

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DEL ZAPALLO
ENRIQUECIDA CON HARINA DE AMARANTO COMO
SUPLEMENTO ALIMENTICIO**

Por:

MARY LUZ COLQUE ACUÑA

Proyecto de grado: (Modalidad, de graduación, Investigación Aplicada)
presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de
Licenciatura en Ingeniería Química.

Noviembre de 2016
TARIJA - BOLIVIA

RESUMEN

En nuestro país existe gran cantidad de hortalizas que no han sido aún procesadas y cuentan además con valiosas propiedades nutricionales indispensable en la dieta del individuo, entre ellas se encuentra el zapallo, el cual es producido en varias provincias del departamento de Tarija.

El presente proyecto de investigación aplicada **“obtención de harina a partir del zapallo enriquecida con harina de amaranto como suplemento alimenticio”** se desarrolló en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en los predios del laboratorio del área fisicoquímica del Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), se utilizó para la presente investigación zapallo de la especie “Cucúrbita máxima” variedad criolla y para enriquecerla se trabajó con granos de amaranto de especie “caudatus” ambos adquiridos en el mercado campesino de la ciudad de Tarija.

Para obtener la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto se determinó la mezcla adecuada de estas harinas mediante un simple balance de materia en función a la proteína digerible respectivamente, estableciendo que la mezcla adecuada es de 30% de harina de amaranto y 70% de harina de zapallo para lograr mejorar la calidad de proteína de la harina de zapallo y así contribuir con el aminoácido (lisina) en la formulación de una harina compuesta.

Para obtener la harina de zapallo se seleccionó el diseño factorial del tipo 2^2 , por lo que el número de combinaciones o tratamientos fue de cuatro, las variables establecidas fueron temperatura de 60 y 70°C y espesor de 1,5 y 3mm.

Posteriormente se realizó los ensayos respectivos para obtener harina de zapallo, estos productos se sometieron a un evaluación sensorial en base hedónica, aplicada a un panel conformado por docentes y alumnos de la Carrera de Ingeniería Química; se determinó de dicho análisis que el producto “harina de zapallo “que mejores atributos presenta al combinarse con la harina de amaranto en las proporciones definidas, bajo las siguientes condiciones: temperatura de 60°C y espesor de rodaja de zapallo de 1,5mm.

En cuanto al resultado obtenido del diseño factorial aplicado en el proceso de secado se estableció que el factor que tiene la mayor incidencia es el espesor y la interacción temperatura-espesor con una elevada significancia, obteniendo el siguiente modelo matemático:

$$H= 0,447- 0,078*T + 0,211*E + 0,133 *(E*T)$$

Así mismo se determinó la cinética de secado para el ensayo seleccionado obteniendo las siguientes expresiones matemáticas, para el periodo antecrítico: $Y=1,9457+0,0605X$ y para el periodo poscrítico: $Y=0,148+0,9079X$; con el cálculo de la cinética se determinó que el tiempo de secado es de 3,110 horas con velocidad de secado promedio de 0,446 kg/ (m²*h), presentando una diferencia de 1,890 h comparada con el tiempo de secado obtenido en forma experimental, lo cual reduce la energía gastada durante el tiempo inútil.

El análisis fisicoquímico del producto “*harina a partir de zapallo enriquecida con harina de amaranto*” obtenido fue realizado en el laboratorio del área fisicoquímica del centro de análisis investigación y desarrollo (CEANID), presentando los siguientes resultados: valor energético: 308,54Kcal/100g, humedad: 12,35%, proteína: 15,97%, materia grasa: 5,38%, carbohidratos: 49,06%, fibra: 9,42%, cenizas: 7,82%.

Mientras que en el análisis microbiológico realizado se obtuvieron los siguientes valores: $1,3*10^2$ ucf/g de coliformes totales y $4,0*10^1$ ucf/g de mohos y levaduras. En cuanto a la estimación del valor nutricional de la harina compuesta se determinó que contiene 0,187g Lisina/100g y una proteína digerible de 8,8 g.

Finalmente el análisis sensorial realizado a un producto aplicado, “queque” elaborado a partir de la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto de la muestra seleccionada anteriormente a temperatura de 60°C y espesor 1.5mm, dio buenos resultados; resaltando con más énfasis la aceptabilidad de los atributos de sabor: 8,417 y color: 8,333, seguidamente de olor: 8 y textura: 7,917.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

El zapallo es una planta originaria de América que pertenece a la clase dicotiledónea y a la familia de cucurbitácea. Estudios arqueológicos revelan que junto con el maíz, el poroto y el zapallo, fue la base de la alimentación de los Incas, Aztecas y Mayas antes de la colonización española, pero también hace parte de la alimentación Básica en varias regiones de Asia y Europa.

Esta hortaliza presenta un gran potencial como alternativa agrícola, debido a la gran versatilidad en usos alimenticio, medicinal, agroindustrial y decorativo. A nivel nutricional el zapallo provee carbohidratos, β -caroteno (provitamina A), ácido ascórbico (vitamina C), minerales (calcio, hierro, fósforo) y aminoácidos como tiamina y niacina (Caicedo, 1993; Vallejo y Mosquera, 1998). Se consume en forma directa (sopas, cremas, dulces, purés, jugos, pastelería y compotas) y de forma indirecta como materia prima para la agroindustria (harinas y deshidratados) (Espitia, 2004).

El zapallo es sumamente nutritivo, de sabor dulzón y la presencia de una pulpa de color amarillo hasta anaranjado nos indica su alto contenido en beta carotenos, sustancia muy importante que ayuda a prevenir el cáncer; además el zapallo goza de excelentes propiedades terapéuticas en las enfermedades agudas del tracto digestivo, especialmente en la inflamación de los intestinos, en la fiebre tifoidea, aconsejándose su consumo durante los periodos del embarazo. En Bolivia, la producción de zapallo se encuentra en los valles, valles interandinos, también en las zonas tropicales y subtropicales, donde las cuatro principales especies de zapallo que se pueden encontrar son de origen americano tales como: zapallo criollo (cucúrbita máxima), lacayote (cucúrbita ficifolia), escariote (cucúrbita pepo L.), joko (cucúrbita móscate), cucúrbita moschata (zapallo anco, también llamado arquito, Butternut, coreanito).

La producción de zapallo en el departamento de Tarija se presenta en el Valle de Concepción, Pampa Grande, San Andrés, Santa Bárbara y otras comunidades aledañas, como Entre Ríos, Bermejo, Yacuíba y Villa Montes. El desarrollo de nuevos productos es un campo abierto en las industrias alimenticias. Sin embargo, el crear productos que satisfagan requerimientos nutricionales para la alimentación humana se consideró un reto. Es por ello que el tema de estudio es de importancia para contribuir al desarrollo de las regiones productoras de zapallo, aprovechando de manera eficiente al producto y permitiendo obtener un derivado (harina de zapallo) enriquecido con un pseudocereal que le brinde un alto contenido nutricional. El grano de amaranto es un pseudocereal que contiene un alto contenido proteico, mayor al 17%, de excelente calidad ya que posee un balance casi perfecto de aminoácidos para formar la proteína humana, siendo superior al que ofrece el contenido proteínico de la leche.

Tiene abundante lisina, que es un aminoácido escaso en otros cereales como maíz, arroz y trigo; por lo que al combinar un poco de amaranto con estos, la lisina excedente complementa la proteína de los otros cereales, permitiendo que se asimilen elementos que por falta de lisina se hubieran desechado, logrando así importante mejoría en su valor nutricional. Por otra parte, la digestibilidad de su grano es del 93%; y además el grano de amaranto no posee gluten, por lo que es un alimento apto para celíacos.

La harina de semilla de Amaranto ha sido utilizada para enriquecer pastas, panes, galletas y alimentos para bebés, Todos estos productos ponen en relieve la calidad nutricional de tales alimentos gracias a la presencia del Amaranto.

En Bolivia, el amaranto se cultiva casi exclusivamente en los valles interandinos profundos y calientes, alrededor de Tarija, Cochabamba, (principalmente en Sacaba y Angostura) y valles profundos de La Paz, (Mejes y Los Yungas).

En Bolivia, dada la creciente demanda de los productos orgánicos en el mercado internacional, se debe considerar el importante potencial que tiene el amaranto como

fuentes de ingresos y exportaciones a EE.UU, Países Bajos, Australia, Israel, Canadá, Japón, Brasil, Austria (IBCE 2009).

OBJETIVOS

Los objetivos que se persiguen en la presente investigación son:

OBJETIVO GENERAL

- Obtener harina de zapallo (Cucúrbita máxima) enriquecida con harina de amaranto como suplemento alimenticio.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización y determinación de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima zapallo fresco.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas y cuantificar el aminoácido (lisina) presente en la harina de amaranto.
- Analizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de zapallo y de la harina compuesta además del contenido de proteína y lisina.
- Determinar la proporción adecuada de mezcla de harina de zapallo con harina de amaranto aplicando un diseño factorial para lograr una harina compuesta enriquecida en aminoácidos y proteínas.
- Realizar el análisis sensorial para determinar las propiedades organolépticas que presenta la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto.

JUSTIFICACIÓN

- En la mayoría de los países en vías de desarrollo, como Bolivia, la abundancia natural de hortalizas (zapallo) deja frecuentemente excedentes con respecto a la demanda del mercado local (por ejemplo en Tarija), deteriorándose la hortaliza sin darle un valor agregado, porque no existe una gran demanda del producto a pesar de que este presenta un elevado contenido nutricional. Como no se lleva un seguimiento estadístico nacional ni departamental sobre las

pérdidas de producto, la información existente es el resultado de encuestas a los comercializadores locales y de la observación directa en el mercado local; es por eso que nace la idea de obtener un producto derivado del zapallo, [harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto] que presente altos niveles nutricionales para usos diferentes dirigido principalmente a la alimentación de niños, adultos celiacos y ancianos. La harina de amaranto [que es un grano producido en la región tarijeña] permitirá elevar el valor nutricional además de mejorar el sabor, color, olor de la harina compuesta e incentivar en la población su consumo.

- La harina compuesta podrá tener muchas aplicaciones como productos instantáneos, budines, coladas, helados, pastas, purés, sopas y otras, pudiendo usarse como suplemento alimenticio para niños, personas de la tercera edad y en especial para personas que no pueden consumir harinas con gluten. lo que le brindará un valor agregado al zapallo y permitir aprovechar el exceso de oferta del mismo.
- En el presente estudio se considera que existe una producción excedentaria de materia prima (zapallo).

En la tabla i se muestra los datos de producción de zapallo en el departamento de Tarija.

Tabla i Datos de producción y demanda de zapallo en el departamento de Tarija

Departamento	Producción (T.M)	% Demanda
Tarija	2505	1,11

FUENTE: Datos del INIAF-CNPSH, 2011

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS

1.1.1 ZAPALLO

1.1.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Se ha discutido mucho acerca del origen de las diferentes variedades de zapallo, aunque las más recientes investigaciones demuestran que todas las especies son americanas. Existen hallazgos arqueológicos de estas especies en el centro y norte del continente americano, sudoeste de los Estados Unidos, México y noroeste de Sudamérica. Junto con el maíz y los porotos era uno de los principales componentes de la dieta de la civilización Maya, hace 10.000 años atrás. El zapallo es una planta que está en la lista de especies cultivadas por las culturas aborígenes de la Argentina y enriquecieron la agricultura Europea.

El zapallo deriva de la voz quichua “zapallu”, que los aborígenes aplicaban a lo que en nuestro país llamamos “zapallo criollo”. Dentro de esta familia también están incluidas otras especies hortícolas como el pepino, el melón y la sandía.

Existe una gran variedad de zapallos en el mundo; entre ellos se pueden mencionar las siguientes: Loche, Macre, Chilete, Pepinillos, Calabaza común, Zapallo pepo y Zapallón y en verano se encuentran los Zapallos italianos, Zucchini.

1.1.1.2 PRODUCCIÓN DE ZAPALLO EN BOLIVIA

En Bolivia se cultivan unas cuatro especies principales para la comercialización como ser: zapallo criollo (Cucúrbita máxima), lacayote (Cucúrbita ficifolia), escariote (Cucúrbita pepo L.), y el joko (Cucúrbita moschata), esta última cultivada en la región del oriente boliviano.

En la Tabla I-1 se muestra los resultados obtenidos de la encuesta realizada en los departamentos productores de zapallo respecto a superficie, producción, rendimiento promedio y demanda del 1,11% respecto a la producción en Bolivia.

Tabla I- 1 Superficie, producción, rendimiento promedio y demanda en Bolivia

Departamento	Superficie (Ha)	Producción (T.M)	Rendimiento (Tn/Ha)	Demanda (T.M)
Chuquisaca	1083	8668	8	96
La Paz	226	1381	6,1	15
Cochabamba	397	3282	8,3	36
Potosí	7	45	6,4	0,5
Tarija	443	2505	5,7	28
Santa Cruz	75	483	6,4	5
Beni	14	cccxs98	7	1

FUENTE: Datos del INIAF-CNPSH, 2010

1.1.1.3 PRODUCCIÓN DE ZAPALLO EN TARIJA

La producción de zapallo en el departamento de Tarija se presenta en el Valle de Concepción, Pampa Grande, San Andrés, Santa Bárbara y otras comunidades aledañas, Entre Ríos, Bermejo, Yacuiba, Villa Montes, etc.

En el departamento de Tarija la producción de zapallo era de 2505 T.M en el año 2010 (Datos del INIAF-CNPSH), el mismo se comercializa en el mercado, pero el poco consumo de este producto hace que exista un excedente, porque la demanda nacional es muy baja la cual corresponde al 1,11% respecto a la producción; a pesar de contener valiosas propiedades nutricionales indispensables en la dieta de un individuo, esta hortaliza tiene demanda solo en fechas especiales como en semana santa para la preparación de platos tradicionales.

1.1.1.4 DESCRIPCIÓN Y PRÁCTICAS DE CULTIVO

El zapallo es una planta de clima templado-cálido. Precisa períodos libres de heladas de 4 a 5 meses. Las temperaturas de crecimiento óptimas oscilan entre los 18 y 24 °C (promedio mensual), con máximas de 32°C y mínimas de 10°C y el tiempo de cosecha estimado esta entre 120 a 150 días. Crece de preferencia en suelos sueltos y bien drenados. El zapallo es moderadamente tolerante a la acidez y bastante tolerante a la sequía, debido al gran desarrollo radicular que puede alcanzar.

Figura I- 1 Zapallos criollos (cucúrbita máxima)



Fuente: Libro “autoproducción de alimentos, seguridad alimentaria y desarrollo local”; pág. 6.

1.1.1.5 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Según Castaños (1993) a esta especie se la clasifica de la siguiente manera:

Tabla I-2 Clasificación taxonómica del zapallo criollo

Reino	Vegetal
Clase	Dicotiledónea
Orden	Cucurbitales
Familia	Cucurbitácea
Género	Cucúrbita
Especie	Cucúrbita máxima
Nombre común	Calabaza, Zapallo, Calabacera

Fuente: Comportamiento agronómico en el cultivo de zapallo (cucúrbita Máxima)

1.1.1.6 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA DE ZAPALLO

Vigliola (1986), describe la especie Cucúrbita máxima de la siguiente manera:

Raíz, el sistema radical llega a 1,8 m de profundidad donde las raíces adventicias penetran hasta 1,5 m de profundidad.

Tallo, trepador y provisto de zarcillos, existiendo los tipos rastreros y arbustivos: el tallo principal sale de tres a diez ramas laterales, las cuales crecen varios metros, llegando la principal hasta 15 m de longitud.

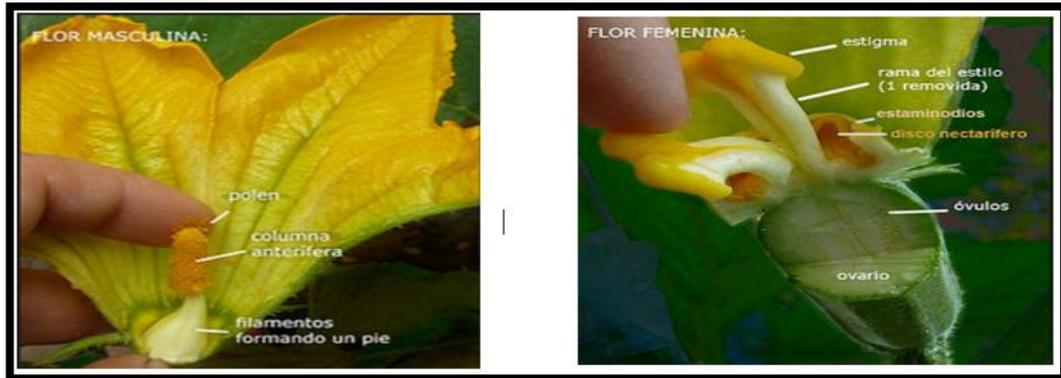
Hojas, redondeadas o con lóbulos poco desarrollados, con los bordes ligeramente dentados. La cara superior de la hoja presenta manchas descoloridas, de aspecto plateado.

Flores, amarillas, comúnmente solitarias, cáliz y corola de cinco piezas cada uno:

- Son solitarias, axilares y pentámeras con los pétalos carnosos.
- Estigmas lobulados en cantidad de tres.
- Las masculinas campanuladas de cáliz corto y expandiéndose hacia el ápice.
- Las femeninas de pedicelo ancho y robusto con ovario desde globoso hasta cónico.

Fruto, baya grande cuyas paredes externas endurecen y las más internas permanecen suaves y carnosas. La forma del pedúnculo en cucúrbita máxima es cónica o cilíndrica, sin surcos ni expansión basal, suave y casi esponjosa, con estrías finas longitudinales. La forma, tamaño y color del fruto son muy variables, el color de la corteza puede ser anaranjado, amarillo, rojo, verdoso, blanco, negro, morado o mezcla de varios colores. Su pulpa generalmente es de color anaranjado o amarillo, su sabor es ligeramente insípido aunque con un toque dulce y afrutado.

Figura I- 2 Flores femeninas y masculinas de cucúrbita máxima

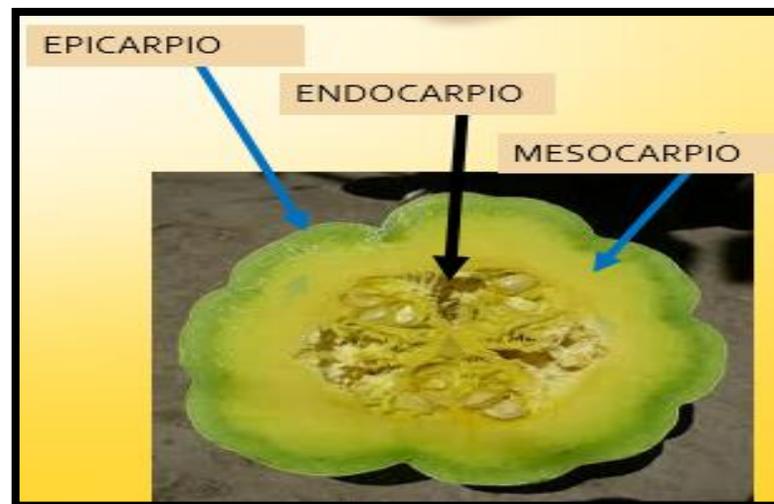


Fuente: Comportamiento agronómico en el cultivo de zapallo (cucúrbita Máxima), bajo el efecto de tres densidades de siembra; Universidad Mayor de San Andrés.

Presenta las siguientes partes:

- **Epicarpio:** Es la capa externa que rodea al fruto, corresponde a la cáscara.
- **Mesocarpio:** Es la parte comestible del fruto, es la capa intermedia donde se encuentra la pulpa(rico en betacarotenos, vitaminas)
- **Endocarpio:** Es la capa interna que envuelve a la semilla.

Figura I- 3 Partes del zapallo



Fuente: Elaboración Propia, 2016

Los zapallos presentan frutos simples porque se originan de una sola flor, son frutos carnosos que tienen membranas desarrolladas y jugosas donde almacenan sustancias nutritivas.

Semillas, tienen características muy variables de blanca hasta casi negra, con tonalidades intermedias y con variedad de formas elípticas.

1.1.1.7 APORTES Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ZAPALLO

El zapallo llamado también calabaza es una hortaliza rica en antioxidantes y beta caroteno. El beta caroteno es el precursor de la vitamina A, consumir beta caroteno ayuda a nuestro cuerpo a producir vitamina A. La pulpa de la calabaza es rica en:

- Vitamina E:
- B-caroteno
- Fibra vegetal
- Vitamina B1
- Vitamina B2
- Calcio

Los carotenos en el zapallo se encuentran presentes en los cromoplastos, con pigmentos que van desde amarillo a anaranjado. El beta caroteno, al igual que los cientos de antioxidantes que existen en los alimentos, neutraliza los temidos radicales libres, responsable del envejecimiento.

En la tabla I-3 se presenta la comparación de la composición nutricional del zapallo por etapas de maduración.

Tabla I- 3 Valor nutricional que presentan los tres tipos de maduración de zapallo

Contenido nutritivo en 100 gramos, porción aprovechable	Nombre del alimento		
	Zapallo		
	tierno	semiduro	maduro
Humedad (gr)	89,5	88,9	86,5
Calorías	36	37	46
Proteínas (gr)	0,7	0,8	0,8
Extracto Etéreo (g r)	0,1	0,1	0,1
Carbohidratos totales (gr)	9,3	9,5	12,0
Fibra (gr)	0,5	0,7	0,8
Cenizas (gr)	0,4	0,7	0,6
Calcio (mg)	13	16	15
Fósforo (mg)	22	17	29
Hierro (mg)	0,7	1,8	1,3
Caroteno (mg)	0,46	1,42	1,15
Tiamina (mg)	0,05	0,06	0,04
Riboflavina (mg)	0,02	0,03	0,03
Niacina (mg)	0,31	0,59	0,62
Ácido ascórbico (mg)	24	14	15
Ácido fólico (mcg)	23	22	22

Fuente: Tabla de composición de los alimentos ecuatorianos. Realizado por el ministerio de previsión social y sanidad –INSTITUTO NACIONAL DE NUTRICION.

1.1.1.8 BENEFICIOS Y USOS DEL ZAPALLO

Es un buen alimento para niños y ancianos y muy agradable por su dulce sabor.

A continuación en la Tabla I-4, se enuncia de manera comprensible algunos de sus beneficios para el individuo.

Tabla I- 4 Beneficios que ofrece el zapallo

Enfermedades	Beneficios
Hipertensos y cardiacos	<ul style="list-style-type: none"> - Contiene poca cantidad de sodio y mucho potasio. - No contiene grasas. - Contiene poca proteína.
Enfermos renales	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene acción diurética.
Anemias	<ul style="list-style-type: none"> - Minerales y vitaminas anti anémicas, hierro, ácido fólico, zinc y B6.
Estreñimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Riqueza en fibras. - Contenido de agua mejora la función intestinal. - Desciende el colesterol malo.

Fuente: Ministerio de agricultura y ganadería, MAG.

Se utiliza como principal insumo en la preparación de:

- Productos procesados: Puré instantáneo, mermelada, harina.
- Diversos platos, como locro, sopa, puré, entre otros.
- Postres: queques, mazamoras, helados, galletas.

1.1.2 AMARANTO

1.1.2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El amaranto se cultivaba en América desde hace 5 000 a 7 000 años, probablemente los primeros en utilizarlo como un cultivo altamente productivo fueron los mayas, de quienes otros pueblos de América, entre ellos los aztecas y los incas aprendieron su consumo. Cuando los españoles llegaron a América, el amaranto era uno de los granos más apreciados por los aztecas.

Se estima que ellos producían de 15 a 20 000 toneladas por año y, además formaba parte de los tributos que cobraban a los pueblos sometidos.

Fue cultivado y utilizado junto al maíz, frijol y calabaza por los aztecas en el valle de

México, por los mayas en Guatemala y por los Incas en Sudamérica tanto en Perú, Bolivia como Ecuador junto a la papa y maíz. Los amarantos como verdura de hoja fueron utilizados en América y en otras partes del mundo desde la prehistoria en casi todo el mundo.

