponde a la humedad final del algarrobo X_f , cuyo valor límite es X^* .

De acuerdo a la lectura de la figura III-13, se observa que el valor de humedad crítica es: $X_c = 0,148$

3.5 MOLIENDA

Para la molienda que se realizó a la muestra de algarrobo seleccionado, en el molino de bolas dio buenos resultados introduciéndolo una alimentación al 100% de cual se obtuvo una pérdida de 1,3% y un material molido de 98,7%; se pudo observar que por sus azúcares se impregnaba la harina en las bolas del molino, lo cual no fue de gran pérdida, fue mínima la pérdida de harina de algarrobo.

3.6 TAMIZADO

El tamizado se realizó luego de la molienda, en un único ensayo de un tamiz con mallas de 1 mm; 0,5 mm; 0,25 mm; 0,063 mm y en el tamiz colector donde se obtuvo distintos tamaños de partículas, estos datos se pueden observar en el capítulo II. De las diferentes granulometrías obtenidas, la granulometría de interés para el presente trabajo de investigación es una harina de algarrobo que atraviesa la malla 0,25mm.

En la tabla III-25 se observa los resultados obtenidos de los diferentes pesos de harina de algarrobo que se encuentra en los diferentes números de mallas al realizar el proceso de tamizado.

Tabla III-25 Resultados de tamizado de la harina de algarrobo.

N° de malla (mm)	Peso de la harina (g)	Porcentaje de la harina (%)
1	5,509	1,855
0,5	8,349	2,811
0,25	80,256	27,017
0,063	194,922	65,618
0	8,021	2,7
Total	297,057	100
Perdida	2,968	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

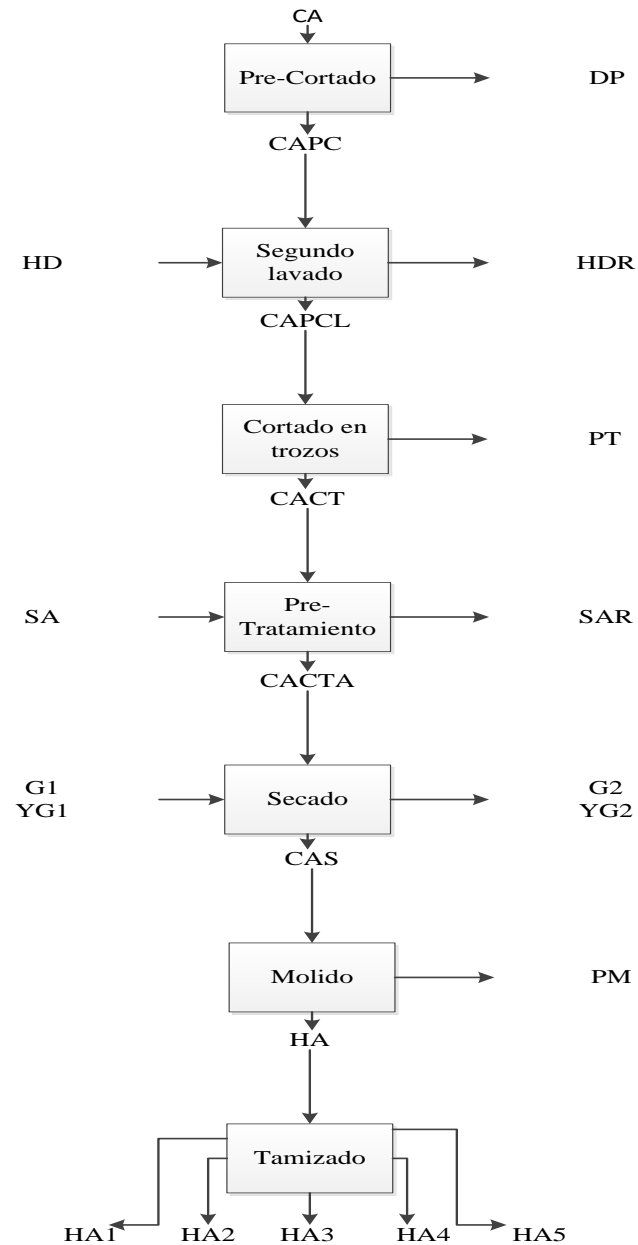
En la tabla III-25 se puede observar que el porcentaje retenido en la malla 0,063 mm que atravesó la malla 0,25 mm presentó un porcentaje de 65,618% como harina de algarrobo con granulometría de interés, es por ello que se consideró que el 34,383% de la restante granulometría como pérdida, sirve para otras aplicaciones, resaltar también que a medida que la harina de algarrobo con granulometría más fina el color de ésta va aclarando aún más, presentando un color mucho más agradable que la harina con granulometría gruesa.