El género *Amaranthus* contiene más de 70 especies, de las cuales la mayoría son nativas de América y solo 15 especies provienen de Europa, Asia, África y Australia (Robertson, 1987).

Solo tres especies de amaranto se utilizan actualmente para la producción de grano:

- *Amaranthus cruentus*: Crece en el sur de México, Guatemala y Estados Unidos. Es la especie más importante de Centro América, en donde es cultivada en montañas para usar como cereal y como hortaliza.
- *Amaranthus caudatus*: Crece en las regiones andinas de Bolivia, Perú y Argentina.
- *Amaranthus hypochondriacus*: Procedente de la parte central de México, hoy en día se encuentra en Nepal, América Central y la India.

Los granos de amaranto son un complemento nutricional óptimo y "balanceado" en comparación con los cereales convencionales. Por estas características, desde 1979 la Academia de Ciencias de los Estados Unidos de Norte América y la Organización para la Alimentación y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) consideran al amaranto, como uno de los cultivos en el mundo con un elevado potencial para su explotación económica y nutricional a gran escala (Konishi y Yoshimoto, 1989). También el amaranto fue seleccionado por la NASA para alimentar a los astronautas por su alto valor nutritivo, por su aprovechamiento integral, por la brevedad de su ciclo de cultivo y por su capacidad de crecer en condiciones adversas.

Figura I- 4 Planta de Amaranto cruentus

Fuente: Julio Michael Salvador Carpio; “Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto”, Salvador 2009.

1.1.2.2 AMARANTO EN BOLIVIA

En Bolivia, el amaranto se cultiva casi exclusivamente en los valles interandinos profundos y calientes, alrededor de Tarija, Cochabamba, (principalmente en Sacaba y la Angostura) y valles profundos de La Paz, (Mejes y Los Yungas).

De acuerdo con la región, el Amaranto ha sido y es conocido con diferentes nombres, tal como se ilustra en la tabla I-5.

Tabla I- 5 Nombres que recibe el amaranto según su procedencia

Tarija	Coime, yuyo, aroma
Cochabamba	Millmi, yuyo, ayrampo.
Chuquisaca	Cuimi
Yungas	Cuymi
Valles interandinos de Oruro	Illamcuma
Valles interandinos de Potosí	Cuimi

Fuente: Renate Ketz; Compendio del Amaranto “rescate y revitalización en Bolivia” Pág. 24.

Existe un gran interés por el amaranto: 729 toneladas anuales son requeridas para diferentes productos con valor agregado en el país. Una de las debilidades de este

cultivo en las zonas productoras del grano andino es que la cosecha y la trilla se realizan de forma manual, demorando el proceso.

Chuquisaca tiene una producción anual de 800 toneladas que abarcan el 70% de la producción nacional, lo que implica que es el mayor productor de Bolivia. Sin embargo La Paz, con menor producción, es el mayor exportador de este producto. Lo acompaña de otros departamentos, especialmente de Chuquisaca, cuyo producto se caracteriza por ser limpio y casi natural.

En cuanto a producción, después de Chuquisaca en el ranking aparecen La Paz, Cochabamba, Tarija y finalmente Santa Cruz. Con las mejores condiciones agroecológicas para la producción de la semilla andina, Chuquisaca cuenta con una superficie cultivable de 488 hectáreas, que significan el 75% del total nacional

Tabla I- 6 Departamentos productores de amaranto en Bolivia

Departamento	Producción (Tn)	% producción
Chuquisaca	800	70
La paz	102	9
Cochabamba	29	3
Tarija	17	1
Santa Cruz	0,6	0,05

Fuente: Cámara de Industria y Comercio Chuquisaca CAINCO-2015

La demanda local, nacional e internacional es de 1.828 toneladas de amaranto distribuidas entre producto convencional y orgánico, según un estudio realizado en 2015 por la Cámara de Industria y Comercio (CAINCO) Chuquisaca, sobre el mercado interno del amaranto (nacional y local) y su estrategia de comercialización. En ese estudio se identificó una demanda interna equivalente a 729 toneladas de producto convencional y 1.098 toneladas de orgánico (destinado en su totalidad para el mercado de exportación).

La composición de la demanda se distribuye porcentualmente en el mercado interno y nacional de la siguiente manera: grano (84%), tostado o pop (11%), harina (2%) y productos como barras energéticas, granola, fideos, api y otros (4%).

1.1.2.2.1 EXPORTACIÓN DE AMARANTO

En Bolivia, dada la creciente demanda de los productos orgánicos en el mercado internacional, se debe considerar el importante potencial que tiene el amaranto como fuente de ingresos y exportaciones.

El consumidor en la actualidad, busca salud en los alimentos que consume, esa es su mayor inquietud y es el motivo principal para el crecimiento del mercado orgánico, dentro de la gama de productos orgánicos se encuentran el amaranto, el cual posee muchas propiedades y bondades nutricionales.

Tabla I- 7 Principales mercados del Amaranto

Países	Valor (USD)	Volumen (kg)
Estados Unidos	98.563	60.587
Países Bajos	83.010	61.456
Israel	34.635	28.218
Australia	19.620	10.148
Canadá	19.254	12.548
Austria	10.400	8.055
Japón	3.870	3.015
Brasil	2.810	1.874

Fuente: Instituto boliviano de comercio exterior-IBCE (marzo 2009)

Según los datos del Instituto Nacional de Estadística en la gestión 2009, las exportaciones bolivianas de amaranto a Estados Unidos aumentaron a USD173.282 equivalentes a 80.363 kilogramos (IBCE, evaluación del impacto comercial del biocomercio en Bolivia, pág. 7).

1.1.2.2 PERSPECTIVAS DE MERCADO

El amaranto es una alternativa de cultivo muy interesante por diversos motivos: Hay una gran demanda en el mercado y sus precios lo hacen un cultivo rentable. Se adapta a diferentes tipos de suelos y climas y soporta muy bien la escasez de agua; también, ha sido considerado por la Organización Mundial de la Salud como uno de los alimentos recomendados para el futuro, y la NASA lo incluye como un alimento para un futuro lejano. En Bolivia, dada la creciente demanda de los productos orgánicos en el mercado internacional, se debe considerar el importante potencial que tiene el amaranto como fuente de ingresos y exportaciones.

1.1.2.3 AMARANTO EN TARIJA

Tarija produce 17 toneladas de amaranto (CAINCO-2015) gracias a sus condiciones climáticas, es una de las regiones privilegiadas del país.

Las regiones productoras de amaranto en Tarija son: Sella Méndez, Monte San Pedro, Cercado y Portillo, todas estas regiones mencionadas producen amaranto de especie *caudatus*, cuyo sinónimos son *Amaranthus mantegazzianus* y *Amaranthus edulis*.

Esta especie de Amaranto es utilizada en:

- La alimentación humana en forma de grano y verdura.
- En la alimentación animal son usados sus granos, hojas y tallo.
- El amaranto también es usado como planta medicinal y ornamental.

En la tabla I-8 se puede observar los resultados de composición del grano de amaranto blanco de diferentes procedencias.

Tabla I- 8 Composición del grano amaranto *Caudathus* de diferente procedencia.
(Blanco variado).

Procedencia	Materia Orgánica (%)	Proteína Bruta (%)	Grasa Bruta (%)	Elementos Libres de Nitrógeno (%)	Ceniza (%)	Fibra Bruta (%)
Sella Méndez	96.90	14.10	7.77	69.62	3.10	4.81
Monte San Pedro	96.85	15.43	7.83	68.64	3.15	4.95
Ciudad Tarija	96.81	14.84	7.89	69.15	3.19	4.93
Portillo	96.81	15.97	7.91	68.21	3.19	4.75
MEDIA	96.84	15.08	7.85	68.90	3.16	4.85

FUENTE: Elaboracion propia (Jesus Zamora, Tesis de Ingenieria Quimica-Tarija)

1.1.2.4 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

El amaranto es un pseudocereal de cultivo anual; la palabra amaranto significa inmarcesible, que no se marchita; y viene del griego Amarantón, de a (sin) y maranto (marchitar, palidecer).

Tabla I- 9 Taxonomía del amaranto

Nombres comunes	Amaranto, kiwicha, millmi.
Clase	Dicotiledónea
Familia	Amaranthaceae
Género	Amaranthus
Especies	Caudathus

Fuente: Estudio de Factibilidad del Cultivo del Amaranto, Autor: Julio 2005

1.1.2.5 ESTRUCTURA DEL GRANO

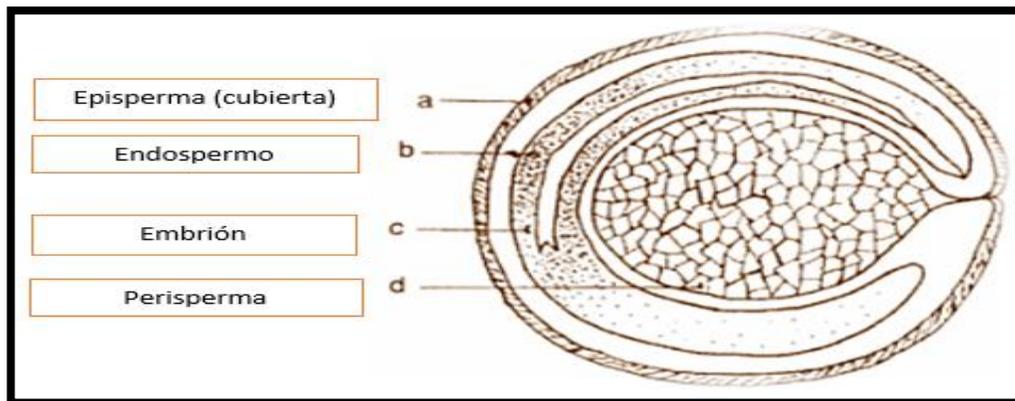
Los granos de amaranto son semillas pequeñas, de 1.0 mm a 1.35 mm de diámetro, de forma lenticular. El color varía desde el blanco hueso hasta beige, café, rojo, pardo o

negro, dependiendo de la especie y su morfología.

La estructura del grano de amaranto se divide en:

- Epicarpio o Pericarpio
- Endocarpio (Germen o embrión)
- Perispermo
- Endospermo

Figura I- 5 Corte longitudinal del grano de amaranto



Fuente: Julio Michael Salvador Carpio; “Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto”, Salvador 2009.

1.1.2.6 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO DEL GRANO DE AMARANTO

Las proteínas de amaranto son consideradas una excelente alternativa o complemento de los cereales y legumbres debido a su composición bien balanceada de aminoácidos esenciales. La concentración de aminoácidos presentes en las proteínas de amaranto puede considerarse próxima al patrón de la FAO/WHO-1973 (Becker, 1989; Marccone y Yada, 1991).

Una característica importante de las proteínas de amaranto es que han sido utilizadas en dietas para personas con la enfermedad celíaca. Esta dolencia es caracterizada por una sensibilidad a las fracciones de prolaminas de los cereales, particularmente hipersensibilidad a las gliadinas del trigo. El contenido de prolamina en las proteínas

de amaranto es menor al 0,01 % en algunas especies, y estas prolaminas son distintas a las de los cereales TACC (trigo, avena, cebada y centeno) lo que torna al amaranto con un gran potencial para la producción de alimentos para celíacos (Becker, 1989; Tosi et al, 2001).

Por otro lado, la calidad de las proteínas no depende solo de la composición de aminoácido sino también de la biodisponibilidad (digestibilidad). La digestibilidad proteica, la disponibilidad de lisina y la utilización proteica neta de las proteínas de amaranto son definitivamente superiores a las de los demás cereales y similares a las de la caseína (Salcedo-Chávez et al., 2002).

Las principales cualidades de esta planta, como fuente de grano, estriban en sus propiedades organolépticas y funcionales, destacándose el contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, cuyo balance es satisfactorio. La proteína del amaranto es rica en los aminoácidos esenciales lisina, triptófano y metionina, de tal manera que su calidad proteínica, ya procesada adecuadamente, es igual a la calidad proteínica de la caseína (Martínez, 1988).

Almidón

Es el componente más abundante, encontrándose en una concentración de un 62% del peso total del grano. La composición del almidón (menor contenido de amilasa), influye en sus propiedades fisicoquímicas.

Proteína.

Las principales fracciones proteicas en el grano de amaranto son las albúminas, globulinas y glutelinas, las cuales difieren en sus solubilidades.

El grano de amaranto tiene un alto contenido de proteína, que varía en un rango de 12.5 % a 17.6%. Posee una óptima composición de aminoácidos que sumada a la alta digestibilidad de su proteína, la convierten en apta para los requerimientos humanos.

El Amaranto tiene un alto nivel de lisina, el cual se encuentra limitado en muchos cereales, como el Maíz, Sorgo y Trigo. Por esta razón, el grano de amaranto es un excelente complemento para los preparados con cereales.

Estudios respecto al valor nutritivo indican que el puntaje aminoácido del amaranto es superior al de los cereales comúnmente empleados, reportándose valores que van de 73% - 80%. Ensayos biológicos con semilla de amaranto muestran una buena disponibilidad de la proteína, la digestibilidad de la semilla va de regular 53% - 65% a buena 68% - 93%. El valor biológico alrededor del 73% y una eficiencia proteínica que va del 1.42 – 1.83 a 2.4 – 3.4 hasta valores semejantes a la caseína (López, 1998).

Lípidos

La grasa contribuye al 17% aproximadamente de las calorías totales del grano. Cerca del 6% de los ácidos grasos son insaturados, de los cuales un 40% es ácido linoleico que es un ácido graso esencial en la nutrición humana. Contiene además ácidos oleico y palmítico en cantidades apreciables y trazas de esteroides y ésteres del esteroide y de 4.6% - 6.7% de escualeno, siendo este último de interés ya que es un intermediario de la biosíntesis esteroidea.

Minerales.

Los valores altos reportados, especialmente para el calcio, podrían deberse a que el ácido fítico posiblemente esté en forma de sal insoluble de calcio en la semilla. El contenido de vitaminas y minerales en especial el hierro y provitamina A, hacen del amaranto un cultivo de gran potencial alimentario y nutricional.

En la **tabla I-10** se muestra la composición nutricional que presentan los granos de amaranto.

Tabla I- 10 Composición nutricional del amaranto

Parámetro	Unidad	Porcentaje (p/p)
------------------	---------------	-------------------------

Parámetro	Unidad	Porcentaje (p/p)
Humedad	g	6.2 – 10.7
Proteína	g	13.0 – 17.8
Grasa	g	4.0 – 9.0
Fibra Cruda	g	3.2 – 9.2
Carbohidratos	g	60.0 – 71.0
Cenizas	g	1.09 – 4.9
Calcio	ppm	1250.0 – 4600
Fósforo	ppm	2900.0 – 7500
Hierro	ppm	31.0 – 215
Magnesio	ppm	2300. – 5400
Manganeso	ppm	15.9 – 48.1
Cinc	ppm	35.0 – 46
Cobre	ppm	6.0 – 13.2
Riboflavina	mg	0.03 – 0.32
Niacina	mg	1.19 – 4.30
Vitamina C	mg	1.7 – 7.24
Tiamina	mg	0.07 – 0.90

Fuente: (UES-CENTA, 1991).

Según estudios se resalta que el amaranto y la quinua poseen el mayor índice de ácido fólico, y aun después de la pérdida del mismo después del almacenamiento los índices seguían por encima de los otros cereales.

1.1.2.7 EFECTOS MEDICINALES Y USO DEL AMARANTO

Entre los efectos medicinales, se le atribuyen:

- Control de la diarrea.
- Prevención del cáncer de colon.
- Previene y ayuda en el control de la osteoporosis, diabetes, obesidad, hipertensión arterial, estreñimiento, insuficiencia renal crónica y

enfermedad celíaca.

- Problemas de desnutrición y oncológicos.
- Por su contenido energético también es beneficioso para pacientes con requerimientos calóricos elevados.

El amaranto se consume principalmente como:

- Cereal reventado, del cual se elaboran alegrías, un dulce típico mexicano, cereales, gránolas, tamales, atoles, pinole, mazapán.
- Deliciosos productos elaborados con su harina como: tortillas, galletas, panqués, horchata y bebidas chocolatadas. También produce aceites y colorantes que se utilizan en la cosmetología o industria química o farmacéutica.

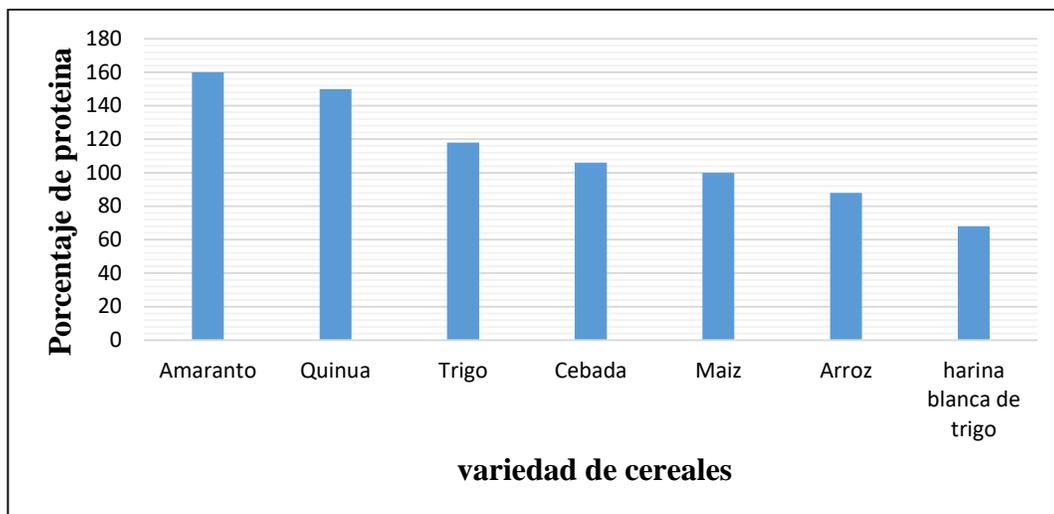
1.1.2.8 VALOR CUANTITATIVO DE LA PROTEÍNA DEL AMARANTO

El valor alimenticio del amaranto es relevante por su potencial de proteína y el uso de los alimentos proteicos depende de sus características fisicoquímicas, nutricionales y organolépticas.

Desde el punto de vista nutricional el grano del amaranto tiene ventaja proteica tanto en cantidad como en calidad.

La cantidad de la proteína varía según la variedad entre un 12% y 19%. Su promedio de contenido de proteína es de 16%, el cual es tan alto que no se encuentra entre las variedades de los cereales.

Figura I- 6 Valor comparativo del amaranto con otros cereales



Fuente: Renate Kietz; Compendio del Amaranto “rescate y revitalización en Bolivia”

1.1.2.8.1 LOS AMINOÁCIDOS LIMITANTES DEL GRANO DE AMARANTO

Entre los aminoácidos esenciales hay cuatro que limitan la calidad o el valor biológico de la proteína en los alimentos. Estos son lisina, metionina, treonina y triptófano. Por eso también se llaman “aminoácidos limitantes”, porque “para reajustar la dosis de proteína, en función de la composición de aminoácidos, se debe efectuar un cómputo según el aminoácido limitante, es decir si es de contenido más bajo”

En comparación a otros alimentos, el amaranto contiene las sustancias esenciales en una cantidad extraordinaria, lo que resulta interesante ya que estos aminoácidos esenciales limitantes cumplen funciones muy importantes en el organismo humano.

En la **tabla I-11** se muestra el contenido de aminoácidos presentes en las tres variedades de grano de amaranto.

Tabla I- 11 Contenido y cómputo de aminoácidos de la proteína de amaranto
(mg de aminoácidos / g de proteína)

AMINOACIDOS	PATRON	A. Caudathus	A. Hypochondriacus	A. cruentus
isoleucina	28	52	39	36
leucina	66	46	57	51
lisina	58	67	55	51
Metionina+ cistina	25	35	47	40
Fenilalanina+ tirosina	63	63	73	60
treonina	34	51	36	34
triptófano	11	11	--	--
valina	35	45	45	42
histidina	19	25	25	24
cómputo aminoacidito		70	86	77

Fuente: FAO/OMS/ONU, 1985

1.1.2.8.2 LISINA

La lisina es el aminoácido esencial limitante de los cereales, este aminoácido se encuentra normalmente en el pescado, la carne, la leche y los huevos. No se encuentra en la mayoría de los granos, cereales, tubérculos y otros alimentos de origen vegetal.

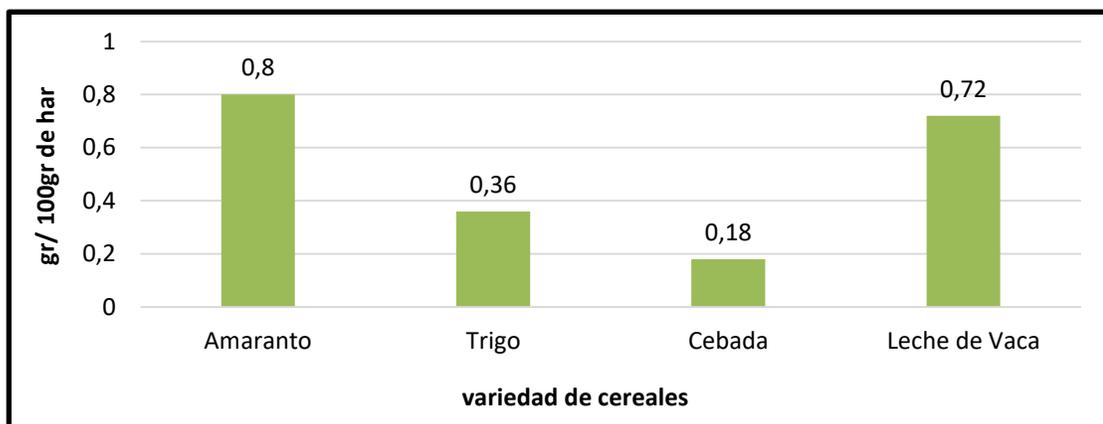
La L-lisina es un aminoácido esencial y por tanto hemos de obtenerlo a través de la alimentación. Entre las propiedades de la lisina se destacan:

- Colaborar en el crecimiento de niños y jóvenes ya que puede incrementar, junto al aminoácido arginina, la producción de la hormona de crecimiento, también colabora en el crecimiento ya que participa en el desarrollo muscular, absorción del calcio y en la producción de hormonas, enzimas y anticuerpos.
- La lisina debe ser tenida en cuenta en casos de osteoporosis ya que ayuda (junto a la vitamina C) a producir colágeno y con ello la absorción de calcio. El colágeno también es indispensable en la salud de los dientes, ligamentos, cartílagos, piel.
- Mejorar la formación de todas las proteínas del organismo.

- Ayudar en la formación de las proteínas musculares.
- Es esencial para la producción de hormonas, enzimas y anticuerpos.
- Mantiene en buen estado los tejidos conectivos: es esencial en la formación del colágeno.
- Prevenir el reuma y la osteoporosis.
- Prevenir el raquitismo.
- Mejorar fracturas, esguinces, luxaciones y desgarros musculares.
- Acelerar la curación de afecciones de la piel: heridas, quemaduras, acné.
- Ayudar a hacer más fluida la sangre.
- Prevenir el envejecimiento precoz, contribuyendo a la reparación celular.
- Digerir mejor los alimentos.

Sin embargo, el amaranto (*Amaranthus caudatus*) presenta mayor proporción de lisina que la leche de vaca. La lisina forma una gran parte de nuestra masa encefálica e influye decididamente en nuestro desarrollo mental.

Figura I- 7 Contenido de lisina en el amaranto en comparación a otros cereales



Fuente: Renate Kietz; Compendio del Amaranto “rescate y revitalización en Bolivia” Pág. 52.

La necesidad proteica del organismo, para conservar el equilibrio de nitrógeno, implica ingestión de algunos aminoácidos esenciales que el organismo no produce y que, la consecuencia, deben ser aportados por la dieta.

Especialmente la lisina es un aminoácido muy importante para los infantes y niños en edad escolar. Esto se puede ver como un factor preponderante para utilizar con preferencia el amaranto en estos grupos consumidores.

En la **tabla I-12** se nota claramente que las necesidades de aminoácido varían según la edad y el estado físico.

Tabla I- 12 Estimación de las necesidades de aminoácidos

Aminoácidos	Lactantes	Niños	Escolares	Adultos
-------------	-----------	-------	-----------	---------

	(3-4meses)	(2años)	(10-12años)	
	(mg / Kg por día)			
Fenilalanina	125,0	69,0	27,0 22,0	14,0
Histidina	28,0	-	- -	-
Isoleucina	70,0	31,0	30,0 28,0	10,0
Leucina	161,0	73,0	45,0 44,0	14,0
Lisina*	103,0	64,0	60,0 44,0	12,0
Metionina*	58,0	27,0	27,0 22,0	13,0
Treonina*	87,0	37,0	35,0 28,0	7,0
Triptófano*	17,0	12,5	4,0 3,3	3,5
Valina	93,0	38,0	33,0 25,0	10,0
Total de aminoácidos esenciales	742,0	351,5	261,0 216,3	83,5
*aminoácidos esenciales limitantes				

Fuente: Renate Kietz; Compendio del Amaranto “rescate y revitalización en Bolivia” Pág. 54.

1.1.2.9 POTENCIAL ALIMENTARIO DEL AMARANTO

Desde el punto de vista de su utilización, el amaranto presenta tres líneas importantes de investigación, las cuales son necesarias para impulsarlo en los sistemas de producción.

- La primera de estas líneas es el grano, el cual ha llamado la atención por su contenido relativamente alto de proteína y grasa; además su proteína es una fuente rica en lisina y otros aminoácidos esenciales. Todos estos factores sitúan al amaranto por arriba de los cereales al menos desde el punto de vista nutricional.
- La segunda línea de investigación es la del amaranto como verdura. Las hojas en efecto son una fuente rica en carotenos y en hierro, además, contienen

niveles proteínicos comparables a las de muchas otras verduras.

- La tercera línea es el uso del amaranto, ya sea de la planta completa, la planta sin inflorescencia, sin grano, o bien el residuo de la cosecha como alimento para la producción animal (forraje).

1.2 HARINAS

Se entiende por harina al polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. Se puede obtener harina de distintos cereales.

Aunque la más habitual es harina de trigo, elemento imprescindible para la elaboración del pan, también se hace harina de centeno, de cebada, de avena, de maíz o de arroz. La harina de trigo a la cual nosotros nos referiremos, posee constituyentes aptos para la formación de masas (proteína – glúten), pues la harina y agua mezclados en determinadas proporciones, producen una masa consistente.

El gluten se forma por hidratación e hinchamiento de proteínas de la harina: gliadina y glutenina. El hinchamiento del gluten posibilita la formación de la masa: unión, elasticidad y capacidad para ser trabajada, retención de gases y mantenimiento de la forma de las piezas.

1.2.1 CONTROL DE CALIDAD DE HARINAS

Antes de determinar la calidad de la harina, es necesario precisar el uso que se le va a dar. Es muy importante evaluar las características de la harina para predecir su comportamiento durante los procesos de transformación y especialmente, de panificación (tecnología de cereales, 1998).

- **Contenido de humedad**

El contenido de humedad de la harina es una característica muy importante en relación a un almacenamiento seguro. La harina no debe tener más del 12% de humedad.

- **Proteína: cantidad y calidad**

Tanto la calidad como la cantidad de la proteína son importantes cuando queremos determinar el uso apropiado para una harina. La cantidad de proteína cruda de una harina está relacionada con el nitrógeno total, mientras la evaluación de su calidad se relaciona, especialmente, con las características físico-químicas de los componentes del gluten.

- Cenizas

La prueba de cenizas se utiliza para medir el grado de extracción de la harina (Tabla I-22), porque el endospermo puro contiene muy pocas cenizas, mientras el salvado, capa aleurona y germen contienen mucho más.

Tabla I- 13 Clasificación de la harina según su contenido de ceniza

Harina	Contenido de cenizas %
Especial	0.64 máximo
Extra	0.65 - 1.0
Corriente	1.01 – 1.20
Semi – Integral	1.21 – 1.40
Integral	1.41 mínimo

Fuente: Julio Michael Salvador Carpio; “Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto”, Salvador 2009.

- Color de la harina

La prueba del color de la harina informa también sobre el grado de extracción, tal como la prueba de cenizas. Se mide el poder de reflexión de la luz de la harina.

1.2.2 MÉTODOS PARA CUANTIFICAR AMINOÁCIDOS

Antes de la aparición de la cromatografía de intercambio iónico (IEC), los distintos aminoácidos se medían por métodos colorimétricos o mediante ensayo microbiológico. Aunque con estos métodos se obtenían resultados aceptables, han quedado suplantados casi completamente por los procedimientos cromatográficos

(Moore y Stein, 1948).

En éstos se utilizan sistemas automatizados que permiten realizar análisis completos con rapidez y con niveles razonables de precisión.

En primer lugar, hay que liberar los aminoácidos de las proteínas por hidrólisis, que es la fase más crítica del análisis. La hidrólisis ácida, normalmente con Cl H 6M en una solución libre de oxígeno, libera completamente la mayor parte de los aminoácidos.

El triptófano se degrada totalmente en condiciones ácidas y la treonina, la serina y los aminoácidos azufrados se degradan en parte. En cambio, los aminoácidos de cadena ramificada se liberan lentamente en la hidrólisis y son necesarias hidrólisis sucesivas para estimar la liberación completa (Neitz, A., comunicación personal). Williams (1982) examinó el perfeccionamiento de las técnicas de IEC y analizó el uso de la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) como alternativa.

Las condiciones de la hidrólisis ácida exigen un ácido puro y una razón elevada de Ácido: porciones analíticas del alimento. A pesar de todo, los productos alimenticios con un contenido elevado de carbohidratos reaccionan con frecuencia con los aminoácidos durante la hidrólisis, provocando pérdidas que son difíciles de cuantificar (Silvestre, 1997).

Se ha propuesto la hidrólisis en fase de vapor como sistema que reduce al mínimo las pérdidas por degradación. En este método se hidroliza la muestra de alimento (o proteína) seca mediante condensación de ácido. El Cl H 6M corresponde a la mezcla en ebullición constante para el ácido (De Geeter y Huyghebaert, 1992).

La hidrólisis se debe realizar en tres períodos de tiempo diferentes, de 24, 38 y 48 horas, para permitir la corrección por la lentitud de la liberación y las pérdidas por degradación.

A partir de 1990, los métodos de HPLC de los aminoácidos derivados han sustituido la IEC para el análisis de los hidrolizados de proteínas en la mayor parte de los laboratorios, ya que es menor el tiempo de análisis y los límites de detección mejoran alrededor de 1 picomol (pmol) (Cohen y Strydom, 1988; Davey y Ersser, 1990;

Sarwar y Botting, 1993).

Tabla I- 14 Métodos de cuantificación de aminoácidos y sus limitaciones

PROCEDIMIENTO	APLICABILIDAD	LIMITACIONES	COSTOS
Cromatografía de intercambio iónico tras hidrólisis ácida.	Todos los alimentos	Pérdidas hidrolíticas de los aminoácidos más lábiles y liberación lenta de los aminoácidos de cadena ramificada.	Altos
Cromatografía líquida de alto rendimiento tras hidrólisis ácida.	Todos los alimentos.		Altos
cromatografía de gases tras hidrólisis ácida y derivación	La mayoría de los alimentos.	Es decisiva la elección de derivados.	Medios a altos
(aminoácidos azufrados) Hidrólisis ácida tras la oxidación de los aminoácidos azufrados	La mayoría de los alimentos.	pérdidas hidrolíticas	Altos
(triptófano) hidrólisis alcalina y cromatografía de intercambio iónico	La mayoría de los alimentos.	Pérdidas hidrolíticas de otros aminoácidos	Altos
(triptófano y aminoácidos S) Colorimetría	La mayoría de los alimentos.		Bajos
(lisina disponible) Colorimetría	La mayoría de los alimentos.		Bajos

Fuente: AOAC International, 2002; De Geeter y Huyghebaert 1992

1.2.3 TIPOS DE HARINAS

De acuerdo al uso a que se destinen, las harinas se clasifican básicamente según el porcentaje de proteínas que posean. En esta clasificación tiene especial importancia una sustancia llamada “gluten”.

Harina integral: En la elaboración de la misma no se realiza ninguna separación de las partes del grano de trigo y por lo tanto llevarán incorporadas la totalidad del salvado del mismo.

Harinas acondicionadas: Son aquellas cuyas características organolépticas, plásticas, fermentativas, se modifican y complementan para mejorarlas mediante tratamientos físicos o adición de productos debidamente autorizados.

Harinas enriquecidas: Son aquellas a las cuales se le ha añadido alguna sustancia que eleve su valor nutritivo con el fin de transferir esta cualidad a los productos con ellas elaborados. Entre estas sustancias nos encontramos con proteínas, aminoácidos, sustancias minerales y ácidos grasos esenciales.

Harinas Extra Fuertes: Son aquellas que tienen un alto porcentaje de proteínas (sobre 13%). Se obtiene de trigos duros y se destinan principalmente a la elaboración de pastas y fideos.

Harinas Fuertes: Tienen porcentajes de proteínas entre un 10 a 13%. Se destinan a panificación.

Harinas Débiles: Tienen porcentajes de proteínas entre un 7 a 8%. Se usan en la elaboración de productos de biscochería y galletas. No son aptas para panificación.

Harinas Especiales:

- **Harinas Morenas:** Tienen porcentajes de extracción superior al 85% por lo cual tienen un color más oscuro por la presencia de partículas de salvado de trigo.
- **Harina Integral:** Es aquella que contiene todas las partes del grano, incluido el germen, por lo cual es un alimento muy nutritivo.
- **Harina de Centeno:** Se obtiene del trigo-centeno y se emplea en la elaboración de algunas variedades de panes especiales y regionales.

Otra clasificación de las harinas es:

- Cero (0), dos ceros (00), tres ceros (000) y cuatro ceros (0000).

La harina 000 se utiliza 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 solo se utiliza en panes de molde y en pastelería, en batido de tortas, hojaldres.

1.2.3.1 HARINA DE AMARANTO

La harina de semilla de Amaranto ha sido utilizada en varias proporciones para desarrollar productos de panadería; en mezclas para panqueques, como ingrediente de tortillas preparadas con Maíz o Trigo; en diversos productos tipo pastas; como alimentos propios del destete; en granola; en alimentos de buena calidad nutritiva y como cereales para el desayuno. Todos estos productos ponen en relieve la calidad nutricional de tales alimentos gracias a la presencia del Amaranto.

Debido al alto contenido de lisina, el amaranto es un buen suplemento a los cereales, los cuales son deficientes en este aminoácido esencial. En general niveles de 25% a 30% de harina de grano de amaranto a 70% - 75% de harina de cereal mejoran la calidad del Trigo, Arroz, Maíz y Maicillo. Además, bajo condiciones normales, el amaranto y su harina tiene una vida de anaquel mayor a una semana que la de otros cereales y leguminosas.

La harina de amaranto no sirve para fabricar pan ya que no posee gluten, si la emplea para este fin, se sugiere mezclar en porciones de 50% con harina de trigo u otras similares.

Características de la harina de amaranto:

- La harina de amaranto es una harina dura.
- Contienen más fibra, más vitaminas de complejo B y otras.
- Duran mucho más que la harina de trigo.

- Es una harina recomendable para personas que no toleran gluten.
- Al mezclarse con otras harinas, enriquece los productos (los hace más nutritivos) y , versátiles

Figura I- 8 Molienda de granos de amaranto crudo



Fuente: Julio Michael Salvador Carpio; “Estudio de factibilidad técnica para la producción de harina de amaranto”, Salvador 2009.

1.2.3.2 HARINA DE ZAPALLO

El rendimiento de esta hortaliza como harina es de 7.96 %, por lo que obligatoriamente se debe acudir a la elaboración de sub-productos.

El desarrollo de la línea de producción para esta harina, abrirá campo no solo al zapallo, sino a otras hortalizas de gran contenido nutricional que aún no han sido procesadas en nuestro medio.

Así mismo este subproducto puede ser utilizado para la elaboración de harinas compuestas y ser introducidas en desayunos escolares para coadyuvar fuente de beta carotenos, fibra dietética y fuente de potasio.

Figura I- 9 Harina de zapallo



Fuente: Escuela superior politécnica del litoral “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos”, Guayaquil-Ecuador 2007.

1.2.4 SUPLEMENTO Y COMPLEMENTO DE OTRAS HARINAS

La fortificación de mezclas vegetales ha sido definida como: el mejoramiento nutritivo de alimentos en proteína, vitaminas y minerales.

El término fortificación se utiliza, cada vez más, para referirse en forma exclusiva al mejoramiento del contenido proteico.

Tomando en cuenta que las proteínas de cereales y de leguminosas son cuantitativamente diferentes en aminoácidos, es conveniente la fortificación de las mezclas para complementar y mejorar el valor biológico de la misma.

El hombre necesita estos aminoácidos esenciales en una relación específica. Si falta solo un aminoácido esencial, automáticamente están reduciéndose los otros siete aminoácidos esenciales en la misma proporción.

Se encontró que la suplementación de harina de amaranto es favorable hasta en un 30% e incrementa significativamente la calidad proteica ya que los componentes que le faltan abundan en el otro. (*Renate Kietz; Compendio del Amaranto “rescate y revitalización en Bolivia” Pág. 141*).

Además, se encontró que el sabor de los productos elaborados en una proporción 80/20 de trigo y amaranto respectivamente, era agradable a las personas y que la calidad de los productos (hablando de color y textura) no cambia drásticamente ni de una manera desfavorable.

1.2.4.1 MEZCLAS VEGETALES DEL AMARANTO

Existen algunos estudios sobre la fortificación alimentaria con mezclas vegetales basadas en el grano de amaranto con otras fuentes de nutrientes. El contenido de los aminoácidos esenciales del amaranto, especialmente de lisina, en comparación con otros cereales, es alto. Por eso el amaranto tiene la posibilidad de complementar los aminoácidos limitantes con otros cereales y legumbres, especialmente aquellos a los que les falta lisina, como es el caso del maíz y del trigo.

El aminoácido limitante en el grano del amaranto es la leucina; combinando el amaranto con otros cereales se puede conseguir una composición óptimamente balanceada de aminoácidos, porque los aminoácidos que son deficientes en el uno son abundantes en el otro.

Especialmente la mezcla del amaranto con maíz da resultados excelentes: cuando la harina de amaranto se mezcla con la de maíz, la combinación casi llega al equilibrio perfecto de proteína.

1.2.5 GLUTEN

Se conoce como celiaquía a la enfermedad autoinmune que se presenta en individuos predispuestos genéticamente y que se caracteriza por una intolerancia al gluten cuya intensidad puede variar (Tonutti & Bizzarro, 2014).

“El gluten, es el conjunto de las fracciones gliadina y glutenina de las proteínas presentes en la semilla de algunos cereales, como el trigo, la cebada o el centeno; y en la mayoría de sus derivados como almidones, harinas”.

En concreto, es la gliadina la responsable de los síntomas que padecen los celíacos, unos síntomas que abarcan desde diarreas en los casos más frecuentes hasta osteoporosis en los casos más severos.

Esto se traduce en carencias nutricionales como anemia, déficit de vitaminas, hipocalcemia, aunque el enfermo siga una alimentación equilibrada.

Actualmente, el único tratamiento efectivo contra la enfermedad consiste en el Control de la dieta por parte del enfermo, lo que permite la regeneración de los daños intestinales y la correcta absorción de los nutrientes ingeridos al mantener una dieta libre de gluten a lo largo del tiempo. Sin embargo, esto no resulta sencillo debido a la amplia presencia del gluten en diversos alimentos, ya sea de forma natural o como resultado de contaminación cruzada en la industria o durante su cocinado.

1.3 PROCESO TECNOLÓGICO DE PRODUCCIÓN DE HARINA

En el diagrama I-1 se describen las operaciones básicas que intervienen en la obtención de harinas.

Diagrama I- 1 Proceso tecnológico de obtención de harina



Fuente: Hernández, Elizabeth (Actualizado 2009). Módulo Tecnología de Cereales y Oleaginosas. Sogamoso, Colombia. UNAD

1.3.1 RECEPCIÓN E INSPECCIÓN DE MATERIA PRIMA

Es necesario contar con una recepción de materias primas, es decir, un recinto donde se pueda mantener la materia prima que se recibe en condiciones adecuadas mientras espera su entrada a proceso. Este lugar, que puede ser un simple alero, o una sala más acondicionada, debe tener algunas características especiales en cuanto a temperatura, humedad, limpieza, condiciones de sol. Es importante considerar que la mayor parte de las materias primas son de rápida perescibilidad en cuanto a su calidad.

En este recinto se debe contar con un equipo básico para la recepción del material. La balanza y algunos instrumentos para el control primario de la calidad deben tener un lugar donde se puedan guardar con seguridad y sin deteriorarse. Un lugar adecuado debe tener una temperatura media no superior a los 30° C y una humedad no superior al 70%. Los instrumentos deben guardarse siempre en sus respectivas cajas, limpios y secos.

Un aspecto que es necesario enfatizar es que el lugar de almacenamiento de materias primas no debe ser utilizado para el almacenamiento de otros productos que pueden ser contaminantes, como pesticidas, pinturas, o utensilios de aseo, los cuales deben tener lugares especiales para su propio almacenamiento.

1.3.2 LIMPIEZA

La limpieza y desinfección son operaciones dirigidas a combatir la proliferación y actividad de los microorganismos que pueden contaminar los alimentos y ser causa de su deterioro. La limpieza de materias primas consiste en la separación de materiales extraños (semillas, tierra, piedras, paja, etc.).

La limpieza es selectiva, es decir, el énfasis que debe darse a las distintas materias primas, algunos de ellos pueden ser: efectuándose mediante vaciado directo en agua, o bien mediante inmersión, flotación o separación de impurezas por aspiración, separadores centrífugos y magnéticos, cepilladoras o despuntadoras.

1.3.3 ACONDICIONAMIENTO

Estas operaciones consisten en la selección, pelado, trozado, escaldado y otros, son procesos que intervienen previo al secado.

Selección: Una vez que la materia prima está limpia, se procede a la selección, es decir, a separar el material que realmente se utilizará en el proceso del que presenta algún defecto que lo transforma en material de segunda por lo que será destinado a un uso diferente o simplemente eliminado.

Esta selección se realiza en una mesa adecuada a tal propósito o en una cinta transportadora en el caso de contar con una instalación de pequeña escala semimecanizada. Se trata, entonces, de separar toda fruta u hortaliza que no presente uniformidad con el lote, en cuanto a madurez, color, forma, tamaño, o presencia de daño mecánico o microbiológico.

Pelado o mondado: Es otra operación que se realiza regularmente. Consiste en la remoción de la piel de la fruta u hortaliza. Esta operación puede realizarse por medios físicos como el uso de cuchillos o aparatos similares, también con el uso del calor; o mediante métodos químicos que consisten básicamente en producir la descomposición de la pared celular de las células externas, de la cutícula, de modo de remover la piel por pérdida de integridad de los tejidos.

Trozado: Esta es una operación que permite alcanzar diversos objetivos, como la uniformidad en la penetración del calor en los procesos térmicos, la uniformidad en el secado y la mejor presentación en el envasado al lograr una mayor uniformidad en formas y pesos por envase. En el caso específico del secado, el trozado favorece la relación superficie/volumen, lo que aumenta la eficacia del proceso.

El trozado debe realizarse con herramientas o equipos trozadores que produzcan cortes limpios, nítidos y que entreguen la mayor cantidad posible de material aprovechable.

Escaldado: Es otra operación de amplio uso en el procesamiento de frutas y hortalizas. Corresponde a un tratamiento térmico usado con el propósito de acondicionar el material en diversos sentidos: ablandarlo para obtener un mejor llenado de los envases, inactivar enzimas deteriorantes causantes de malos olores, malos sabores y fallas del color natural del producto.

Esta es una operación que debe ser cuidadosa, es decir, debe ser muy controlada en cuanto a la magnitud del tratamiento térmico en nivel de temperatura y período de aplicación.

1.3.4 SECADO

Las técnicas de deshidratación probablemente son los métodos más antiguos e importante practicados por los humanos para la preservación de los alimentos. El primer secador del que se tiene conocimientos apareció en el siglo XVIII y era utilizado para secar frutas y vegetales (Van Arsdel-1963).

El secado de sólidos se refiere generalmente a la separación de un líquido de un sólido por evaporación y tiene, como consecuencia la reducción en peso y volumen, minimizando los costos de empaque, almacenamiento y transporte, permitiendo la estabilidad en el producto. Esta operación tiene la ventaja de ser utilizada como una técnica de preservación, ya que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua, además muchas enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua.

En la industria alimentaria el secado es una operación unitaria la cual puede llevarse a cabo mediante secadores directos e indirectos, continuos o discontinuos, esto dependerá de las cantidades de producto que se quiera deshidratar. Uno de los equipos más empleados para la deshidratación de frutas y hortalizas a nivel planta piloto con calentamiento directo y modo de funcionamiento discontinuo, es el secador de charolas estático también llamado secador de anaqueles, de gabinete o de

compartimiento, el aire utilizado es arrojado por un ventilador y calentado mediante resistencia eléctricas, vapor de agua o mediante un gas inerte. Generalmente los secadores de charolas tienen la desventaja de no secar el producto uniforme, y para lograr esto se requiere de velocidades de aire elevadas, o bien, las charolas se necesitan sacar y voltear durante el proceso para lograr un secado uniforme.

1.3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES

En la industria alimentaria el secado puede realizarse en diversos equipos y la selección de uno de ellos dependerá del tipo y naturaleza del alimento, así como la capacidad de producción que se desee deshidratar, entre otros aspectos. Dentro de los secadores industriales podemos encontrar la siguiente clasificación.

1.3.4.1.1 SECADORES DIRECTOS O ADIABÁTICOS

Se caracteriza por utilizar gases calientes que entran en contacto directo con el sólido húmedo al que transmiten calor por convección fundamentalmente y que arrastra fuera del secado los vapores producido:

- Aire calentado por vapor de agua
- Productos de la combustión
- Gases inertes
- Vapor recalentado
- Aire calentado por radiación solar

Estos secadores pueden ser continuos con un costo de funcionamiento bajo o intermitentes para bajas capacidades de producción.

Son en general aparatos sencillos y fácil manejo, Los secadores por convección son los más utilizados en las industrias agrícolas y alimenticias, consta de las siguientes partes:

- Recinto
- Sistema de calefacción
- Sistema de impulsión de aire

Dentro de esta clasificación algunos de los secadores que trabajan bajo este principio son los siguientes:

- **SECADOR DE CABINA O BANDEJAS**

También llamado secador de anaqueles, de gabinete o de compartimientos. El funcionamiento de los secadores de bandejas depende del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo el material que se está secando. Conviene tener una circulación de aire con velocidad de 1 a 10 m/ s para mejor el coeficiente de transmisión de calor en la superficie y con el propósito de eliminar bolsas de aire estancado. La corriente de aire adecuada para este tipo de secadores depende de que el ventilador tenga una capacidad suficiente, del diseño de la red de ductos para modificar cambios repentinos de dirección y de desviadores correctamente ubicados. La corriente de aire no uniforme es uno de los problemas más graves que se presentan en el funcionamiento de los secadores de bandeja. es el secador más utilizado a nivel planta piloto, figura 1-10, con calentamiento directo y modo de funcionamiento discontinuo, el material puede ser un sólido en forma de terrones o pasta, este se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal de 10 a 100 mm de profundidad, el aire utilizado es arrojado por un ventilador y calentado mediante resistencias eléctricas, vapor de agua o mediante gas inerte. Después del secado, se abre el gabinete y las bandejas se reemplazan con otras conteniendo más material para secar. Generalmente los secadores de bandeja operan por cargas, además tienen la desventaja de no secar el producto uniformemente, dependiendo de su posición en el secador. Por ello, se necesita girar las bandejas durante el proceso para lograr un secado uniforme.

Figura I- 10 Secador de bandejas



Fuente: Aleyda Pérez Herrera; construcción de un secador de charolas giratorio, abril 2006.