3.7 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.

El balance de materia para el proceso de obtención de harina de algarrobo variedad "*Prosopis alba griseb*", se llevó a cabo teniendo en cuenta el siguiente diagrama de bloques representado en la siguiente figura III-14:

Figura III-14

Diagrama de bloques del balance de materia para la obtención de Harina de Algarrobo.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Dónde:

CA = Cantidad de algarrobo (g).

DP = Desechos puntas (g).

CAPC = Cantidad de algarrobo pre-cortado (g).

HD = Agua desinfectante (g).

CAPCL = Cantidad de algarrobo pre-cortado lavado (g).

HDR = Agua desinfectante residual (g).

CACT = Cantidad de algarrobo cortado en trozos (g).

PT = Pérdida de trozos (g).

CACTA = Cantidad de algarrobo cortado en trozos con ácido (g).

SA = Solución con ácido (g).

SAR = Solución con ácido residual (g).

CAS = Cantidad de algarrobo seco (g).

G1 = Cantidad de aire a la entrada del proceso (m_3/h).

G2 = Cantidad de aire a la salida del proceso (m_3/h)

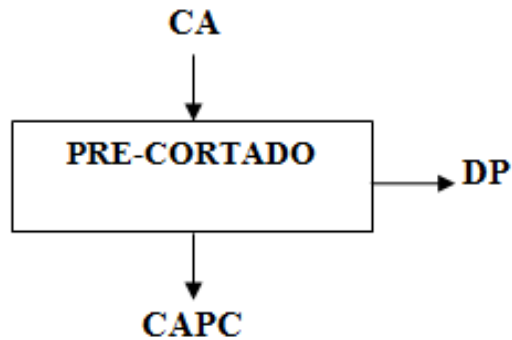
HA = Harina de algarrobo (g).

CPM = Cantidad de pérdida en el molino (g).

PAT = Pérdida de algarrobo en el tamizado (g)

HA1, HA2 y HA3 = Clasificación de la harina por tamaño de partícula (g)

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE PRE-CORTADO.



Balance general de masa para el proceso de pre-cortado´.

$$CA = CAPC + DP \quad \text{Ec.III-1}$$

Dónde:

$$CA = 1040 \text{ g} \quad \quad \quad CAPC = 1022 \text{ g}$$

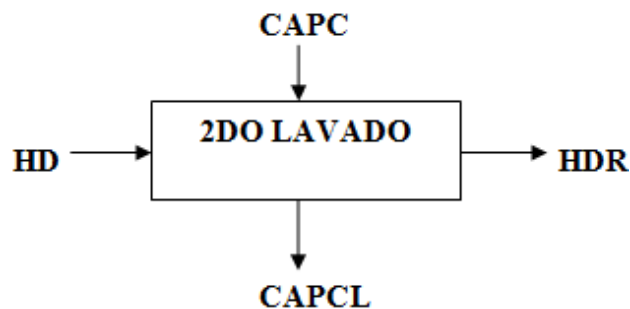
Despejando DP de la Ec.III-1:

$$DP = CA - CAPC \quad \text{Ec.III-2}$$

$$DP = (1040 - 1022)$$

$$DP = 18 \text{ g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL 2DO LAVADO.