- **SECADORES DE TÚNEL**

Son túneles los cuales también consisten en tener charolas donde es colocado el sólido, pero el aire entra de manera paralela al producto y se cambia a contracorriente para un secado uniforme.

- **HORNOS SECADORES**

Construcciones de 2 pisos en la cual la parte superior se compone por tablas sobre las que son puestos el sólido. En el primer piso se produce el gas caliente conducido con ayuda de un ventilador hasta la parte superior (Desrosier, 1981).

- **SECADOR DE TORRE O BANDEJA GIRATORIA**

Serie de bandejas en forma de anillo puestas unas sobre otras en un eje giratorio. Los sólidos se alimentan en una bandeja por la parte superior de la columna se exponen a una corriente de aire o gas caliente que circula sobre la superficie de material sólido. (Fito et al., 2001).

- **SECADORES DE CASCADA**

El producto se desplaza por gravedad. Descendiendo de lo alto de una torre, mientras que el aire circula transversalmente al desplazamiento del lecho del producto. (Fito et al., 2001).

- **SECADORES ROTATÓRIOS**

Carcasa cilíndrica que gira sobre soportes ligeramente inclinados. El material húmedo se introduce por un extremo del cilindro y avanza por el por gravedad y en rotación y sale seco por el otro extremo. Cuando los gases calientes circulan en sentido de avance del material, le ayudan a desplazarse a lo largo del secador. (Fito et al., 2001).

- **SECADOR POR ARRASTRE NEUMÁTICO**

La eliminación de la humedad se realiza dispersando el material a secar en una corriente de gases caliente que lo transportan a velocidades elevadas. (Fito et., al 2001).

1.3.4.1.2 SECADORES INDIRECTOS O NO ADIABÁTICOS

El calor es transferido al sólido por un medio externo, un ejemplo de ello es el vapor de agua condensada y a través de una placa metálica con la cual hará contacto el sólido. (McCabe, 2002). También llamados secadores por conducción o de contacto. De igual forma que el secador directo, puede operar de forma continua o discontinua.

- **SECADORES DE BANDEJAS A VACÍO**

Se encuentran formados por una cámara cerrada herméticamente, con placas calefactoras y bandejas donde se coloca el material a secar y está conectada a una bomba de vacío.

- **SECADORES POR SUBLIMACIÓN**

Tiene lugar por la sublimación de vapor de agua a partir de hielo a alto vacío y temperaturas por debajo de 0°C.

- SECADORES DE TAMBOR

Este consiste en uno o más rodillos metálicos calentados, el sólido seco es retirado de los rodillos (McCabe, 2002).

- SECADORES DIELÉCTRICOS

Calentados principalmente por energía dieléctrica, radiante o de microondas (McCabe, 2002).

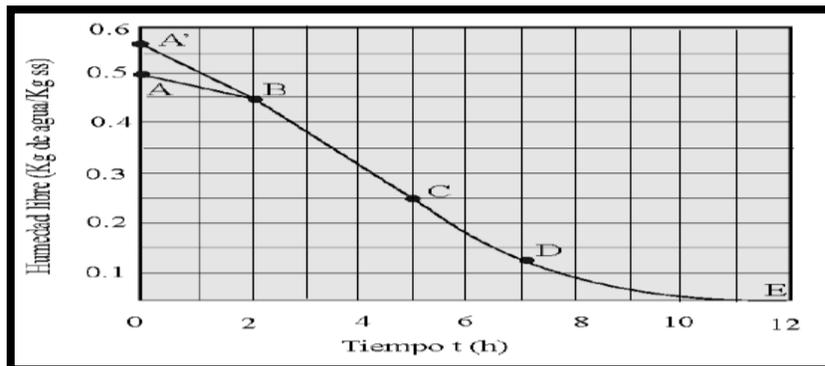
1.3.4.1.3 SECADORES INFRARROJOS

Consiste en un calentamiento por medio de un radiador, puede darse por medio de una fuente eléctrica o calentamiento de combustible.

1.3.4.2 CURVAS DE SECADO

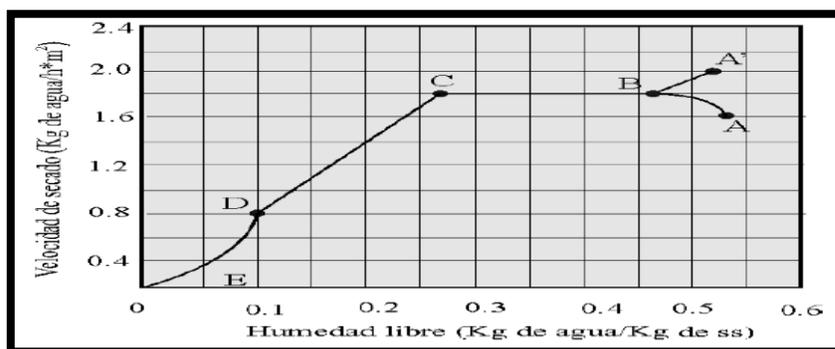
Cuando un sólido se seca experimentalmente, casi siempre se obtienen datos que asocian el contenido de humedad con el tiempo. La grafica I-11, esta curva representa el caso general en el que los sólidos mojados pierden humedad, primero por evaporación desde una superficie saturada del sólido, después sigue un periodo de evaporación de la superficie saturada que tiene un área que gradualmente va disminuyendo, y por ultimo cuando el agua del interior del solido se evapora. Esta curva indica que la velocidad de secado está sujeta a variar en función del tiempo o el contenido de humedad. Esta variación se ilustra con mayor claridad diferenciando grafica o numéricamente la curva y haciendo una representación gráfica de la velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca, como se ilustra en la gráfica I-12, como velocidad de secado en función del tiempo, como señala la gráfica I-13. estas curvas de velocidad demuestran que el secado no es un proceso suave y continuo.

Figura I- 11 Contenido de humedad en función del tiempo



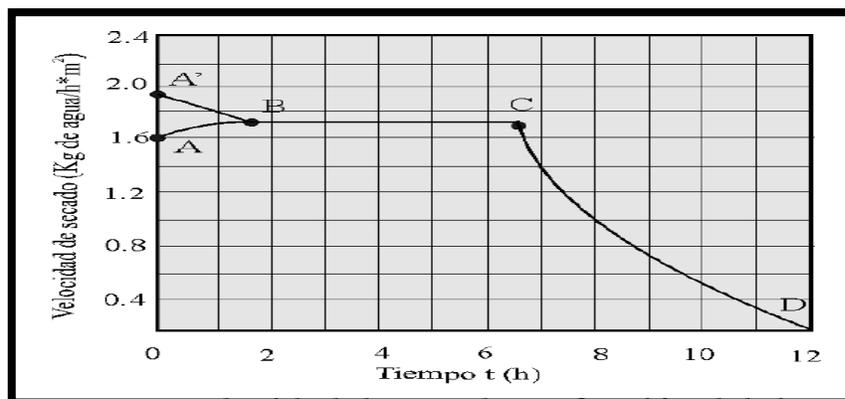
Fuente: Aleyda Pérez Herrera; construcción de un secador de charolas giratorio, abril 2006.

Figura I- 12 Velocidad de secado en función de la humedad



Fuente: Aleyda Pérez Herrera; construcción de un secador de charolas Giratorio, abril 2006.

Figura I- 13 Velocidad de secado en función del tiempo



Fuente: Aleyda Pérez Herrera; construcción de un secador de Charolas giratorio, abril 2006.

1.3.4.2.1 DESCRIPCIÓN DE CURVAS DE SECADO

Las curvas de secado antes mostradas representan el proceso de secado 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 tendría 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 la 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. La recta entre el punto B tiene una pendiente y velocidad constante. Durante este proceso, 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 establecida 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 del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior. Este periodo continuo mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora.

Los periodos de velocidad decreciente inician en el punto crítico de humedad C, al concluir los procesos de velocidad constante. En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener una película continua. La superficie ya no está totalmente húmeda la porción húmeda comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda seca en su totalidad, punto D. el segundo periodo de velocidad decreciente empieza en el punto D, 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. La existencia de un periodo de secado

fue demostrada por la observación de una etapa de velocidad constante de secado. Sin embargo, con materiales altamente moldeables, toda la velocidad de secado es engañosa debido al decrecimiento sustancial de la superficie de intercambio. En frutos como la manzana, no se presenta una primera etapa de secado constante, debido a la alta porosidad del material. Adicionalmente, durante la primera etapa del proceso de secado, la velocidad del aire es significativa ya que él representa el parámetro que intensifica la transferencia de masa y calor.

1.3.4.2.2 CINÉTICA DE SECADO

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

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación (O con J., García T., 1963).

$$W = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right) \quad \text{Ec. I - 1}$$

SS= peso de sólido seco

W=velocidad de secado

A=área de la Superficie expuesta

Para la optimización del proceso de secado en términos de calidad del producto y coste de la operación, se hace necesaria la predicción de la velocidad de secado con la ayuda de modelos adecuados.

1.3.4.3 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO

1.3.4.3.1 AIRE COMO AGENTE SECANTE

Los productos alimenticios pueden ser secados con aire, vapor sobrecalentado, en vacío, con gas inerte y con la aplicación directa del calor.

Generalmente se utiliza aire como medio deshidratador debido a su abundancia, su conveniencia y a que puede ser regulado sobre el calentamiento del alimento.

El aire caliente causa la transferencia de calor que hace posible la deshidratación del alimento, además, conduce el aire húmedo a la salida del secador y la velocidad de secado aumenta a medida que incrementa la velocidad de aire que fluye sobre el alimento.

1.3.4.3.2 TEMPERATURA DEL AIRE

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

Existen diversos niveles de temperaturas que se mantienen durante el proceso técnico de secado:

- **Temperatura de bulbo seco:** Es aquella del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio.
- **Temperatura superficial:** Es la de la especie a secar, generalmente se mide por medio de un sensor infrarrojo.
- **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.

Durante el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad.

1.3.4.3.3 AGUA EN LOS ALIMENTOS

El agua es un contribuyente importante a las propiedades organolépticas de los alimentos. La pérdida de agua en los alimentos ricos en ella, o la ganancia de agua en alimentos en que es escasa, reduce su calidad organoléptica y por tanto, su aceptabilidad. Por otra parte, la presencia de agua a ciertas concentraciones en los

alimentos, facilita su deterioro por acción de los microorganismos las enzimas. Por lo tanto, retirando agua de los alimentos o haciendo menos disponible se puede extender la vida útil de los mismos.

Al considerar la influencia del contenido en agua en la estabilidad de los alimentos, no es el contenido total en agua lo importante, sino la cantidad de agua disponible para el crecimiento microbiano y la actividad química, para esto, es importante saber que una parte del contenido en agua de los alimentos se halla fuertemente ligada a puntos específicos de los componentes sólidos, esta agua es llamada “**agua ligada**” y otra cantidad adicional se halla menos firmemente ligada, se volatiliza fácilmente, se pierde en el calentamiento y es la única disponible para el crecimiento de los microorganismos esta agua es llamada “**agua libre**”.

1.3.4.3.4 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se refiere a toda el agua en forma global presente en el alimento. Puede expresarse en base seca o húmeda.

Contenido de humedad en base húmeda es el contenido de agua en relación con la masa total húmeda del sólido y se expresa de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$X_{bh} = \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de ss} + \text{Kg de agua}} \quad \text{Ec. I - 2}$$

El contenido de humedad en base seca, es el contenido de agua con relación a la masa total seca del sólido y se expresa de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$X_{bs} = \frac{\text{Kg de agua}}{\text{Kg de ss}} \quad \text{Ec. I - 3}$$

1.3.4.3.5 CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL AIRE SECO

El contenido de humedad en el aire seco o humedad relativa es una variable importante en el secado de materiales con determinada humedad. Las propiedades

termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua revisten gran interés en la etapa de post-cosecha de productos agrícolas, por el efecto que tiene la humedad del aire atmosférico sobre el contenido de humedad de los productos. El conocimiento de las condiciones de humedad y temperatura del aire es de gran importancia en muchos otros aspectos de la actividad humana, ya que la pérdida de peso depende de la humedad del aire en la cámara de almacenamiento; si la humedad del aire es baja, la pérdida de peso del alimento es elevada. Por definición, existe aire seco cuando se ha extraído todo el vapor de agua. El aire normalmente tiene vapor de agua asociado, lo que da origen al que se denomina aire húmedo, que es la mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor presente en la mezcla puede variar entre cero y un valor correspondiente al estado de saturación. Esto último corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede soportar a una temperatura determinada.

1.3.4.3.6 TEMPERATURA EN EL PROCESO DE SECADO

La temperatura de secado está estrechamente relacionada con la humedad relativa del aire, ya que influye en la calidad organoléptica del producto final, por ejemplo, si la temperatura del aire de secado es alta y su humedad relativa es baja, existe peligro de que la humedad que será eliminada de la superficie de los alimentos se elimine más rápido de lo que el agua puede difundirse del interior húmedo del alimento al exterior y se forme un endurecimiento o costra en la superficie del material. Esta capa impermeable o límite, retarda la libre difusión de la humedad y puede ser evitada controlando la humedad relativa del aire circulante y la temperatura del mismo.

1.3.4.3.7 PARDEAMIENTO

Un factor crítico para la industria de alimentos es la calidad 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 fenómeno común que ocurre durante el procesamiento y almacenamiento de los mismos. Las reacciones de pardeamiento alteran el sabor, la apariencia y el valor nutritivo del producto.

Los mecanismos de oscurecimiento suelen dividirse en enzimáticos y no enzimáticos según su origen (Sapers, 1993).

1.3.4.3.7.1 PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO

La reacción de pardeamiento oxidativo es catalizada por las enzimas polifenoloxidasas (PPO), las cuales en presencia de oxígeno (O₂) actúan hidroxilando los compuestos fenólicos presentes en los tejidos vegetales. Posteriormente estos compuestos se oxidan también en presencia de PPO y O₂ a o-quinonas, las que luego se condensan y reaccionan no enzimáticamente para producir pigmentos pardos denominados genéricamente como melaninas.

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

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

Debido a la poca sensibilidad al pardeamiento enzimático que presentan los zapallos troceados, estos cambios están relacionados principalmente con la oxidación de los compuestos carotenoides.

Es por ello que por medio de baños de inmersión y durante 2-5 minutos, se aplicaron 2% ácido cítrico a las muestras de zapallo lo que permitió mantener o mejor la apariencia de las rodajas de zapallo examinadas. (Según Gabriela I. Denoya; análisis de la evolución de características cromáticas como parámetro de calidad en vegetales cortados).

1.3.5 MOLIENDA

La molienda es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1", siendo el grado de desintegración mayor al de trituración.

Las operaciones unitarias que reducen el tamaño de partículas son procesos industriales muy importantes, en efecto se aplican para: rocas, carbón, cemento, plásticos, granos.

Los equipos que se usan para disminuir el tamaño de partículas se denominan en general molinos. Se puede procesar desde pocos kilogramos por hora (operaciones de baja escala) hasta cientos de toneladas por hora (en la industria minera).

En muchas ocasiones el material debe molerse desde aglomerados de gran tamaño hasta polvo muy fino. Probablemente un solo molino no sea capaz de lograr la reducción deseada, entonces será necesaria una secuencia de equipos para lograr el objetivo.

Los equipos que muelen grandes aglomerados se denominan “**CRUSHERS**” en inglés, mientras que los que muelen partículas de pequeños tamaños se denominan “**MILLS**”, por supuesto que existe todo un rango de tamaños donde se superpone la Aplicabilidad de estos equipos.

1.3.5.1 EQUIPOS PARA MOLIENDA

En la Tabla I-15 se presenta una clasificación de equipos de molienda en función del tamaño del material requerido.

Tabla I- 15 Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final

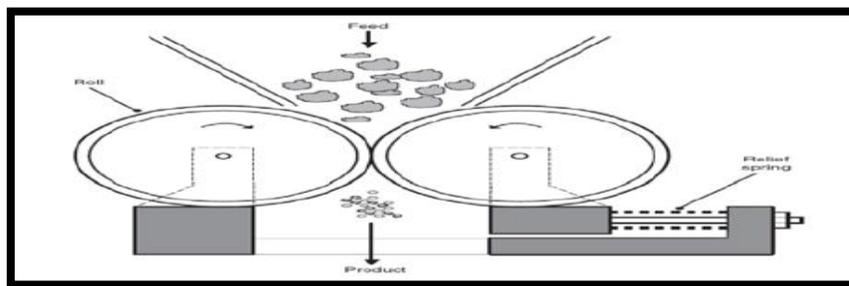
Rango de reducción de tamaño	Nombre genérico del equipo	Tipo de equipo
Grueso e intermedio	Molinos de gruesos: “Crushers”	De rodillos
Intermedio y fino	Molinos de finos: “Mills o Grinders”	De martillo Disco de atrición De rodillos
Fino y ultra fino	Molinos de ultra finos: “Ultra fine grinders”	De martillo De bolas

Fuente: Reducción de tamaños-molins.pdf

1.3.5.1.1 MOLINO DE RODILLO DE GRUESOS (crusher)

En este tipo de molinos dos cilindros de acero rotan en sentido contrario de manera que las partículas son atrapadas y sometidas a fuerzas de compresión que causan la reducción de tamaño. Puede definirse la distancia entre ambos rodillos, manipulando el resorte de alivio del equipo. La superficie de los rodillos puede ser lisa, corrugada o puede tener dientes (disco dentado). Los molinos dentados no pueden moler sólidos muy duros. Los molinos de gruesos a rodillos no poseen un tiempo de residencia característico, se denominan equipos de un solo paso.

Figura I- 14 Molinos de gruesos a rodillos

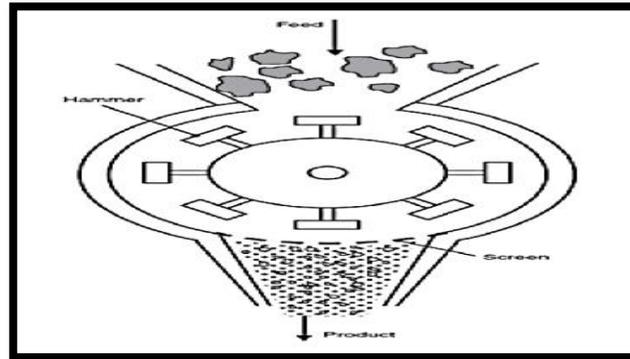


Fuente: Ortega-Rivas, 2005.

1.3.5.1.2 MOLINO DE MARTILLO

El cual contiene un rotor de alta velocidad que gira dentro de una carcasa cilíndrica. El rotor posee un collar con un dado número de martillos en la periferia. La ruptura se da principalmente por fuerzas de impacto, algo de atrición es factible. Si se reemplazan los martillos por cuchillas, se puede moler material fibroso, y aún pegajoso.

Figura I- 15 Molinos de martillos



Fuente: Ortega-Rivas, 2005.

1.3.5.1.3 MOLINOS DE DISCO DE ATRICIÓN

Se utilizan fuerzas de corte para lograr la reducción de tamaño, se utilizan para dar principalmente partículas finas. Existen varios modelos.

- **Molino de disco con canaletas** que rota a alta velocidad enfrentado a un disco fijo. El espaciado entre ambos discos puede regularse.
- **Molino de atrición de doble disco** existen dos discos que rotan en direcciones opuestas, lo que facilita un intenso desgaste.
- **Molino tipo Buhr** es el molino de disco más antiguo, muy usado para la molienda de harina, consiste en dos discos.

1.3.5.1.4 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. Se pueden poner baffles en el tambor, dividiendo el equipo en compartimientos donde se cargan bolas de diferentes tamaños.

1.3.5.2 ELEMENTOS IMPORTANTES EN LA MOLIENDA

Existe una serie de elementos importantes que influyen en la molienda de los materiales, Estos son:

- Velocidad Crítica.
- Tamaño máximo de los elementos moledores.
- Volumen de carga.
- Potencia.
- Tipos de molienda (húmeda -seca)

1.3.6 TAMIZADO

La separación de materiales en fracciones de tamaños diferentes tiene, en muchos casos, gran importancia por constituir el medio de preparar un producto para su venta en el mercado, o para una operación subsiguiente. [Operaciones básicas de la ingeniería química; George Granger Brown, pág. 9].

Equipos industriales para el tamizado:

- Los rastrillos se utilizan mucho para el tamizado de grandes tamaños.
- Los tamices vibratorios se utilizan para grandes capacidades.
- Los tamices oscilantes se caracterizan por una velocidad relativamente pequeña (300 a 400 oscilaciones por minuto) en un plano esencialmente paralelo al del tamiz.
- Los tamices de vaivén se propulsan mediante una excéntrica montada en el lado de la alimentación.
- El tromel, o tamiz rotatorio de tambor, está formado por un tamiz de forma cilíndrica o troncocónica, que gira sobre su eje.

1.3.7 ADICIÓN DE ADITIVOS

Los aditivos con fines nutritivos son, ante todo, nutrientes y deben ser considerados y utilizados como tales. Se trata principalmente de vitaminas, sustancias con aporte mineral, proteínas y aminoácidos esenciales. En todos los casos se busca un fin nutritivo y dietético: estas sustancias deben contribuir, con su presencia, a satisfacer una necesidad reconocida del organismo y/o el equilibrio de un régimen alimentario deficiente.

La fortificación es una estrategia preventiva basada en la alimentación que busca mejorar los valores de micronutrientes en poblaciones a lo largo del tiempo y que puede integrarse en el marco de otras intervenciones dirigidas a reducir las carencias de vitaminas y minerales cuando se identifican como problemas de salud pública.

1.3.8 ENVASADO

Los empaques, son materiales poliméricos susceptiblemente 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, 2000) La industria alimentaria usa diversas gamas de empaques elaborados de diversos materiales poliméricos o mezclas de algunos de ellos.

Para el 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.

1.3.9 ALMACENAMIENTO

El almacenamiento debe hacerse en sitios frescos y ventilados, con suficiente luz y temperatura entre 20 y 27°C. Los sacos deben colocarse sobre una tarima o estiba de madera que esté a 15 centímetros del suelo y de la pared, para evitar que la harina absorba la humedad y deben ser intercalados para que haya circulación de aire.

El almacenamiento debe hacerse lejos de sustancias volátiles o penetrantes (pintura, combustibles, detergentes) debido a que la harina posee una gran capacidad para absorber olores.

La harina es un producto higroscópico y por tanto tiene la capacidad de perder o ganar humedad, por ello es de gran importancia su lugar de almacenamiento.