Balance general de masa en el proceso del 2do lavado.

$$CAPC + HD = CAPCL + HDR \quad \text{Ec.III-3}$$

Dónde:

$$CAPC = 1022 \text{ g} \quad \quad HD = 4004 \text{ g} \quad \quad CAPCL = 1032 \text{ g}$$

Despejando HDR de la Ec.III-3:

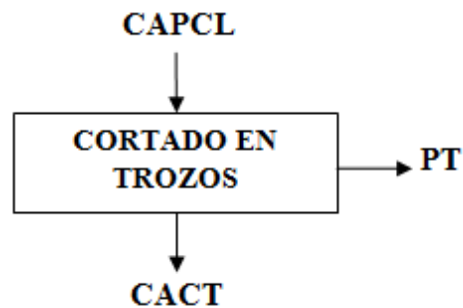
$$\text{HDR} = \text{CAPC} + \text{HD} - \text{CAPCL} \quad \text{Ec.III-4}$$

$$\text{HDR} = (1022 + 4004)\text{g} - 1032 \text{ g}$$

$$\text{HDR} = 5026 - 1032$$

$$\text{HDR} = 3994 \text{ g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE CORTADO.



Balace general de masa para el proceso de cortado

$$\text{CAPCL} = \text{CACT} + \text{PT} \quad \text{Ec.III-5}$$

Dónde:

$$\text{CAPCL} = 1032 \text{ g}$$

$$\text{CACT} = 995 \text{ g}$$

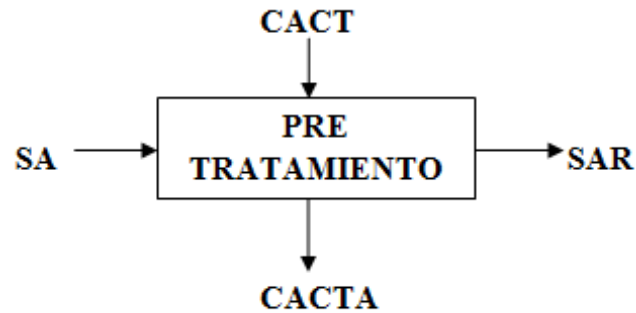
Despejando PT de la Ec.III-5:

$$\text{PT} = \text{CAPCL} - \text{CACT} \quad \text{Ec.III-6}$$

$$\text{PT} = 1032\text{g} - 995\text{g}$$

$$\text{PT} = 37\text{g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE INMERSIÓN EN SOLUCIÓN.



Balance general de masa para el proceso de inmersión.

$$\text{CACT} + \text{SA} = \text{CACTA} + \text{SAR} \quad \text{Ec.III-7}$$

Dónde:

$$\text{CACT} = 995\text{g} \quad \text{SA} = 1500\text{g} \quad \text{CACTA} = 1134\text{g}$$

Despejando SAR de la Ec.III-7:

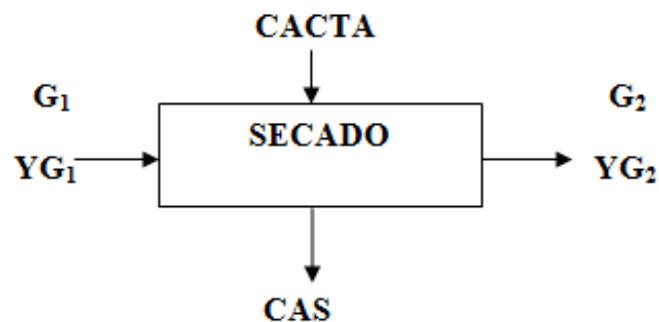
$$\text{SAR} = \text{CACT} + \text{SA} - \text{CACTA} \quad \text{Ec.III-8}$$

$$\text{SAR} = 995 + 1500 - 1134$$

$$\text{SAR} = 2495 - 1134$$

$$\text{SAR} = 1361\text{g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO.



Balance general de masa en el proceso de secado.

$$\text{CACTA} + G_1 = \text{CAS} + G_2 \quad \text{Ec.III-9}$$

Dónde:

$$CACTA = 1134g$$

Balance parcial en base seca en el proceso de secado.

$$CACTAX_{CACTA} + G_1 Y_{G1} = CAS X_{CAS} + G_2 Y_{G2} \quad \text{Ec.III-10}$$

Considerando un sistema abierto:

$$G_1 = G_2 = G$$

Dónde:

$$CACTA = CAS = m_{ss}(\text{cantidad del producto seco (g)})$$

Reordenando la Ec.III-10 tenemos:

$$m_{ss}X_{CACTA} + GY_{G1} = m_{ss}X_{CAS} + GY_{G2} \quad \text{Ec.III-11}$$

$$m_{ss}X_{CACTA} - m_{ss}X_{CAS} = GY_{G2} - GY_{G1} \quad \text{Ec.III-12}$$

$$m_{ss}(X_{CACTA} - X_{CAS}) = G(Y_{G2} - Y_{G1}) \quad \text{Ec.III-13}$$

En la siguiente tabla III-26 se muestra los resultados obtenidos de las propiedades psicométricas del aire de entrada y salida del secador en base a las temperaturas de bulbo seco (Tbs) y temperatura de bulbo húmedo (Tbh), las cuales se obtuvieron utilizando la carta psicométrica (ver ANEXO E) que se encuentra a condiciones de presión 610 mmHg de la ciudad de Tarija.

Tabla III-26 Propiedades psicométricas del aire

Propiedades	Entrada de aire	Salida de aire
Tbs (°C)	24	41
Tbh (°C)	14	33
HR (%)	37	61
Y (kg agua/kgaire)	0,010	0,038
H (Kcal/kg)	4,5	18,3
Ve(m ³ /kg)	0,832	0,941

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Dónde:

HR= Humedad relativa (%).

Y = Humedad absoluta (kg agua/kg aire).

H = Entalpia (Kcal/kg).

Ve = Volumen específico (m³/kg).

Para calcular la cantidad del sólido seco del alimento se tomó en cuenta la expresión matemática siguiente:

$$m_{ss} = m_i \left(1 - X_{mi}^{H2O} \right)$$

Reordenándola en función de los datos obtenidos en el secado tenemos:

$$CAS = CACTA \left(1 - X_{CACTA}^{H2O} \right) \quad \text{Ec.III-14}$$

Dónde:

m_{ss} = CAS = Cantidad de producto seco.

m_i = CACTA = Cantidad de alimento húmedo.

$X_{mi}^{H2O} = X_{CACTA}^{H2O}$ = Fracción del contenido de humedad del alimento

Reemplazamos los datos en la Ec.III-14, tenemos:

$$CAS = 1134 (1 - 0,1283) = 988,508g$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada en el secador se utiliza la expresión matemática Ec.III-15, citada por (Valiente, 1994).

$$WE = SS (W_1 - W_2) \quad \text{Ec.III-15}$$

Dónde:

WE = Cantidad de agua evaporada (g).

W_2 = Contenido de humedad en base seca del alimento (g agua/g sólido seco).

W_1 = Contenido de humedad seco del producto (g agua/g sólido seco).

Reordenando la Ec.III-15 en función del contenido de humedad del alimento del diagrama de balance en el secado tenemos:

$$WE = CAS (X_{CACTA} - X_{CAS}) \quad \text{Ec.III-16}$$

Dónde:

$$X_{CACTA} = 0,427 \text{ g agua / g sólido seco.}$$

$$X_{CAS} = 0,001 \text{ g agua / g sólido seco.}$$

Por lo tanto:

$$WE = 988,508 (0,427 - 0,001) \text{ g}$$

WE = 421 g de agua evaporada en el proceso de secado.