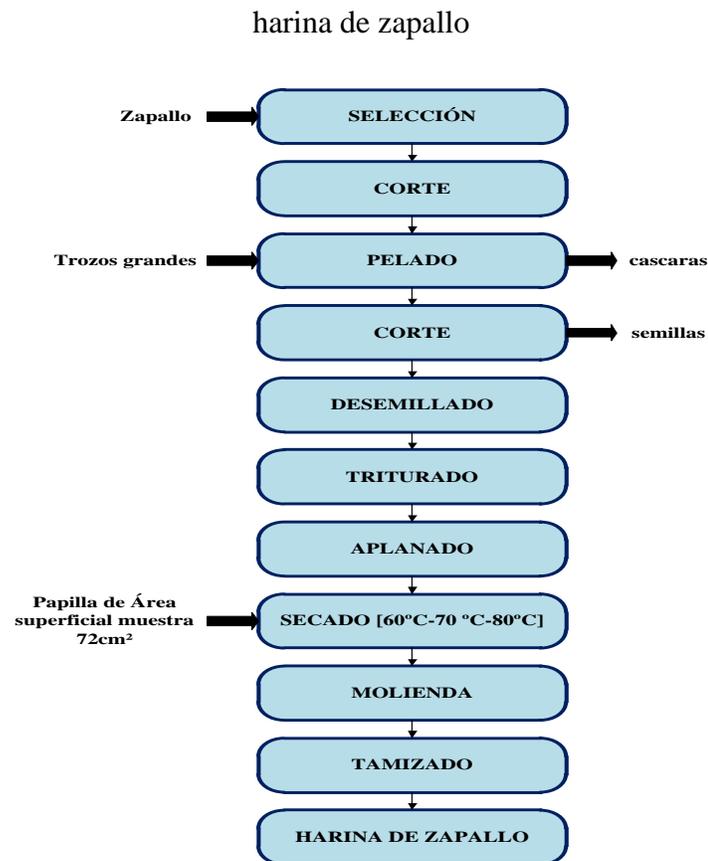
1.4 ESTUDIOS PREVIOS PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE ZAPALLO Y AMARANTO

1.4.1 ESTUDIOS PREVIOS PARA LA ELABORACIÓN DE HARINA DE ZAPALLO

a) Método para la elaboración de harina de zapallo a partir de papilla

Este método realizado por Cecibel Lisbeth Alava, 2007 en una investigación sobre “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos”, se sistematiza en el diagrama de bloques que se muestra a continuación:

Diagrama I- 2 Diagrama de bloques de la primera metodología de elaboración de



Fuente: Cecibel Lisbeth Alava; Desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos; [Guayaquil-Ecuador; 2007]

En este método, en primer lugar, se realiza la selección manual de zapallo cuidando que esté libre de daños, sigue el lavado para eliminar la tierra y otros materiales extraños; luego de esto, muestra que los zapallos son cortados en trozos grande e inmediatamente después realiza el pelado y despojado de las semillas presentes dejando tan solo la pulpa; como paso siguiente procede a realizar el corte en trozos pequeños de la pulpa de zapallo para colocarlos en un triturador con propósito de formar una especie de papilla que facilite el secado en bandejas de acero de 72cm^2 de área superficial con profundidad de 3mm; se prosigue a aplanar la papilla e introducir en el secador de bandejas, según resultados mostrados por Cescibel a temperatura de 60°C se observa secado superficial; a temperatura de 70°C completamente seco y a temperatura 80°C completamente seco y pardeado, continuando con una molienda en molino de bolas a 20 revoluciones por minuto durante 30 minutos, para finalmente

homogenizar las partículas a través del tamizado, de donde obtiene la harina de zapallo como producto final con granulometría que atraviesa la malla 0,21mm (Norma Ecuatoriana INE 517 de harinas de origen vegetal).

En la **Tabla I-16** se muestra los resultados de los análisis realizados a través de técnicas de análisis de alimentos establecidos por la AOAC en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción para el “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos”.

Tabla I- 16 Resultados de análisis de harina de zapallo

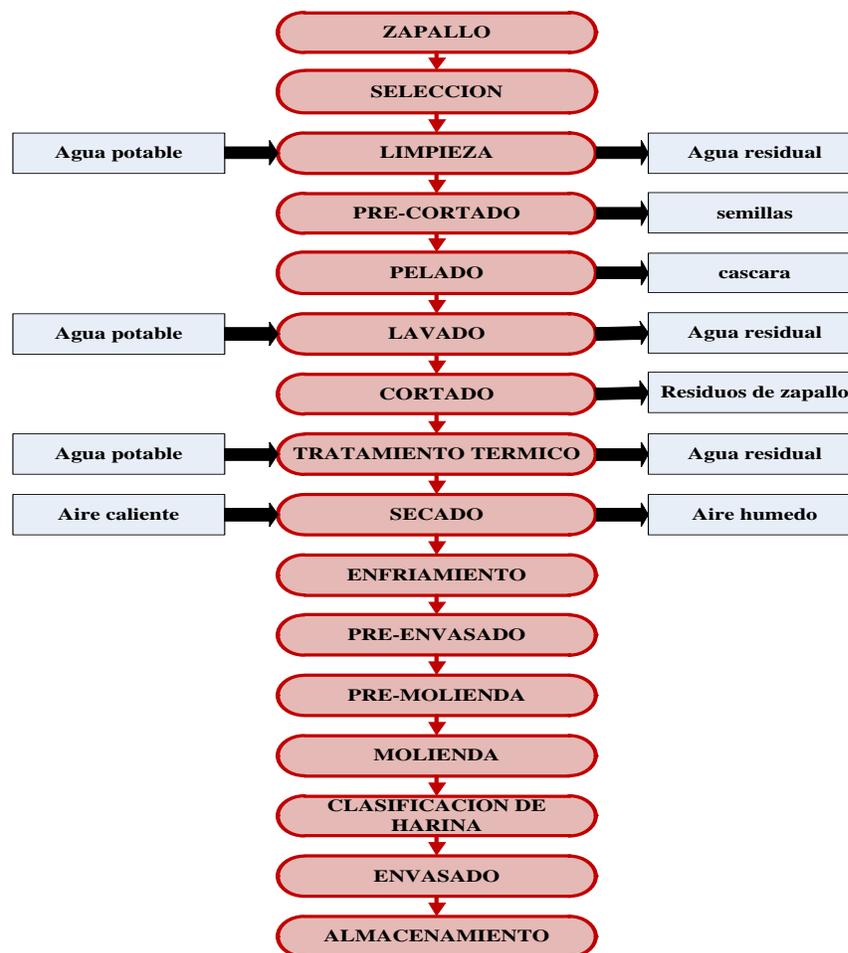
Parámetros	Unidad	Cantidad
Humedad	(%)	13,35
Cenizas	(%)	3,91
Extracto etéreo o grasa	(%)	0,77
Proteína	(%)	11,43
Fibra	(%)	8,27
Carbohidratos totales	(%)	62,27

Fuente: Cecibel Lisbel Alava; Guayaquil-Ecuador, 2007

b) Método para la elaboración de harina de zapallo a partir de rodajas

Este método realizado por Villa Quisbert Adriana Fabiola, 2015, en una investigación sobre “Obtención de harina de zapallo por el proceso de secado de alimentos “, la cual fue publicada en una Revista universitaria U.A.J.M.S de divulgación científica, se sistematiza en el diagrama de bloques que se muestra a continuación:

Diagrama I- 3 Diagrama de bloques de la segunda metodología de elaboración de harina de zapallo



Fuente: Villa Quisbert Adriana Fabiola; Revista universitaria U.A.J.M.S de divulgación científica, Obtención de harina de zapallo por el proceso de secado de alimentos); Mayo 2015.

Al igual que en el método anterior, la primera etapa del proceso es la selección de zapallo, a fin de cuidar que esté libre de daños; sigue el lavado para eliminar tierra y otros materiales extraños. Después de esto los zapallos son pre cortados para facilitar el pelado, posteriormente realiza el lavado y cortado de la pulpa a diferentes rodajas: rallas grandes, rallas pequeñas, rodajas de 2mm de espesor, seguidamente realiza el tratamiento térmico en agua a ebullición por 2 a 4 minutos, después procede a secar a diferentes temperaturas 50,60,70°C ; previo a esto calienta el secador por un lapso de 40 a 60 minutos, luego procede a enfriar las muestras deshidratadas para realizar el pre-ensado y después la pre-molienda con el fin de disminuir el tamaño de partículas y así evitar el calentamiento del molino de martillos en la molienda;

finalmente procede a tamizar la harina de zapallo en diferentes números de tamices: N°50 (0,3mm); N° 80 (0,18mm) y Tamiz colector [Norma del Codex para la Harina de Trigo, 2013], para finalmente proceder al envasado.

En la Tabla I-17 se muestra los resultados de los análisis realizados a la harina de zapallo en el laboratorio de CEANID el 2013 en la ciudad de Tarija.

Tabla I- 17 Resultados de análisis de harina de zapallo

Parámetros	Unidad	Cantidad
Humedad	(%)	8,04
Cenizas	(%)	2.74
Extracto etéreo o grasa	(%)	6.09
Proteína	(%)	14.06
Fibra	(%)	15.39
Carbohidratos totales	(%)	53.68
Acidez (ácido cítrico)	(%)	0,003
Hierro	(mg/100g)	3,55
Valor energético	(kcal/100g)	325,77

FUENTE: Villa Quisbert Adriana Fabiola, (2013).

1.4.1.1 OBSERVACIONES DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE ZAPALLO

Cecibel Lisbeth Alava, 2007; en una investigación sobre “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos” realizó varias pruebas de secado a diversas temperaturas, exponiendo la muestra por 1h en el secador (ver tabla I-7) y trabajó con 4,19m/s de velocidad de aire en el secador con el propósito de que el producto no sufra severos cambios. Las pruebas realizó con muestras en forma de papilla.

Las muestras que empleó para las pruebas de secado, tenían las siguientes dimensiones

- Largo 12cm

- Ancho 6cm
- Espesor 3mm

Tabla I- 18 Observaciones de la calidad de harina a diferentes temperaturas

Temperatura	Observaciones
60°C	- muy húmedo; secado superficial - color amarillo
70°C	- completamente seco - color amarillo
80°C	- completamente seco - totalmente quemado

Fuente: Cecibel Lisbeth Alava Pincay, 2007. Guayaquil-Ecuador “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos”, Ingeniería de alimentos.

Cuando el caroteno es sometido a temperaturas superiores a 80°C, este se degrada, por ello se observa decoloración en el producto. Lo recomendable para secar alimentos es 60°C para que el producto no pierda sus características iniciales, pero como se puede apreciar (Tabla I-7), esta temperatura no fue suficiente para secar la muestra. En cambio, a la temperatura de 70°C se observa que la muestra está completamente seca y de color agradable.

1.4.1.2 CURVAS DE SECADO PARA ZAPALLO

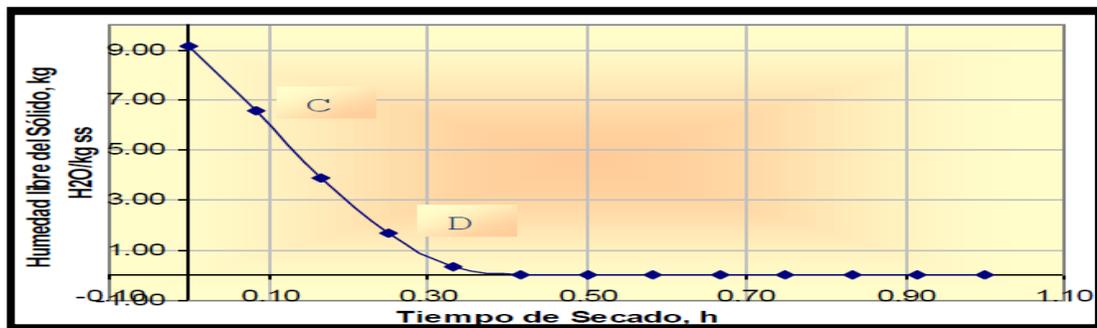
Cecibel Lisbeth Alava, 2007; en una investigación sobre “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos” logra establecer con datos de humedad en base seca, la humedad libre y por consiguiente la velocidad de secado.

En la figura I-16 se muestra la relación entre el tiempo de secado en horas con el contenido de humedad libre; los puntos C y D, indican que el contenido libre del agua en la muestra, disminuye rápidamente hasta el punto D, a partir de aquí, esa humedad que pierde el sólido es mínima demostrada en la gráfica como línea horizontal.

Estos puntos serán los mismos que se presentarán en la Figura I-17, para condiciones de secado constante empezando de tiempo cero.

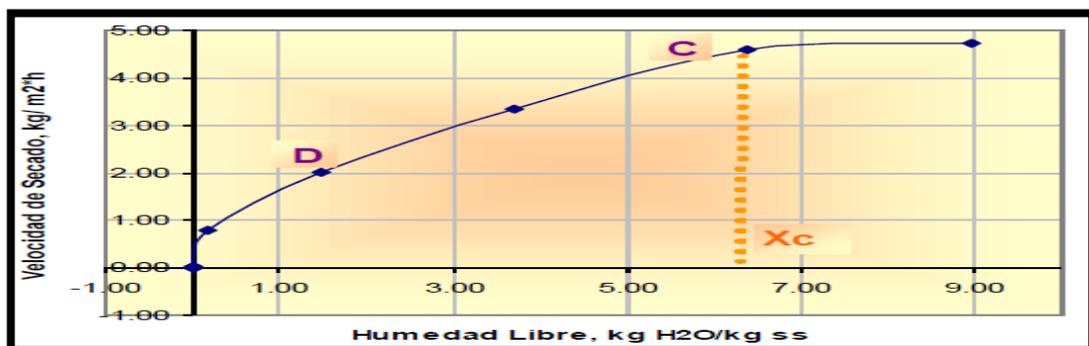
En ambas gráficas desde el punto D al C, se indica que la R_c disminuye en el periodo de velocidad decreciente observándose un modelo casi lineal. De la figura I-18 a partir del punto C, la velocidad de secado es constante determinando de esta forma el contenido crítico de humedad libre X_c de 6.38 kg H_2O / kg ss.

Figura I- 16 Tiempo de secado respecto a la humedad libre de la muestra de zapallo



Fuente: Cecibel Lisbeth Alava Pincay, 2007. Guayaquil-Ecuador “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos”, Ingeniería de alimentos.

Figura I- 17 Humedad libre del zapallo vs velocidad de secado



Fuente: Cecibel Lisbeth Alava Pincay, 2007. Guayaquil-Ecuador “desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos”, Ingeniería de alimentos.

1.4.1.3 CARACTERÍSTICAS DE TAMIZADO

Cecibel Lisbeth Alava, 2007; trabaja en la etapa de tamizado para determinar la granulometría de la harina de zapallo tomando como base una norma de harina, debido a que la harina de zapallo no presenta una norma específica; entonces, antes

de comparar sobre alguna norma, realiza pruebas por duplicado, empleando varios tamices de diferentes numeraciones. El tiempo de tamizado que emplea es de 5 minutos.

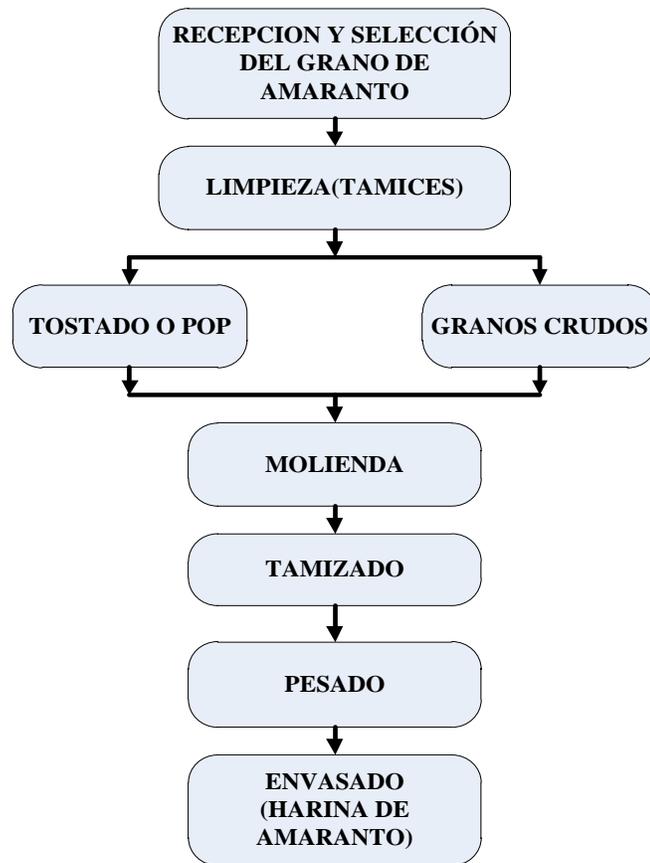
El procedimiento experimental realiza tal como lo indica la norma ecuatoriana “INEN 517 de harinas de origen vegetal” determinación de tamaño de las partículas.

- La norma de harina de trigo, establece que en un ensayo normalizado de tamizado, el mínimo 95%, deberá pasar por un tamiz INEN 210 μm (N° 70).
- La norma de harina de maíz, consiste en colocar una muestra determinada de harina en tamices N° 20 (0.85 mm), N° 25 (0.71mm) y N° 70 (0.210mm), que corresponden a que pase 95%, 45% y 25% de la harina inicial respectivamente; si pasa, la harina cumple con las especificaciones de dicha norma.
- Comparando con ambas normas los datos promedios experimentales obtenidos (Cecibel Lisbeth Alava, 2007), determinan un tamiz N° 70 con granulometría del 0,210 mm para la harina de zapallo.

1.4.2 ESTUDIOS PREVIOS PARA LA ELABORACIÓN DE HARINA DE AMARANTO

Para la transformación de los granos de amaranto en harina se utiliza tecnología apropiada y económicamente accesible para los países en vías de desarrollo, el cual se sistematiza en el diagrama de bloques que se muestra a continuación:

Diagrama I- 4 Diagrama de proceso para obtener harina de amaranto



Fuente: Renate Kietz; Compendio del Amaranto “rescate y revitalización en Bolivia” Pág. 137.

En la transformación de los granos de amaranto en harina se emplea las siguientes maneras:

- **Limpieza**

No todos los granos de amaranto están libres de tierra o de otras partículas de impureza (tallos, hojas), después de la cosecha. Para obtener una materia prima libre de impurezas es necesario limpiarla.

Empleando el método de mallas, dos mallas están sobrepuestas de tal manera que en la primera malla queden rechazadas las impurezas de mayor tamaño y en la segunda malla se tamizan las impurezas de menor tamaño y se rechaza el coime, para

posteriormente insuflar aire con el objeto de eliminar las impurezas muy finas (polvo).

Es conveniente lavar ligeramente los granos y sacudirlos en un recipiente con agua; las piedras y la tierra se queda, de esta manera en el fondo. Después se pueden secar los granos al aire o al sol colocando encima algo limpio.

- **Tostado o pop**

El proceso de reventado o tostado es el siguiente:

Los granos previamente secados y limpiados se colocan en un recipiente que se debe calentar hasta que la base tenga una temperatura aproximada de 160°C, moviéndolos ligeramente. El calor hace reventar los granos, aumentando su volumen de tres a cinco veces, se vacía los granos tostados y se los tamiza para separar y retirar los granos no reventados.

Este procedimiento se puede realizar en forma manual o en forma mecanizada. En el caso de la forma mecanizada hay que saber: “cuándo las semillas fueron reventadas por efecto de calor seco exponiéndose a una temperatura de 160°C durante 2 o 3 segundos para no provocar un efecto significativo en la calidad de nutrientes especialmente de proteína o nitrógeno digerible”

Hay investigaciones que demuestran una degradación en el contenido de proteínas y una disminución de la digestión si en el proceso de tostado la temperatura de procedimiento es de 190-215°C durante 15 a 20 segundos. Sin embargo, la eficiencia de proteínas de semillas reventadas, en proporción, es más alta que la de semillas enteras.

- **Molienda**

El grano crudo del amaranto puede ser molido para convertirse en harina cruda. También se puede moler el grano tostado del amaranto, convirtiéndolo en harina tostada, “pito”.

Para moler el grano manualmente se puede utilizar el método manual con el batán o el método mecanizado con linos corrientes de piedra.

La molienda por batán es el método tradicional, desmenuzando el grano mediante el uso de 2 piedras, una grande a base (marán) y otra alargada para moler (tunar).

El grano crudo del amaranto es más duro para la molienda que otros granos. Por eso es preferible moler en forma manual el grano.

El método mecanizado mediante molinos corrientes necesita graduar el espacio entre las piedras para adaptarlo al tamaño del grano. La harina que se obtiene es una harina integral, que se caracteriza por su alto contenido de nutrientes (proteínas, vitaminas y minerales) y por su olor y sabor muy agradables.

- **Tamizado**

Tamizando esta harina integral se puede volver a molerla, hasta obtenerse una harina blanca. Pero no es necesario ni aconsejable realizar estas operaciones, porque significaría una pérdida del valor nutritivo.

“la granulometría de la harina de amaranto está relacionada con el contenido de proteína. La harina gruesa (integral) tuvo 14,31% de proteína y la harina blanca 12,96%.”

La harina integral contiene generalmente más nutrientes que la harina blanca: siete veces más vitaminas, seis veces más hierro y cuatro veces más cobre.

- **Pesado**

Una vez realizado el tamizado de la harina de amaranto se obtiene diferentes granulometrías cada una para diferente aplicación, se procede a pesar según la cantidad que se desea ofrecer al mercado.

- **Envasado**

La harina de amaranto como producto final es empaquetada en bolsas de

polipropileno de baja densidad debido a que presenta bajo contenido de humedad; el envase debe proteger la vida anaquel y atraer la atención de los consumidores.

En la Tabla I-19 se muestra los resultados del análisis de la harina de amaranto que fueron desarrollados bajo el método de la AOAC (Association of Oficial Analytical Chemist 1984).

Tabla I- 19 Comparación de resultados de análisis de harina de amaranto

Composición g/100g	Harina de amaranto crudo	Harina de amaranto tostado
Humedad	7.7	5.3
Proteína	16.42	14.1
Grasa	7.1	5.7
Ceniza	2.98	2.6
Carbohidratos	67.8	63.2

FUENTE: Julio Michael Salvador Carpio; San Salvador, Diciembre de 2009.

CAPÍTULO II
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

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 a partir de zapallo enriquecida con harina de amaranto como suplemento alimenticio”, se realizó en 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 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE MATERIA PRIMAS

2.2.1 ZAPALLO

Para la presente investigación se utilizó zapallo criollo de especie “cucúrbita máxima”, el cual fue cultivado en la comunidad de Santa Bárbara perteneciente a la provincia Eustaquio Méndez del departamento de Tarija.

2.2.1.1 RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (ZAPALLO)

La materia prima fue recolectada por los agricultores que se dedican a la plantación de zapallo criollo, el cual llega al mercado campesino de la ciudad de Tarija para ser comercializado. Se recolectó de un solo vendedor en cantidad necesaria, para tener una materia prima de la misma procedencia y así minimizar las variaciones de las propiedades del zapallo en la condición de cultivo.

Foto II- 1 Recolección de zapallo



Fuente: Elaboración propia; Santa Bárbara -Tarija

2.2.1.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Para el acondicionamiento del zapallo se procedió a lavar para eliminar la tierra y otras impurezas que pudiesen existir; posteriormente se secó todo el epicarpio del zapallo y se almacenó en un lugar limpio para su uso posterior.

Foto II- 2 Zapallo criollo acondicionado



Fuente: Elaboración propia-Almacenada en laboratorio “CEANID”

2.2.2 AMARANTO

Para la presente investigación se utilizó Amaranto de especie “caudatus”, el cual fue cultivado en la comunidad de Monte de San Pedro perteneciente a la provincia Eustaquio Méndez del departamento de Tarija.

2.2.2.1 RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (AMARANTO)

La materia prima fue recolectada por un agricultor dedicado a la producción y comercialización de Amaranto en la comunidad de Monte de San Pedro.

Foto II- 3 Recolección del amaranto



Fuente: Elaboración propia-Monte de San Pedro

2.2.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA (AMARANTO)

Para el acondicionamiento del Amaranto se procedió a realizar la limpieza de los granos en un tamizador por 10 minutos para separar todas las impurezas presentes; se colocó dos mallas sobrepuestas, en la primera malla quedaron rechazadas las impurezas de mayor tamaño y en la segunda malla se tamizaron las impurezas de menor tamaño y se rechazó el coime, posteriormente las impurezas muy finas (polvo) se eliminó por aireación manual y se almacenó para uso posterior en bolsas de polipropileno.

2.2.3 ESTUDIO MORFOLÓGICO EN EL ZAPALLO Y DE LA ESTRUCTURA DEL FRUTO EN EL AMARANTO

Se realizó un estudio morfológico para el zapallo criollo de la especie “cucúrbita

máxima” para poder observar los beta carotenos en el zapallo; el estudio de la estructura del fruto del grano de amaranto y zapallo con la colaboración del ingeniero Ismael Acosta en los laboratorios de Agronomía.

Para la observación del tejido del mesocarpio del zapallo se utilizó la guía práctica de Botánica General de la Carrera de Ingeniería Agronómica. *Acosta (2015)*, adaptada a las necesidades de la presente investigación.

Para poder observar el tejido parenquimático del zapallo se rasgó el mesocarpio del zapallo con la aguja histológica y con la misma se colocó una porción en el portaobjeto. Posteriormente se agregó una gota de agua destilada y se cubrió con el cubreobjeto. Previo a llevar la muestra al microscopio se limpió los alrededores del portaobjeto para evitar interferencias al momento de realizar el estudio del tejido y de las células presentes en el mesocarpio.

En las fotografías se puede observar la preparación de la muestra “pulpa de zapallo” previa a realizar la observación en el microscopio con cámara incorporada.