Despejando G de la Ec.III-13, se calcula la cantidad del caudal de aire utilizado, tomando en cuenta el tiempo de secado de los trozos de algarrobo en 6 hrs.

$$G = \frac{m_{SS}(X_{CACTA} - X_{CAS})}{(Y_{G2} - Y_{G1})} \quad \text{Ec.III-17}$$

$$G = \frac{988,508(0,427 - 0,001)}{(0,038 - 0,010)} = 15039,43 \text{ g aire seco}$$

$$G = \frac{15039,43 \text{ g aire seco}}{6 \text{ h}} = 2506,57 \text{ g aire seco/h}$$

Para calcular la cantidad del caudal de aire se tomó en cuenta la expresión matemática Ec.III-18 citada por Valiente, 1994. El volumen específico de aire a la salida de la estufa es: 0,00094 m³/g

$$G_2 = G \cdot V_e \quad \text{Ec.III-18}$$

$$G_2 = 2506,57 \text{ g/h} \left(0,00094 \text{ m}^3/\text{g} \right) = 2,356 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida de la estufa, se tomó en cuenta la expresión matemática Ec.III-19:

$$m_{\text{aire}} = \frac{WE}{(Y_2 - Y_1)t_s} \quad \text{Ec.III-19}$$

Dónde:

m_{aire} = Caudal másico del aire.

WE = Cantidad de agua evaporada en el proceso de secado.

Y_2 = Cantidad de humedad absoluta a la salida del secador.

Y_1 = Contenido de humedad absoluta a la entrada del secador.

t_s = Tiempo de secado del algarrobo.

Realizando los reemplazos de datos en la expresión matemática (Ec.III-19), tenemos:

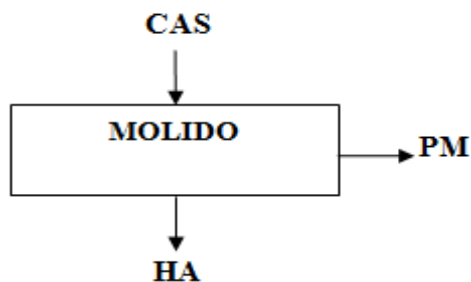
$$m_{aire} = \frac{421}{(0,038 - 0,010)6} = 2505,95 \text{ g/h}$$

Para calcular el caudal de aire a la entrada, se tomó en cuenta la expresión matemática Ec.III-20 citada por Valiente 1994. Así mismo, el caudal de aire correspondiente al aire de entrada de la estufa, en base a condiciones del aire de entrada es de $0,832 \text{ m}^3/\text{kg} = 0,000832 \text{ m}^3/\text{g}$.

$$G_1 = m_{aire} \cdot Ve \quad \text{Ec.III-20}$$

$$G_1 = 2505,95 \text{ g/h} * 0,000832 \text{ m}^3/\text{g} = 2,085 \text{ m}^3/\text{h}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MOLIDO.



Balance general de masa para el proceso de molido.

$$CAS = HA + CPM \quad \text{Ec.III-21}$$

Dónde:

$$\text{CAS} = 795\text{g}$$

$$\text{HA} = 790\text{g}$$

Despejando CPM de la Ec.III-21

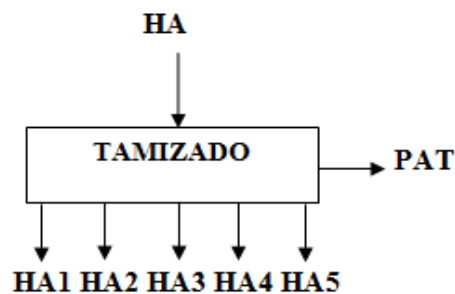
$$\text{CPM} = \text{CAS} - \text{HA}$$

Ec.III-22

$$\text{CPM} = 795 - 790$$

$$\text{CPM} = 5\text{g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE TAMIZADO.