Foto II- 4 Rasgado del mesocarpio con aguja histológica



Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar) ,2016

Foto II- 5 Muestra en portaobjeto



Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar) ,2016

Foto II- 6 Microscopio con cámara incorporada



O

Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar) ,2016

Para la observación del fruto y de la semilla del amaranto se trabajó en una lupa para realizar la separación de la semilla del fruto; para esto se utilizó un portaobjeto y la aguja histológica y una aguja común de ayuda; una vez logrado el desprendimiento de la semilla del fruto se tomó una foto con una cámara digital con diferente lente para realizar el acercamiento hacia las semillas del amaranto.

2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es una técnica estadística, que tiene como objetivo definir una serie de pruebas en las cuales existen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de tal manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios que se producen en la respuesta de salida, de tal modo que el investigador obtenga estimaciones con la mayor precisión posible.

2.3.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

Para desarrollar la presente investigación se tomó en cuenta en el diseño experimental las siguientes hipótesis:

- Existe diferencia, en cuanto a los niveles de variación, en el espesor de la rodaja de zapallo.
- Existe diferencia, en cuanto a los niveles de variación, en la temperatura de secado de zapallo.
- Existe variación en la interacción entre ambos factores.

- **Nivel de significación:** 0,95 (95%).

El diseño seleccionado en la presente investigación es de tipo 2^k , en el que hay dos variables o factores cuantitativos, temperatura de secado “**T**” y espesor de muestra “**E**”, siendo la variable respuesta el contenido de humedad de cada muestra secada.

Por tanto, el diseño experimental corresponde a un modelo 2^2 es decir de dos niveles, dos factores y dos repeticiones.

- **Factor T:** Temperatura de secado
- **Factor E:** Espesor de rodajas de zapallo
- **Factor R:** humedad

La tabla II-1 muestra las variables seleccionadas para el proceso y los niveles definidos de acuerdo a las sección 1.4.1 del capítulo I.

Tabla II- 1 Niveles de las variables de secado de zapallo

Nivel	Factores	
	E(mm)	T(°C)
Inferior (-)	1,5	60
Superior (+)	3	70

Fuente: elaboración propia; 2016

El número de experiencias realizadas es:

$$N_{EXP} = N^{\circ} \text{ de niveles}^{N^{\circ} \text{ de factores}} * \text{repeticiones} = N_{EXP} = 2^2 * 2 = 8$$

En la siguiente tabla II-2 se representa la matriz de diseño empleada para la presente investigación:

Tabla II- 2 Matriz de diseño

Nº de ensayos	Factores		Respuesta I humedad	Respuesta II humedad
	(Eij)	(Tij)		
1	-	-	T ₁₁ E ₁₁	T ₁₂ E ₁₂
2	-	+	T ₁₁ E ₂₁	T ₁₂ E ₂₂
3	+	-	T ₂₁ E ₁₁	T ₂₂ E ₁₂
4	+	+	T ₂₁ E ₂₁	T ₂₂ E ₂₂

Fuente: elaboración propia; 2016

Donde:

i= Nivel

j= repetición

T=temperatura de secado (°C).

E=espesor de la rodaja de zapallo (mm).

R= humedad (kg H2O/kg sólido seco).

Hipótesis Nula

$$H_0 = T_{11} = T_{21} = T_{12} = T_{22} = 0$$

$$H_0 = E_{11} = E_{21} = E_{12} = E_{22} = 0$$

$$H_0 = T_{11}E_{11} = T_{21}E_{11} = T_{11}E_{21} = T_{21}E_{21} = T_{12}M_{12} = T_{22}M_{12} = T_{12}M_{22} = T_{22}M_{22} = 0$$

Hipótesis Experimental

$H_1: T_{11} \neq T_{21} \neq T_{12} \neq T_{22}$, no todas las T_{ij} son cero.

$H_1: E_{11} \neq E_{21} \neq E_{12} \neq E_{22}$, no todas las E_{ij} son cero.

$H_1: T_{11}E_{11} \neq T_{21}E_{11} \neq T_{11}E_{21} \neq T_{21}E_{21} \neq T_{12}M_{12} \neq T_{22}M_{12} \neq T_{12}M_{22} \neq T_{22}M_{22}$, no todas las interacciones $T_{ij} E_{ij}$ son cero.

Hipótesis: La temperatura y el espesor de la rodaja de zapallo empleada en el secado influyen positivamente en la humedad final que adquieren las rodajas de zapallo.

2.3.2 CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE SECADO

- Temperatura (T)

Se trabajó con las temperaturas de 60°C y 70°C, en base a la información bibliográfica (ver sección 1.1.11 del capítulo I) ya que a elevadas temperaturas se produce el pardeamiento a causa de la caramelización de los azúcares; como consecuencia, la desnaturalización de las proteínas, a temperaturas inferiores de 60°C el tiempo de secado aumenta, lo cual redundaría en el costo de energético.

- Espesor (E)

El espesor de la muestra es una variable importante que se toma en cuenta cuando se realiza el secado de cualquier producto alimenticio; se trabajó con un espesor de 1.5mm y 3mm.

2.4 SELECCIÓN DEL SECADOR Y MOLINO EN EL DESARROLLO DEL PROCESO EXPERIMENTAL

A continuación se presentan las ventajas, desventajas sobre el funcionamiento que presentan los secadores y las características que presentan los molinos más usados en

las industrias alimenticias, los cuales se exponen a continuación en la tabla II-3 y en la tabla II-4.

Tabla II- 3 Características sobre el funcionamiento de los molinos

Tipos de molinos	Capacidad	Tipo de material	Potencia consumida
Molino de martillos	60-240 kg	Sólidos fibrosos como cortezas o cuero, virutas de acero, pastas blandas y húmedas, arcilla plástica o roca dura. Para obtener una molienda fina están limitados a los materiales más blandos.	1kWh/kg
Molino de bolas	1-50 t /h	Alimentos de modo general.	16kWh/t

Fuente: Mc. Abe E. L., Smith J.C., Harriot P., (1998)

Según referencias bibliográficas (Cecibel Lisbeth Alava P., 2006), para la molienda de muestras de zapallo seco se utilizó molino de bolas, pero como este presenta elevado consumo de potencia y es utilizado para capacidades elevadas, se opta por trabajar con molino de martillo ya que este nos permite trabajar con poca capacidad de carga, además se cuenta con dicho molino en inmediaciones del laboratorio de CEANID.

Tabla II- 4 Características, ventajas y desventajas de funcionamiento de secadores

TIPOS DE SECADORES			
Parámetros	Secador con aire caliente	Secador con vacío	Secador con bomba de calor
Tasa específica de extracción de humedad (Kg agua/KWh)	0,12-1,28	0,72-1,2	1,0-4,0
% Eficacia de secado	35-40	≤ 70	95
Temperatura de operación(°C)	40-90	30-60	10-65
%HR en el que opera	variable	bajo	10-65
Costo capital	Bajo	alto	Moderado
Costo de operación	alto	muy alto	Bajo

TIPOS DE SECADORES			
Parámetros	Secador con aire caliente	Secador con vacío	Secador con bomba de calor
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Funciona con ventilador que circula aire caliente sobre la superficie de las charolas. -Elimina constantemente la humedad del material hacia el ambiente. -Es usado en muchas operaciones de secado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Es ideal para materiales que pueden ser dañados o cambiados si se exponen a altas temperaturas. -Remueve humedad mientras previene oxidación o explosiones que pueden ocurrir cuando ciertos materiales se combinan con aire. -Es ideal en situaciones donde el solvente debe ser recuperado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Eficiencias energéticas altas con recuperación de calor, resultando un consumo mínimo por unidad de agua removida. -Mejor calidad del producto mediante el control de temperatura. Amplio rango de condiciones de secado.

TIPOS DE SECADORES			
Parámetros	Secador con aire caliente	Secador con vacío	Secador con bomba de calor
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> -Baja eficiencia de secado. -Costo elevado de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Requiere de un mayor consumo de materiales metálicos para la construcción. -Consume mucha energía. 	<ul style="list-style-type: none"> -Uso de clorofluorocarbonos en el ciclo refrigerante, los cuales no son ambientalmente amistosos. -Temperatura de secado limitante -Requiere mantenimiento regular de los componentes y cambio de refrigerante.
Viabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Viable 	<ul style="list-style-type: none"> - Poco viable por el costo de energía y para materiales con elevada humedad. 	<ul style="list-style-type: none"> - No se dispone del equipamiento.

Fuente: Elaboración propia, 2016

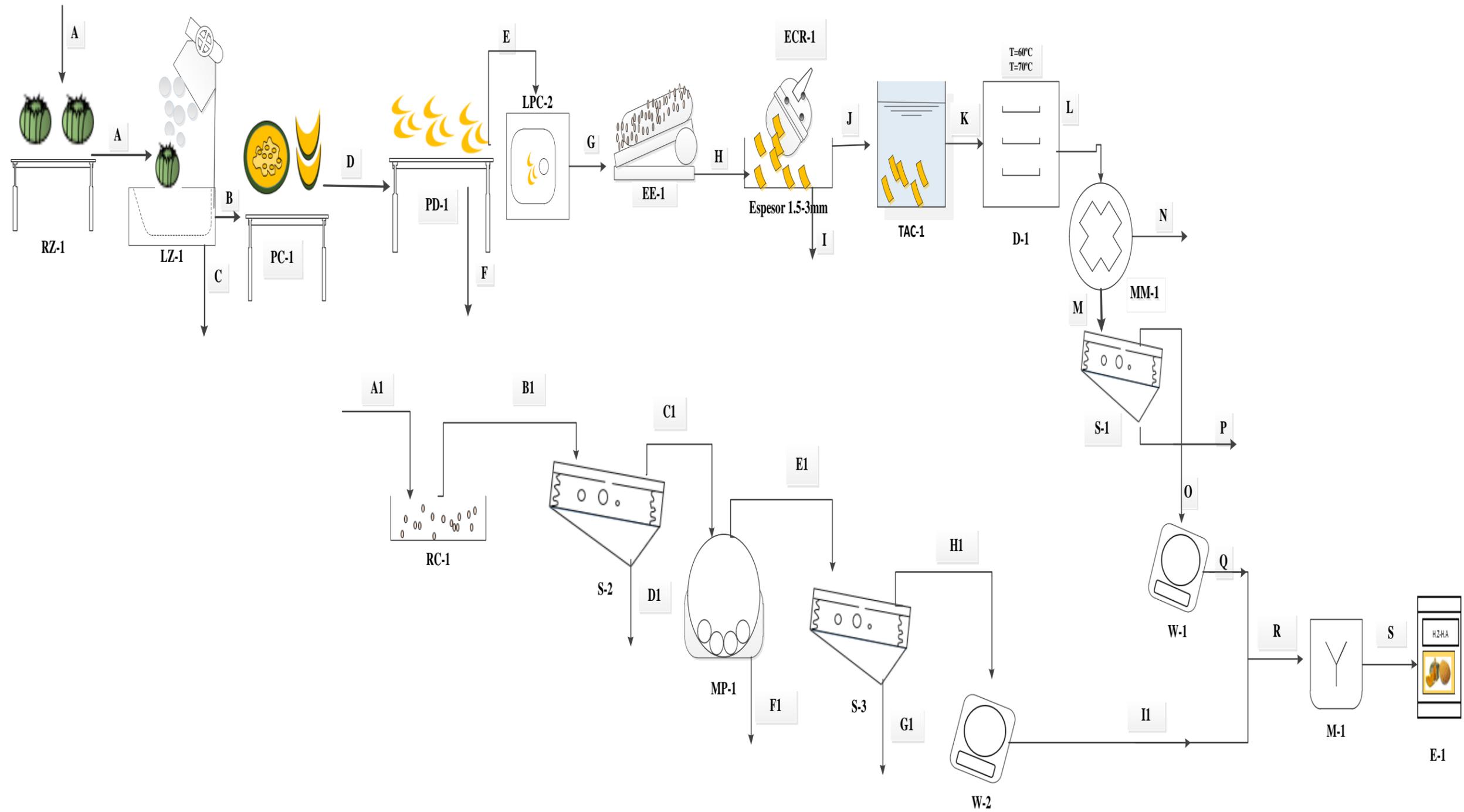
De acuerdo a las referencias bibliográficas consultadas, se reporta que se puede realizar el secado de una muestra manteniendo una buena calidad final de producto con un secador: con bomba de calor, al vacío y con aire caliente.

Según a las características expuestas en la tabla II-4 respecto al tipo de secador, el secador de convección con aire caliente presenta temperaturas de operación elevadas, humedad relativa de operación variable y un costo de capital bajo con respecto a los otros dos tipos de secadores, es por ello que se selecciona trabajar con este tipo de secador y también porque se encuentra accesible en la Universidad Juan Misael Saracho en inmediaciones del laboratorio de CEANID.

2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DE ZAPALLO ENRIQUECIDA CON HARINA DE AMARANTO

Se detalla en el **diagrama II-1** un Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto y en el **diagrama II-2** se muestra un diagrama de bloques de la parte experimental de la elaboración de harina de zapallo “cucúrbita máxima” enriquecida con harina de amaranto “caudathus”

Diagrama II- 1 Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina a partir del zapallo enriquecida con harina de amaranto



Fuente: Elaboración propia, 2016

Significado de cada etapa del proceso de obtención de harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto

A=entrada de zapallo entero

B= zapallo lavado

C= tierra e impurezas

D= zapallo pre-cortado

E=pulpa de zapallo pre cortado

F= cáscaras, semillas de zapallo

G=pulpa de zapallo lavada (con agua incorporada)

H=pulpa de zapallo lavada (con agua escurrida)

I=rodajas cortadas de pulpa de zapallo (con espesor de 1.5-3mm)

J=retazos del cortado en rodaja de zapallo

K=entrada de rodajas de zapallo al secador (Temperatura 60-70°C)

L=entrada de rodajas de zapallo secas al molino

M=ingreso de harina de zapallo al tamizador

N=pérdida de la harina de zapallo en la molienda

O=harina de zapallo con granulometría de 0,25mm

P=harina de zapallo con granulometría diferente a 0,25mm

A1=recepción de coime o amaranto

B1=entrada de amaranto al tamizador

C1=grano de amaranto limpio

D1=tierra e impurezas

E1=harina de amaranto

F1=pérdida de la harina de amaranto en la molienda

G1=harina de amaranto con granulometría diferente a 0,25m

H1=harina de amaranto con granulometría de 0,25mm

I1=30% de harina de amaranto

Q=70% de harina de zapallo

R=harina de zapallo + harina de amaranto

S=harina compuesta homogénea

RZ-1= Recepción de zapallo

LZ-1=Lavado de la materia prima

PC-1=pre-cortado

PD-1=Pelado-Desemillado

LPC-2=Lavado del pre-cortado

EE-1=Etapa de escurrimiento

ECR-1=Etapa de cortado en rodajas

TAC-1=Tratamiento con ácido cítrico

D-1=secador

M-1=molino de martillos

S-1=tamiz vibratorio

W-1=equipo de pesaje

RC-1=Recipiente con coime

S-2=Tamiz vibratorio

MP-1=molino de piedra

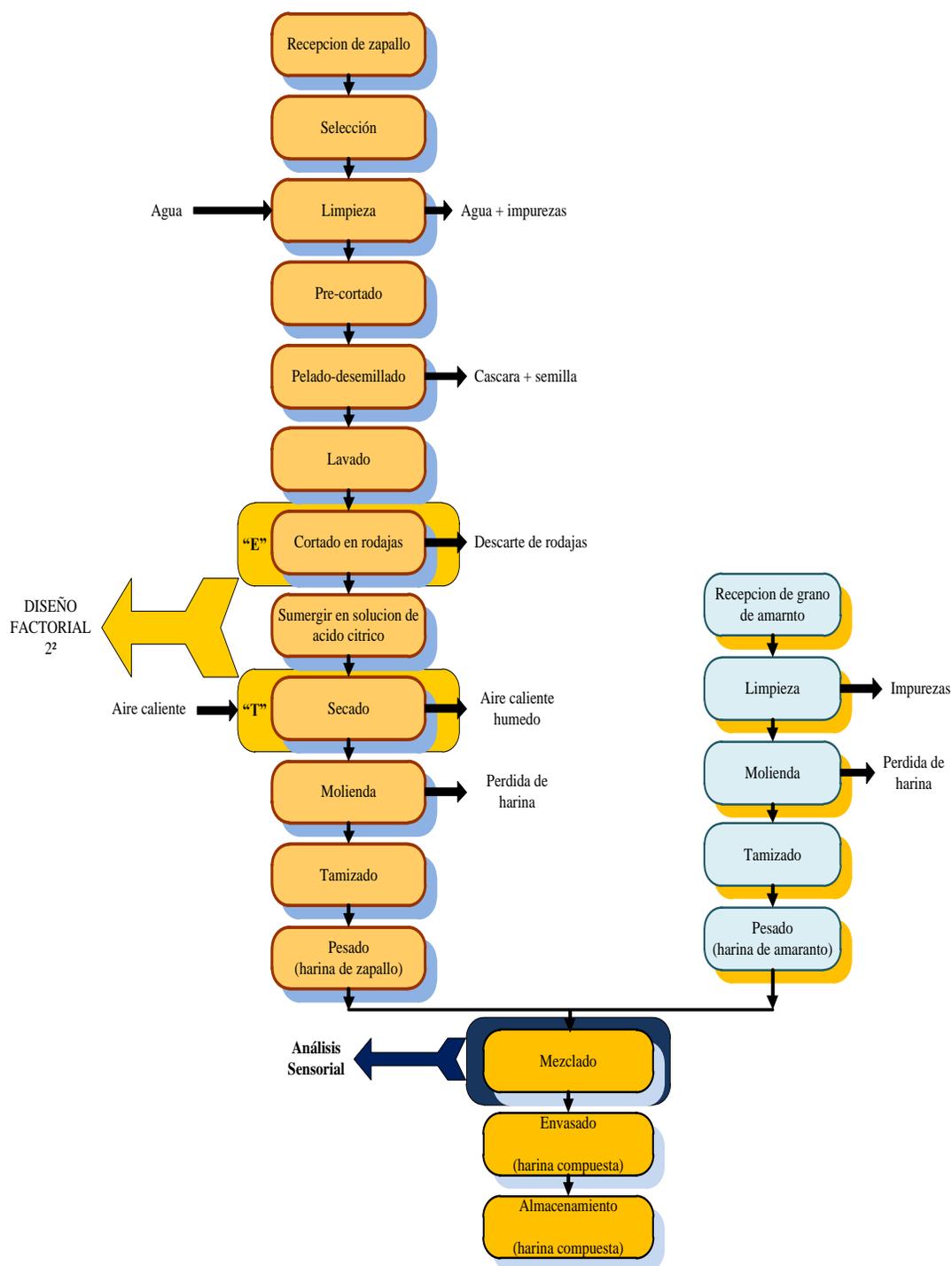
S-3=Tamiz vibratorio

W-2=Equipo de pesaje

M-1=Mezclador

E-1=Envasado

Diagrama II- 2 Diagrama de bloques para la elaboración de harina a partir de zapallo enriquecida con harina de amaranto



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1 ZAPALLO

2.5.1.1 RECEPCIÓN

La materia prima, con la que se trabajará en la presente investigación es zapallo criollo de especie cucúrbita máxima, el cual posteriormente a su adquisición en el mercado campesino, es almacenado en el centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho, para su posterior procesamiento.

Foto II- 7 Zapallo criollo de especie cucúrbita máxima recepcionado



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.2 SELECCIÓN

Se realizó la selección de la materia prima de mejor calidad por observación visual directa para obtener un producto posterior de buenas condiciones, desechando aquellos que se encuentran con magulladuras o mohos en la superficie de la cáscara.

2.5.1.3 LIMPIEZA

Se procedió a lavar el zapallo entero en un recipiente de plástico en forma manual con agua potable para eliminar la tierra y otras impurezas que se encontraban adheridas a la superficie del epicarpio del zapallo criollo.

Foto II- 8 Limpieza del epicarpio del zapallo criollo



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.4 PRE-CORTADO

El proceso de pre-cortado, se realizó en forma manual utilizando un cuchillo grande de acero inoxidable, para facilitar el pelado posterior, se procedió a cortar el zapallo por la mitad en dos Partes (ver foto 2-4). Posteriormente, se continuó cortando de forma horizontal la hortaliza (Figura 4) y de esta forma también se facilitó la eliminación del endocarpio (semillas).

Foto II- 9 Corte del zapallo criollo por la mitad



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 10 Pre-cortado del zapallo criollo



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.5 PELADO-DESSEMILLADO

Se realiza el dessemillado con la ayuda de una cuchara, luego se procede a pelar el epicarpio del zapallo pre-cortado y con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable mediano se retira como desecho al epicarpio y endocarpio, dejando solo para el uso al mesocarpio (pulpa) del zapallo.

Foto II- 11 Eliminación del endocarpio del zapallo criollo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 12 Semillas presentes en el endocarpio del zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.6 LAVADO

El lavado se realizó a la pulpa de zapallo pre-cortada, para evitar que se incorpore en mayor cantidad el agua; todo esto se realizó en una fuente de plástico y luego el agua incorporada fue escurrida sobre una superficie plana.

Foto II- 13 Lavado de la pulpa de zapallo pre-cortada



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 14 Escurrimiento de agua de la pulpa pre-cortada de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.7 CORTADO EN RODAJAS

El zapallo es cortado en forma de rodajas, con un cortador tipo cuchilla de paso regulable con la finalidad de obtener rodajas uniformes de espesor de 1.5mm y 3mm, con la finalidad de obtener un producto de mejor calidad.

Foto II- 15 Cuchilla de paso regulable



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 16 Rodajas de pulpa de zapallo

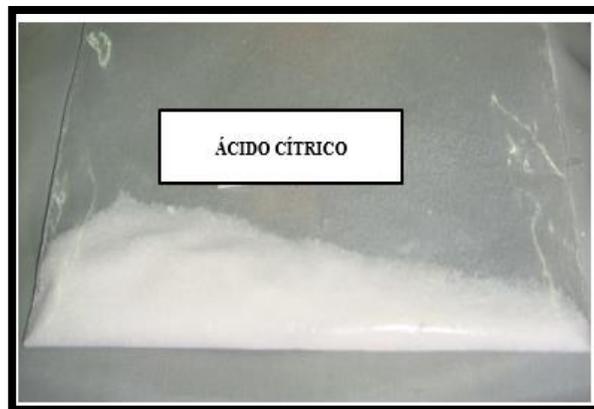


Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.8 SUMERGIR EN SOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

Se utilizó como inhibidor enzimático ácido cítrico al 2%, sumergiendo las rodajas de zapallo en una solución por un periodo de 2-5 minutos a fin de evitar el pardeamiento enzimático y así obtener un producto de color agradable, pero sin afectar al sabor y las características del producto final.

Foto II- 17 Ácido cítrico inhibidor enzimático



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 18 Rodajas de zapallo sumergidas en solución de ácido cítrico



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 19 Rodajas de zapallo escurridas después del tratamiento con ácido cítrico



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.9 SECADO

Para el secado de las muestras de zapallo se trabajó con un secador de convección el cual tienen incorporado un ventilador para introducir aire caliente al mismo, con la finalidad de mejorar las condiciones de circulación del aire en el secador para que su distribución sea uniforme en todo el equipo; para lograr esto se ajustó la velocidad de circulación de aire con un anemómetro a un valor de 3.9m/s.

Para el secado de las muestras “rodajas” de zapallo, se realizó previamente el ajuste del secador de bandejas, regulando la temperatura de trabajo con la perilla de control, empleando para cada muestra el valor asignado para esta variable en el diseño factorial (60°C o 70°C).

Se esperó al menos 1 a 1.5 horas (dependiendo del contenido de humedad del medio ambiente) hasta que el secador alcance la temperatura de trabajo deseada.

Antes de poner la bandeja con la muestra se pesó solo la bandeja, posteriormente, se procedió a colocar las muestras “Rodajas” de zapallo de diferentes espesores como variable en el diseño factorial (1.5mm o 3mm) en bandejas metálicas cuyas dimensiones fueron de 29x38cm.

Luego se realizó el control de peso (bandeja más muestra) cada 15 minutos hasta el peso final constante.

Se midieron las temperaturas de bulbo seco (t_{bs}) y la temperatura de bulbo húmedo (t_{bh}) para cada uno de los experimentos realizados según la combinación de las variables seleccionadas en el diseño factorial en la entrada del aire; para esto se instalaron los dos termómetros, a la salida del aire también se tomaron los datos de estas temperaturas, para lo cual se adaptó a un psicómetro dos termómetros justo a la salida del aire.

En la **tabla II-5** se puede observar los datos de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo a la entrada y salida del aire, medidos experimentalmente en el momento de secado de zapallo.

Tabla II- 5 Datos experimentales de la temperatura de bulbo seco-temperatura de bulbo húmedo del aire

Entrada	60°C-1.5mm	70°C-1.5mm	60°C-3mm	70°C-3mm
T_{bs}	29	26	31	28
T_{bh}	18	18	20	19
Salida	60°C-1.5mm	70°C-1.5mm	60°C-3mm	70°C-3mm
T_{bs}	39	40	42	38
T_{bh}	35	36,2	36	33

Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 20 Muestras de rodajas de zapallo en las bandejas



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 21 Bandejas con muestra de zapallo dentro del secador



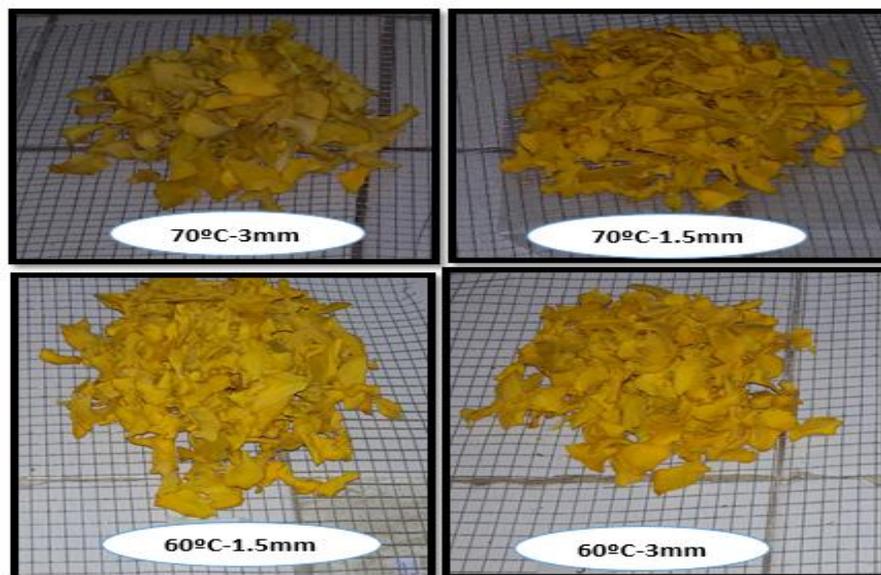
Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 22 Muestras secas de zapallo en las bandejas



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 23 Muestra seca de zapallo a diferentes condiciones de temperatura-espesor



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 24 Acondicionamiento de la muestra seca previo a su enfriamiento



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 25 Enfriamiento de la muestra seca de zapallo
en un desecador



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.9.1 PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL SECADO DEL ZAPALLO

Para registrar la pérdida de peso de las rodajas de zapallo, los datos se registraron en intervalos de 15 minutos; para cada muestra se fijaron las variables: temperatura y espesor de la muestra de acuerdo al diseño factorial propuesto en la sección 2.3, manteniendo constante la velocidad de circulación del aire para el proceso de secado del zapallo. Se trabajó con dos diferentes espesores de muestra de zapallo expuestos en la sección 2.3, una de 1.5mm y otra de 3.mm; para cada prueba se colocaron 966 gramos de rodajas de zapallo en la bandeja, en el momento de ponerla, se utilizó guantes estériles y espátula para repartir la muestra de forma uniforme y no contaminarla, también se tomó 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 caso de que la humedad relativa de este sea muy elevada, porque alteraría eficazmente el peso de la muestra inicial ya que esta absorbería humedad del medio ambiente. Se seca la muestra hasta obtener un peso constante con tres repeticiones para generar las curvas de secado.

En la **tabla II-6** se observa la pérdida de peso de las rodajas de zapallo durante su secado a las temperaturas fijadas en el diseño factorial usando un espesor de muestra de 1.5mm y manteniendo constante la velocidad de aire que entra en el secador a 3.9m/s.

Se realizaron dos ensayos para cada temperatura seleccionada y un mismo espesor; se puede observar que el tiempo de secado para 60°C-1.5mm es de 5horas y el tiempo de secado para 70°C-1.5mm es de 4.25horas.

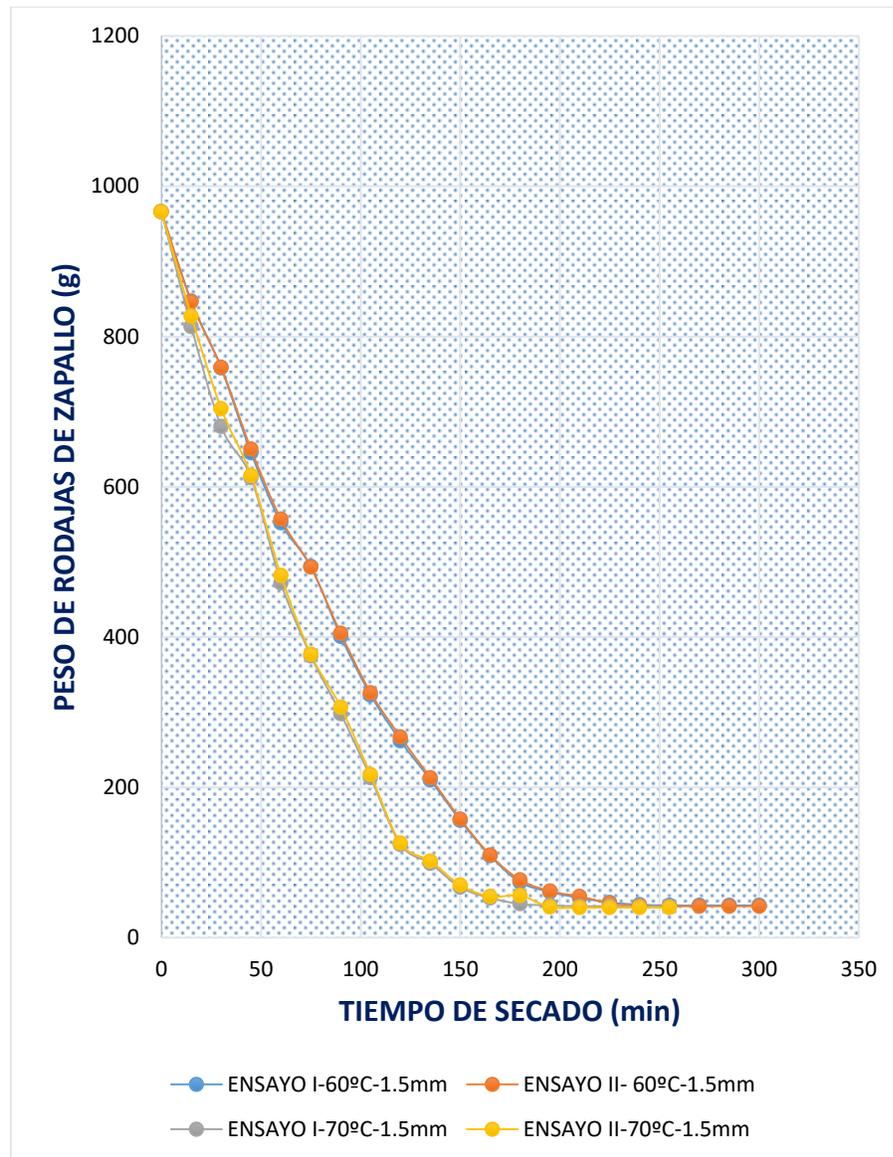
Tabla II- 6 Datos de pérdida de peso a diferentes temperaturas

Tiempo minutos	60°C-1.5mm		70°C-1.5mm	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
0	966	966	966	966
15	847	846	813	827
30	758	759	680	704
45	645	650	612	615
60	552	557	472	482
75	494	493	375	377
90	401	405	298	307
105	323	326	213	217
120	262	267	124	126
135	210	213	99	102
150	156	158	67	70
165	109	110	53	55
180	74	77	45	56
195	61	62	43	41
210	53	55	42	40
225	47	46	42	40
240	44	43	42	40
255	43	42	42	40
270	43	42		
285	43	42		
300	43	42		

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la **Figura II-1** se puede observar las curvas de pérdida de peso de las rodajas de zapallo para temperaturas 60°C-70°C y un mismo espesor de 1.5mm.

Figura II- 1 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo de espesor 1.5mm
a temperaturas 60°C y 70°C



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la **tabla II-7** se observa la pérdida de peso de las rodajas de zapallo a 60°C y 70°C con un espesor de 3mm; el tiempo que tardó en secar las rodajas de zapallo a temperatura de 60°C es de 6.25 horas y a 70°C tardó 4.75 horas.

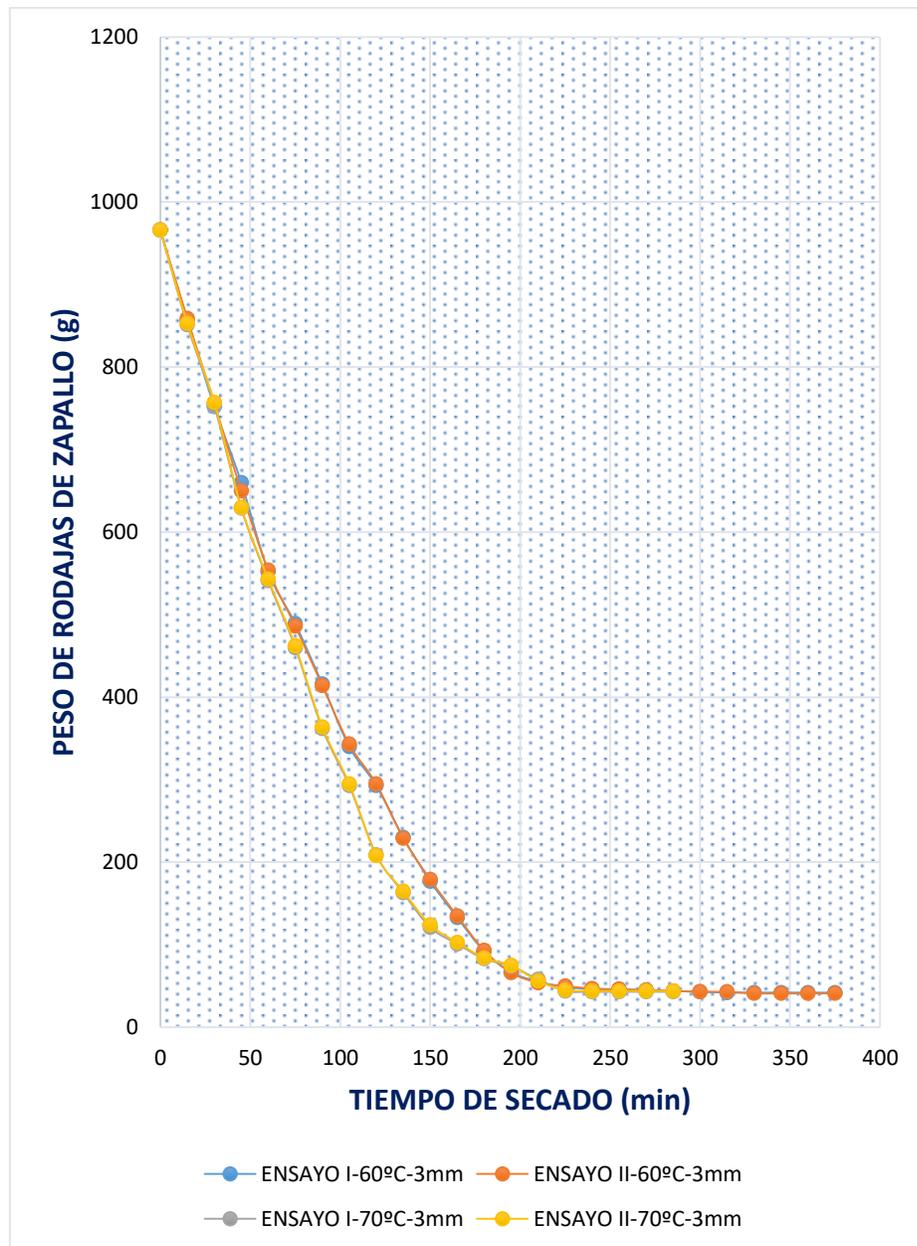
Tabla II- 7 Pérdida de peso en el secado de las rodajas de zapallo a temperaturas de 60°C y 70°C, espesor de 3 mm

Tiempo minutos	60°C-3mm		70°C-3mm	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
0	966	966	966	966
15	857	859	851	853
30	752	756	753	757
45	660	650	629	630
60	552	554	541	543
75	489	486	460	462
90	416	414	362	364
105	340	343	293	295
120	293	295	209	208
135	230	229	163	165
150	177	179	121	124
165	133	135	101	103
180	92	93	83	84
195	67	66	74	75
210	55	54	58	56
225	49	50	44	45
240	46	47	43	44
255	46	46	43	44
270	45	45	43	44
285	44	44	43	44
300	43	43		
315	42	43		
330	42	41		
345	42	41		
360	42	41		
375	42	41		

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la **figura II-2** se puede observar la curva de pérdida de peso de las rodajas del zapallo para temperaturas de 60°C y 70°C con espesores de 3mm.

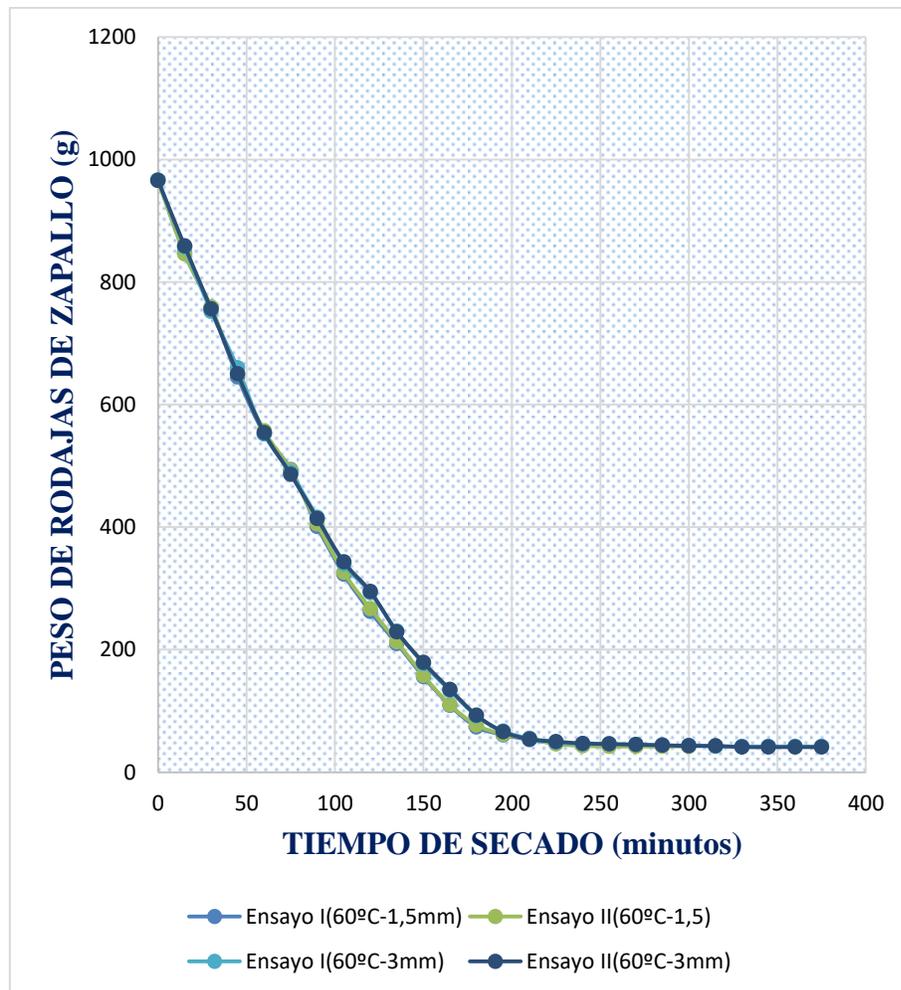
Figura II- 2 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo a temperatura de 60°C y 70°C con espesores de 3mm



Fuente: Elaboración propia, 2016

Las **figuras II-3** y **II-4** muestran una comparación de la pérdida de peso a diferentes espesores de los cuatro ensayos realizados a las temperaturas de 60 y 70°C.

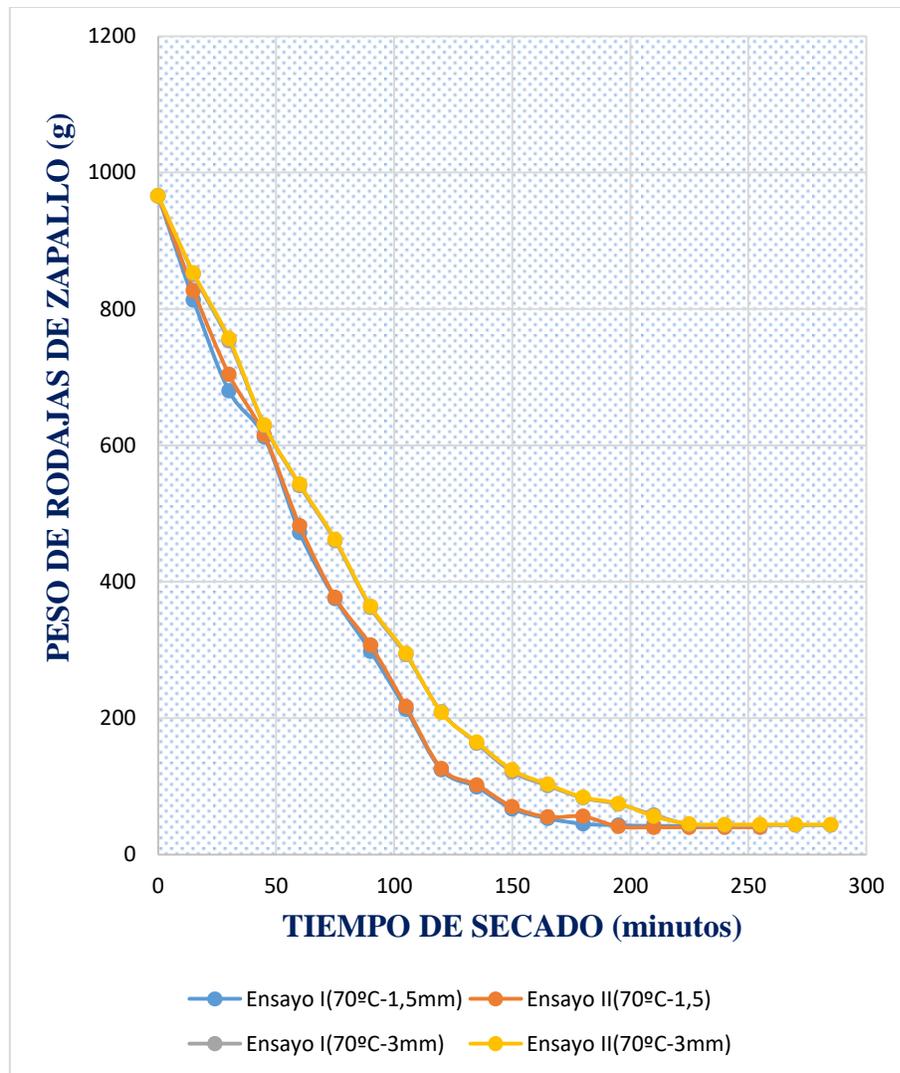
Figura II- 3 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo a temperatura de 60°C y diferentes espesores



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la **figura II-3** se observa que en un tiempo de 0 a 100 minutos las curvas se superponen lo cual indica que en este periodo recién las muestras se están empezando a calentar por lo cual no se evapora rápido el agua presente en las muestras; después de haber pasado este tiempo se nota una leve separación de las curvas lo cual indica que la evaporación ahí es más rápida, finalmente llegando a alcanzar primero un peso constante la curva de secado a 60°C-1.5mm de espesor seguidamente de la otra curva.

Figura II- 4 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo a Temperatura 70°C y a diferentes espesores



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura II-4 ocurre el mismo caso que en la figura II-3, pero con la diferencia que la etapa de calentamiento de la muestra es de 0 a 20 minutos aproximadamente por lo que se demuestra que a mayor temperatura el agua se evapora más rápido; también vuelve a presentarse una superposición de curvas a los 50 minutos y posteriormente se vuelven a separar hasta alcanzar un peso constante.

2.5.1.10 MOLIENDA

Las rodajas de zapallo deshidratado son pre-molidas en un mortero a fin de reducir el tamaño para el ingreso a la boca del molino eléctrico de martillos (puesto que este está diseñado para entrada de granos de pequeños cereales) con la finalidad de evitar el calentamiento del molino; una vez dentro del molino las partículas se rompen por una serie de martillos giratorios acoplados a un disco rotor, obteniéndose un producto completamente pulverizado.

El proceso de molienda consistió en cubrir con una bolsa plástica la boca de salida del molino, para evitar y disminuir que las partículas más finas se dispersen hacia el medio ambiente.

Foto II- 26 Pre-molienda de rodajas de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 27 Molienda de las rodajas de zapallo



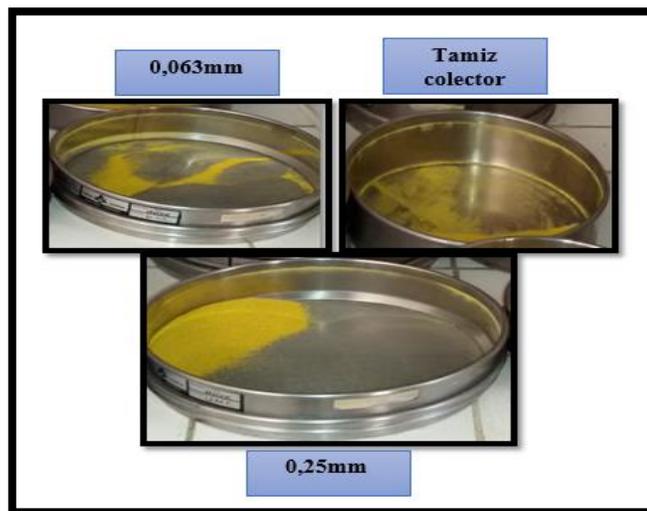
Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.1.11 TAMIZADO

El tamizado se lo realiza en el laboratorio de operaciones unitarias de la Carrera de Ingeniería Química; el tamiz presenta mallas de 5mm; 4mm; 2mm; 1mm; 0.5mm; 0.25mm y 0.063mm, pero de acuerdo a bibliografía consultada; [**CECIBEL LISBETH ALAVA**; *desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos*; Guayaquil-Ecuador; 2007], se trabajó la harina de zapallo con Tamiz N° 70 con granulometría de 0,21mm basándose en la norma de harina de maíz y harina de trigo.

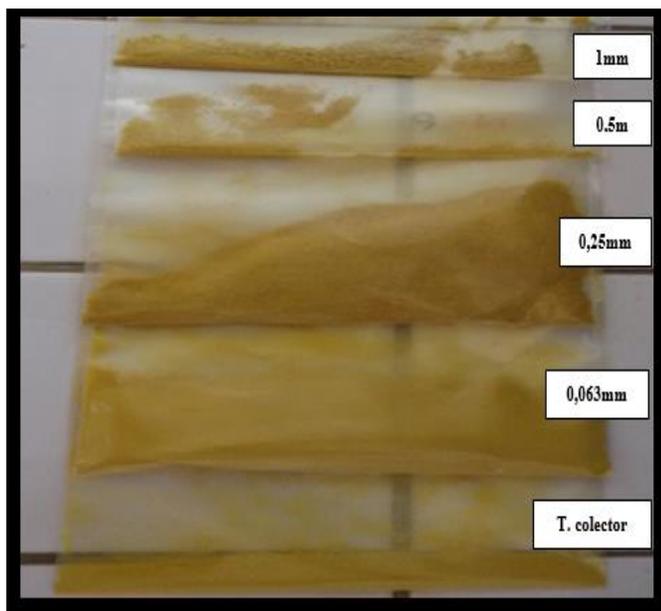
Pero en el laboratorio de operaciones unitarias de la Carrera de Ingeniería Química no se cuenta en el tamiz con la malla de 0,21mm, entonces se optó para trabajar con una malla de 0,25mm cercana a 0,21mm por un tiempo de 10 minutos a una velocidad de 3m/s.