Balance general de masa en el proceso de tamizado.

$$\text{HA} = \text{HA1} + \text{HA2} + \text{HA3} + \text{HA4} + \text{HA5} + \text{PAT}$$

Ec.III-23

Dónde:

$$\text{HA} = 300,025\text{g}$$

$$\text{HA1} = 5,509\text{g} \text{ (Harina de algarrobo con tamaño de partícula de 1 mm).}$$

$$\text{HA2} = 8,349\text{g} \text{ (Harina de algarrobo con tamaño de partícula de 0,50 mm).}$$

$$\text{HA3} = 80,256\text{g} \text{ (Harina de algarrobo con tamaño de partícula de 0,25 mm).}$$

$$\text{HA4} = 194,922\text{g} \text{ (Harina de algarrobo con tamaño de partícula de 0,063 mm).}$$

$$\text{HA5} = 8,021\text{g} \text{ (Harina en tamiz colector).}$$

Despejando PAT de la Ec.III-22:

$$\text{PAT} = \text{HA} - \text{HA1} + \text{HA2} + \text{HA3} + \text{HA4} + \text{HA5}$$

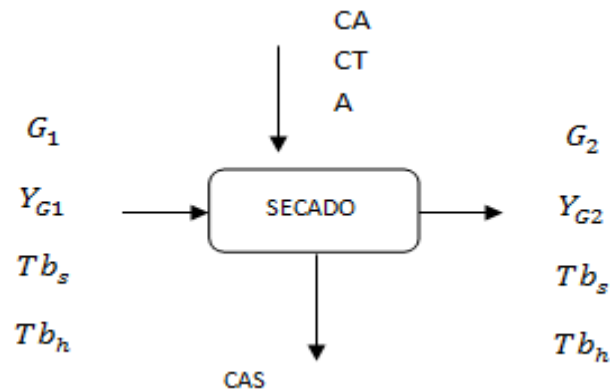
Ec.III-24

$$\text{PAT} = 300,025\text{g} - 5,509\text{g} + 8,349\text{g} + 80,256\text{g} + 194,922\text{g} + 8,021$$

$$PAT = 300,025g - 297,057g$$

$$PAT = 2,968g$$

BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE SECADO.



Para la determinación de la cantidad de calor que se requiere para el secado de trozos de algarrobo se utiliza la siguiente expresión matemática

$$Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T$$

Dónde:

Q_{vap} =Cantidad de calor por evaporización (Kcal/h).

Cp_{aire} = Calor específico del agua (Kcal/Kg°C).

ΔT =Variación de temperatura (°C).

m_{aire} = Caudal másico del aire (Kg/h).

La ecuación anterior también puede ser expresada como:

$$\Delta H = Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T$$

Esta ecuación es válida cuando no existe reacción química o cambio de estado entre lo componentes que intervienen en el proceso de transformación agroalimentario. Es decir, para sistema abierto.

La siguiente expresión matemática, citada por Valiente, (1994); se puede expresar como una función del cambio de entalpias iniciales y finales del aire en el secador:

$$Q_{vap} = m_{aire} * Cp_{aire} * \Delta T = m_{aire} * (H_{final}^{\circ} - H_{inicial}^{\circ})$$

$$Q_{vap} = 2,5059 \text{ Kg/h} * (18,3 - 4,85) \text{ Kcal/Kg} * 6\text{h}$$

$$Q_{vap} = 202,226 \text{ kcal}$$

La cantidad de calor requerida en la producción de harina de algarrobo será:

$$Q_{total} = Q_{vap}$$

$$Q_{total} = 202,226 \text{ Kcal}$$

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La determinación de las propiedades fisicoquímicas del algarrobo (*Prosopis alba giseb*), fueron realizadas en el CEANID, con el fin de conocer su composición fisicoquímica, los resultados se presentan en el capítulo III, tabla III-2. En la misma se muestra que los parámetros más importantes como la cantidad de azúcares alcanza un 37,22%, calcio 121mg/100g, hidratos de carbono del 66,53%, magnesio 57,7mg/100g, potasio del 1108mg/100g y con un valor energético de 309,87kca/100g, muestran que el algarrobo es un fruto muy nutritivo. Cabe resaltar que por sus características la harina puede ser consumida por niños, jóvenes, personas de tercera edad como también mujeres en lactancia, dado el porcentaje de calcio que tiene, sin dejar de mencionar que de igual manera puede ser consumido también por deportistas por el alto porcentaje de potasio que tiene como fruto.
- Mediante la aplicación del diseño factorial y el uso del programa estadístico (SPSS), se determinó que las variables tomadas en cuenta en el proceso de obtención de harina de algarrobo tipo de corte y temperatura, el tipo de corte son significativas para un nivel de confianza del 95%, es decir, que la variable posee una cola de significación menor al 5% (0,05). Se observa que la temperatura no es significativa porque es mayor al 5% (0,05).
- Para la determinación del tamaño de granulometría de la harina de interés en el presente trabajo de investigación, primero se realizó una valoración de harinas compuestas que existen en el mercado para estimar la granulometría con la que son puestas a la venta, las cuales en una media corresponden a las que atravesaron la malla N° 60(0,25 mm) y el rechazo a la malla N° 230 (0,063 mm), esto a objeto de participar con un producto similar. Es así que se definió la granulometría de la harina a producir, además que en los ensayos realizados, coincidentemente alcanzaron un

mayor rendimiento del producto obtenido entre esas mallas, en comparación con el tamaño de las otras mallas.

- Según los balances de materia y energía realizados en el proceso de la obtención de la harina de algarrobo, se determinó que a escala de laboratorio se obtiene un rendimiento promedio del 65,618% de harina, con una pérdida de 34,383% (constituido por artejo y semilla). La energía requerida para el proceso de secado para la elaboración de la harina de algarrobo es de 202,226 Kcal, en otros equipos del proceso de producción no se pudo determinar el consumo de energía por falta de instrumentos.
- En la tabla III-3, se observa en los resultados que el azúcar que presenta es de un 47,71%, calcio 103mg/100g, hidratos de carbono con el 81,05%, potasio con el 1328mg/100g, magnesio con el 56,0mg/100g y un valor energético de 360,39kcal/100g, se analiza que los resultados de la harina de algarrobo realizados en el CEANIT con los resultados de Formosa no son nada parecidos, ya que lo que lo influye en esto es el lugar donde la habita el algarrobo, en cuanto a la humedad, se observó que el porcentaje es mayor que el resultado que se tiene en bibliografía. Se observa que es un producto altamente nutritivo, como también de mucho provecho, ya que es considerado un producto de mucho valor y que es muy comestible.

Los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la harina de algarrobo variedad "*Prosopis alba griseb*", realizados por el CEANID, muestran que no existe formación en coliformes totales ni coliformes fecales, tampoco mohos ni levaduras por lo que podemos decir que la harina de algarrobo obtenido se encuentra en óptimas condiciones para el consumo humano.

4.2 RECOMENDACIONES

- Incentivar la producción comercial de algarrobo en nuestro departamento para de esta manera contribuir al desarrollo a la diversificación y económico de los productores.
- Se recomienda continuar con las investigaciones de harina de algarrobo por cuanto posee un alto valor nutritivo, aplicable sobre todo en productos

de panadería, mezclas proteicas y otros subproductos en los cuales intervengan como materia prima la harina de algarrobo.

- Se recomienda desarrollar nuevos productos elaborados de harina de algarrobo, tales el desayuno escolar, suplementos nutricionales para mujeres embarazadas y personas de la tercera edad, incentivando el consumo de estos productos por cuanto es un producto que tiene muchos beneficios nutricionales.
- Se recomienda habilitar en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Química de la U.A.J.M.S, mayor equipamiento para el procesamiento de estos alimentos y la realización de investigaciones aplicadas que tengan como objeto el análisis del proceso de secado, como también la habilitación de otros equipos a utilizar.
- El uso de harina de algarrobo, es un producto que contribuirá al aumento del valor nutricional y reducción del costo de la canasta familiar, mejorar la salud y calidad de vida de los pobladores a través alimentos nutritivos, naturales, de fácil conservación y uso durante todo el año.
- De acuerdo a los altos beneficios que contiene la harina de algarroba es de vital importancia desarrollar y ejecutar este proyecto que brindará esperanza y un nuevo estilo de vida.