Foto II- 28 Tamizado de la harina de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 29 Clasificación granulométrica de la harina de Zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto II- 30 Envasado de la harina de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.2 AMARANTO

2.5.2.1 RECEPCIÓN

La materia prima “amaranto” es de la especie “caudatus”, la cual posteriormente a su adquisición en el mercado campesino, es almacenada en el laboratorio para su posterior procesamiento.

2.5.2.2 LIMPIEZA

Para el acondicionamiento del Amaranto se procedió a realizar la limpieza de los granos en un tamizador por 10 minutos para separar todas las impurezas presentes, se colocó dos mallas sobrepuestas, en la primera malla quedaron rechazadas las impurezas de mayor tamaño y en la segunda malla se tamizaron las impurezas de menor tamaño y se rechazó el coime, posteriormente las impurezas muy finas (polvo) se eliminó por aireación manual y se almacenó para uso posterior en bolsas de polipropileno.

Foto II- 31 Granos de amaranto libres de impurezas



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.2.3 MOLIENDA

Para moler el grano se realizó la manera manual usando el método con el batán. La molienda por batan es el método tradicional, desmenuzando el grano mediante el uso de 2 piedras, una grande a base (marán) y otra alargada para moler (tunar).

El grano crudo del amaranto es más duro para la molienda que otros granos. Por eso es preferible moler en forma manual el grano.

Por que el método mecanizado mediante molinos de corrientes necesita graduar el espacio entre las piedras para adaptarlo al tamaño del grano.

En esta etapa se tuvo una pérdida del 5%, al realizar la molienda de 414 g de amaranto.

2.5.2.4 TAMIZADO

En esta etapa del tamizado para la harina cruda de amaranto se ingresó 393,3g de harina de amaranto y se tuvo una pérdida de 10%; en la tabla II-8 se muestra el resultado de tamizado.

Tabla II- 8 Tamizado de la harina de amaranto

N° de malla (mm)	Peso de harina amaranto(g)	Porcentaje (%)
1	10,630	3,003
0,5	56,692	16,016
0,25	116,934	33,035
0,063	162,996	46,048
Tamiz colector	6,715	1,897
total	353,970	
pérdida	39,330	

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla II-8 se puede observar que pasó un 46,048% de harina de amaranto por el tamiz 0,25mm reteniéndose un 162,996 g en el tamiz 0,063mm.

2.5.3 HARINA COMPUESTA

Para determinar la cantidad adecuada para realizar el mezclado de harina de amaranto y la harina de zapallo se realizó previamente un balance de materia en función a la proteína digerible que presentan ambas harinas, tomando en cuenta datos bibliográficos consultados en el capítulo I, respecto al porcentaje de digestibilidad que presentan ambas harinas y la proporción adecuada de harina de amaranto para enriquecimiento a otras harinas.

Según bibliografía consultada, el porcentaje adecuado y máximo de incremento de harina de amaranto a otras harinas como suplemento alimenticio es del 25-30%, porque solo mejora el déficit de algún elemento de valor nutricional, logrando así una harina compuesta mejorada con mayor valor nutricional que lo que hubiese tenido solo la presencia de una harina; además, la harina principal debe encontrarse presente en mayor proporción que una harina de suplemento alimenticio. [Karen Garay M., Adriana Medrano C., Sheyla Naranjo T.; Proyecto de producción y comercialización de harina de zapallo enriquecida con quinua; Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2007].

La digestibilidad del grano de amaranto según bibliografía consultada es del 93%, una muy buena digestibilidad que se aproxima a la caseína de la leche, (RENATE KIETZ, Pág. 54) y la harina de zapallo presenta una digestibilidad de proteína de 38,51% (Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, *metodología para la determinación de la digestibilidad de materias primas no convencionales*, 2011).

En la **tabla II-9** se encuentra datos bibliográficos de porcentaje de proteína digerible que tienen ambas harinas, gramos de proteína bruta y las proporciones de harinas para determinar la adecuada combinación.

Tabla II- 9 Datos bibliográficos para determinar la mezcla adecuada de harinas mediante un balance de materia en función de su proteína digerible

Harina	P.B (g)	P.D (%)	PROPORCIÓN DE HARINAS		
			PD _{HC} (g/100g H.C)		
Zapallo	14.06g/100g	38,51	10% H.A 90% H.Z	20% H.A 80% H.Z	30% H.A 70% H.Z
Amaranto	16,42g/100g	93			

Fuente: Elaboración propia, 2016

(H.Z: Harina de zapallo; H.A: harina de amaranto; H.C: harina compuesta).

(PD: proteína digerible; PB: proteína bruta; PD_{HC}: proteína digerible en la harina compuesta).

Balance de materia para determinar la proporción adecuada de mezclado de harinas

Para determinar la proporción adecuada de mezclado de las harinas de zapallo y de amaranto, se realizó un balance de materia con los datos bibliográficos presentados en la **Tabla II-9** para determinar qué proporciones de mezclado presentan mayor porcentaje de proteína digerible presente en la harina compuesta, lo que se pretende

con esto es mejorar la calidad de proteína que presenta la harina de zapallo e incorporar un aminoácido con contenido importante de lisina, aminoácido esencial en la alimentación humana, que comúnmente es más limitante en otros cereales deferentes al grano de amaranto.

Balance general:

$$M_{H.C} = M_{H.A} + M_{H.Z} \quad \text{Ec. II - 1}$$

Balance parcial en función a la composición proteína digerible

$$M_{H.C} * X_{PDHC} = M_{H.A} * X_{PDHA} + M_{H.Z} * X_{PDHZ} \quad \text{Ec. II - 2}$$

$$X_{PDHC} = \frac{M_{H.A} * X_{PDHA} + M_{H.Z} * X_{PDHZ}}{M_{H.C}} \quad \text{Ec. II - 3}$$

Donde:

$M_{H.Z}$ = masa de harina de zapallo (g)

$M_{H.A}$ = masa de harina de amaranto (g)

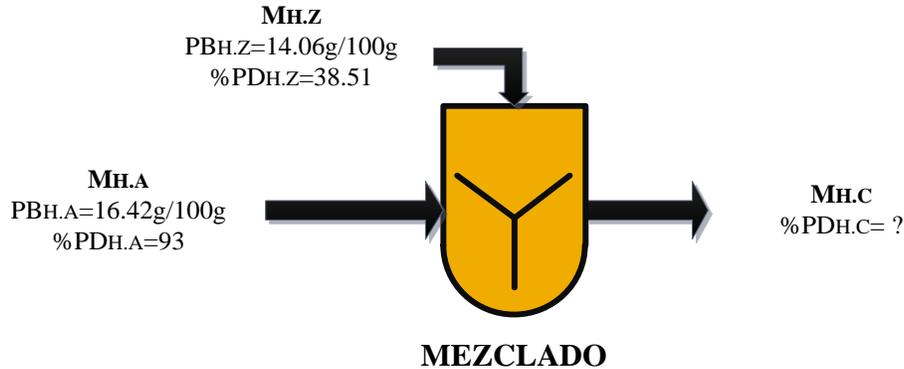
$M_{H.C}$ = masa de harina compuesta (g)

$X_{PDH.Z}$ = Composición de la proteína digerible de la harina de zapallo

$X_{PDH.A}$ = Composición de la proteína digerible de la harina de zapallo

$X_{PDH.C}$ = Composición de la proteína digerible de la harina de zapallo

Representación gráfica de las corrientes de entrada y salida en la etapa de mezclado



$$M_{H.C} * X_{PDHC} = M_{H.A} * X_{PDHA} + M_{H.Z} * X_{PDHZ}$$

Previo al cálculo de la Composición de la proteína digerible de la harina compuesta con la **Ec. II-3**, se calcula la composición de proteína digerible en la harina de zapallo y en la harina de amaranto con la **Ec. II-4** y **Ec. II-5**.

$$X_{PDHZ} = X_{PBHZ} * \frac{\%PD_{HZ}}{100} \quad \text{Ec. II - 4}$$

$$X_{PDHZ} = 0.141 * \frac{38.51}{100}$$

$$X_{PDHZ} = 0.054$$

$$X_{PDHA} = X_{PBHA} * \frac{\%PD_{HA}}{100} \quad \text{Ec. II - 5}$$

$$X_{PDHA} = 0.164 * \frac{93}{100}$$

$$X_{PDHA} = 0.153$$

Donde:

$\%PD_{HZ}$ = Porcentaje de proteína digerible en la harina de zapallo

$\%PD_{HA}$ =Porcentaje de proteína digerible en la harina de amaranto

X_{PBHZ} =Composición de proteína bruta en la harina de zapallo

X_{PBHA} =Composición de proteína bruta en la harina de amaranto

Finalmente se realizó el cálculo de la composición de proteína digerible de la harina compuesta con la **Ec. II-3**; este cálculo se realizó a tres diferentes proporciones de mezclado de ambas harinas para formar una harina compuesta de 100 gramos como se muestra en la tabla II-9.

- **Mezclado : 10% harina amaranto - 90% harina de zapallo**

$$X_{PDHC} = \frac{10g * 0.153 + 90g * 0.054}{100g} = 0.064$$

$$\%PD_{HC} = 6.4$$

- **Mezclado : 20% harina amaranto - 80% harina de zapallo**

$$X_{PDHC} = \frac{20g * 0.153 + 80g * 0.054}{100g} = 0.074$$

$$\%PD_{HC} = 7.38$$

- **Mezclado : 30% harina amaranto - 70% harina de zapallo**

$$X_{PDHC} = \frac{30g * 0.153 + 70g * 0.054}{100g} = 0.084$$

$$\%PD_{HC} = 8.37$$

Según los porcentajes de harinas mezcladas el que incrementa mayor porcentaje de

proteína digerible en la harina compuesta es la de 30% de harina de amaranto y 70% de harina de zapallo; además, según datos bibliográficos el porcentaje adecuado de harina de amaranto es de 30%, es por ello que se trabajara con dicho porcentaje de mezcla.

Según datos bibliográficos, la harina de zapallo no presenta una gran diferencia de proteína bruta con respecto a la harina de amaranto, pero su importancia en enriquecimiento a la harina de zapallo con harina de amaranto radica en mejorar la calidad de proteína digerible de la harina de zapallo; su importancia no radica en la cantidad sino en la calidad de la misma con un excelente balance de aminoácidos.

2.5.3.1 MEZCLADO

El mezclado se realizó con un 30% de harina de amaranto y 70% de harina zapallo; en esta etapa el mezclado se realiza lo más homogénea posible, utilizando un agitador manual de cocina.

Foto II- 32 Empaques de harina de zapallo-harina de amaranto



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.5.3.2 ENVASADO

El envase es muy importante en la conservación de alimentos y se debe tomar en cuenta para ello, la naturaleza del producto a conservar de acuerdo a su proceso de elaboración.

Para seleccionar la forma adecuada el tipo de envase que reúna las condiciones aceptables para su uso se asumieron los siguientes criterios:

- El envase seleccionado debe ser compatible con el producto en cuestión, garantizando que el mismo no aporte aromas ni malos olores al producto.
- La sensibilidad del producto debe ser evaluada tomando en cuenta los cambios o alteraciones referidas a las cualidades del mismo como son la humedad, grasa.
- Las bolsas de polipropileno suelen ser muy vistas también para guardar alimentos que necesitan mantenerse a determinadas temperaturas.

El proceso de envasado se realizó colocando las muestras de harina compuesta de zapallo-amaranto manualmente en bolsas de polipropileno con cierre hermético para que pueda mantener sus propiedades organolépticas tales como; color, sabor y aroma por largo tiempo.

2.5.3.3 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.

Foto II- 33 Producto final de la harina compuesta de zapallo-amaranto



Fuente: Elaboración propia, 2016

2.7 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LLEGAR AL RESULTADO ESPERADO DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología utilizada para encontrar los resultados experimentales en el presente trabajo de investigación, se detallan a continuación:

2.7.1 CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS DE LA MATERIA PRIMA “ZAPALLO”

Las características externas que se consideró:

- Coloración del epicarpio
- Aspecto del epicarpio

Las características internas que se consideró:

- Coloración de la pulpa
- Aspecto
- Semillas

2.7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA “ZAPALLO”

Se realizó las siguientes características físicas:

- Peso (g)
- Altura (cm)
- Diámetro (cm)
- Composición comestible
- Composición no-comestible

2.7.3 EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DEFINIR LA HARINA DE ZAPALLO QUE MEJORES ATRIBUTOS PRESENTEN AL COMBINARSE CON HARINA DE AMARANTO

Para definir la muestra de zapallo deshidratada (Harina de zapallo), que presente mejores atributos al combinarse con la harina de amaranto, se realizó una evaluación sensorial de escala hedónica, compuesta por 16 jueces no entrenados que evaluaron los atributos de color, olor, textura y sabor de la harina compuesta de zapallo y amaranto.

Tabla II- 10 Muestras de harina de zapallo y amaranto

Muestras	Harina de zapallo	Harina de amaranto
	70g/100g	30g/100g
1	Temperatura 60°C-espesor 1.5mm	Harina de amaranto
2	Temperatura 70°C-espesor 1.5mm	Harina de amaranto
3	Temperatura 60°C-espesor 3mm	Harina de amaranto
4	Temperatura 70°C-espesor 3mm	Harina de amaranto

Fuente: Elaboración propia, 2016

2.7.4 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA ZAPALLO (FRESCO), HARINA DE ZAPALLO, AMARANTO Y COMPUESTA.

La determinación de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima se realizaron en el centro de análisis investigación y desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Los parámetros a analizar fueron los que se detallan en la tabla: II-11.

Tabla II- 11 Propiedades fisicoquímicas en la harina: zapallo, amaranto y compuesta

parámetro	método de ensayo	unidad
Acidez	NB 36002:02	%
Calcio total	Absorción atómica	mg/100g
Cenizas	NB 39034:10	%
Fibra	Gravimétrico	%
Materia grasa	NB 313019:06	%
Hierro total	Absorción atómica	mg/100g
Humedad	NB 313010:05	%
Hidratos de carbono	Calculo	%
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Valor energético	Calculo	Kcal/100g

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la harina compuesta se añadió realizar un análisis de gluten húmedo para demostrar que la harina compuesta no presenta gluten.

2.7.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA HARINA DE ZAPALLO Y HARINA COMPUESTA

El análisis microbiológico de la harina de zapallo y compuesta se realizó en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Los parámetros a analizar fueron los que se detallan en la tabla II-12:

Tabla II- 12 Propiedades microbiológicas en la harina de zapallo y en la harina compuesta

parámetro	método de ensayo	unidad
Coliformes totales	NB 32005:02	Ufc/g
Mohos y levaduras	NB 32006:03	Ufc/g

Fuente: Elaboración propia, 2016

2.7.6 CUANTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDO LISINA PRESENTE EN LAS HARINAS DE: ZAPALLO, AMARANTO Y COMPUESTA.

La cuantificación de aminoácido se realizó en las harinas de zapallo, amaranto y harina compuesta, lo cual tuvo lugar en el Centro de Investigación y Desarrollo (CEANID).

2.7.7 EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DEL PRODUCTO FINAL.

Para las propiedades organolépticas del producto final, se realizó una evaluación sensorial en escala hedónica, compuesta por 12 jueces no entrenados que evaluaron los atributos de color, olor, textura y sabor.

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

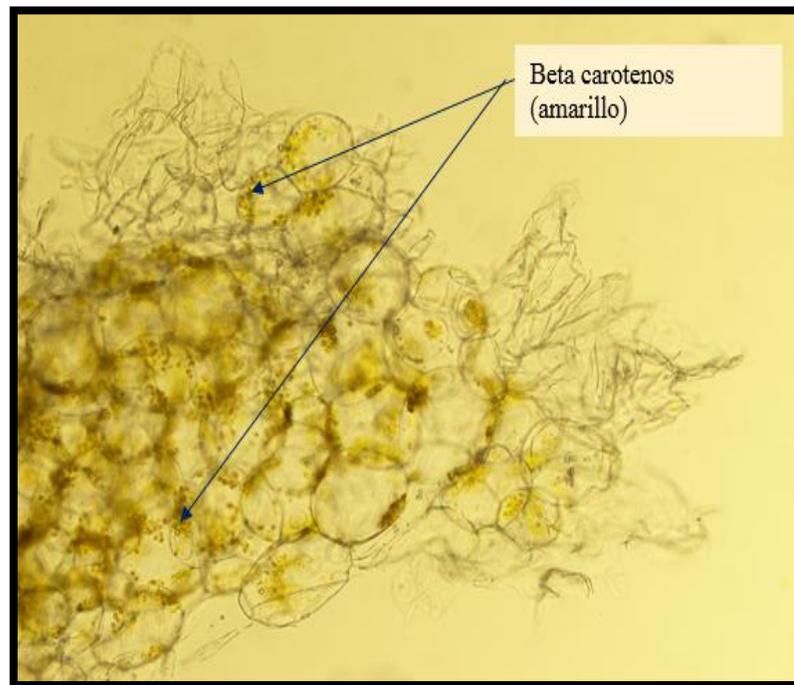
3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos de toda la parte experimental realizada en el capítulo II.

3.2 ESTUDIO MORFOLÓGICO EN EL ZAPALLO Y DE LA ESTRUCTURA DEL FRUTO EN EL AMARANTO

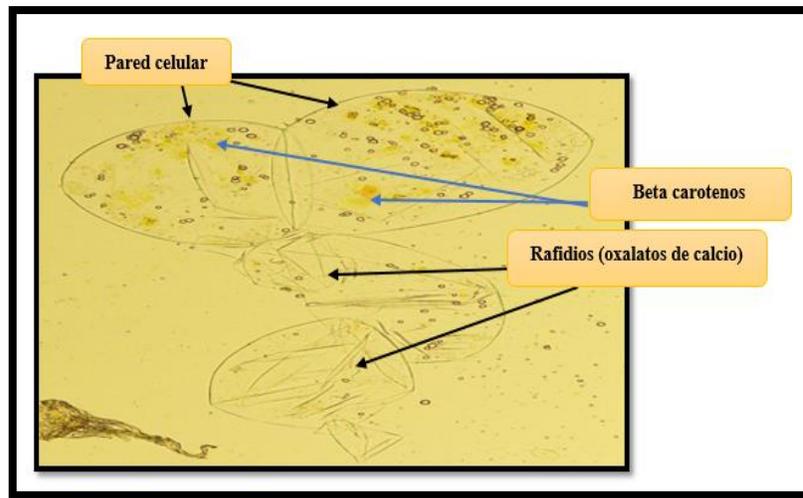
De acuerdo al desarrollo de la práctica respecto al estudio morfológico de la pulpa de zapallo se pudo lograr observar con el microscopio los betas carotenos que se encuentran en las células que conforman el tejido parenquimático. Los resultados se pueden observar en las siguientes fotografías:

Foto III- 1 Tejido Parenquimático del mesocarpio del zapallo



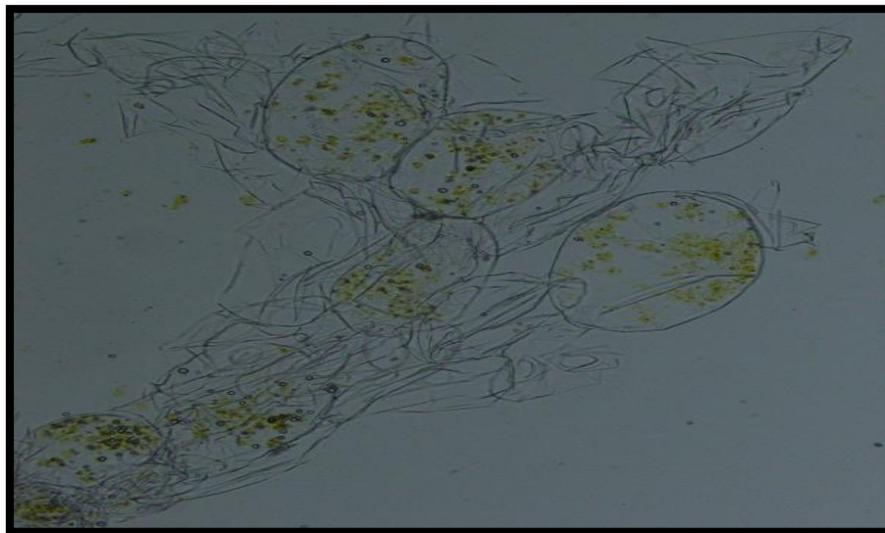
Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar) ,2016

Foto III- 2 Dos células unidas presentes en el mesocarpio del zapallo



Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar), 2016

Foto III- 3 Células presentes en el tejido parenquimático del mesocarpio del zapallo



Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar), 2016

En el estudio realizado a la estructura del grano de amaranto se comprendió y observó la diferencia que existe entre fruto y semilla de amaranto. Los resultados se puede observar en las siguientes fotografías:

Foto III- 4 Granos de amaranto



Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar), 2016

Foto III- 5 Separación de la semilla del fruto del amaranto



Fuente: Elaboración propia (laboratorio agronomía-Tejar), 2016

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA “ZAPALLO”

3.3.1 CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS

Para establecer la caracterización de la materia prima, en la parte experimental del trabajo, se consideró trabajar con zapallo de especie criolla; de acuerdo a las observaciones externas e internas a los zapallos se encontraron diferencias entre los tres tipos de zapallo como se presenta en la tabla III-1 y tabla III-2:

Tabla III- 1 Características externas de los tres tipos de zapallo

Tipo de zapallo	Coloración epicarpio	Aspecto del epicarpio	Observaciones
Tierno	Verde	Suave	Fácil de pelar y cortar manualmente.
Semi-maduro	Verde con pigmentos amarillos	Ligeramente suave	Aun fácil de pelar y cortar manualmente.
Maduro	Poco pigmento verde, en su mayoría pigmentos amarillos	Dura	Muy difícil de manipular el pelado.

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla III-1 se puede observar las diferencias que existe entre el tipo de zapallo, pero el que presenta aspectos favorables para una mejor manipulación en la etapa de pelado del epicarpio manualmente es el zapallo de tipo semi-maduro.

En la tabla III-2 se establecen las diferencias existentes en la coloración que presentan las pulpas de zapallo según el tipo de zapallo, lo cual favorece en gran medida para obtener una muestra deshidratada de mejor apariencia.

Tabla III- 2 Características internas de los tres tipos de zapallo

Tipo de zapallo	Pulpa			Semilla
	Coloración	Aspecto	°Brix	
Tierno	Amarillo patito	Muy jugoso	4,3	Color crema, con humedad recubierta con filamento de pulpa.
Semi-maduro	Anaranjado suave	jugoso	5,2	Color amarillo, con humedad recubierta con filamento de pulpa.
Maduro	Anaranjado pardeado	Poco jugoso	6,3	Color marrón poco intenso, con poca humedad recubierta con filamento de pulpa.

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.3.2 CARÁCTERÍSTICAS FÍSICAS

Para establecer las propiedades físicas de la materia prima, en la parte experimental del trabajo se han tomado 10 muestras de zapallo.

El promedio de los resultados es la suma de todos los valores observados (peso, altura, diámetro, porción no utilizada y porción utilizada) dividido por el número de observaciones.

En la tabla III-3 se muestran las propiedades físicas del zapallo “cucúrbita máxima”, obtenidas en la caracterización de la materia prima:

Tabla III- 3 Características físicas del zapallo “cucúrbita máxima”

Muestras	Peso zapallo (g)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Porción No utilizada (%)	Porción Utilizada (%)
1	6560	33	36	46,8	53,2
2	6170	30	33	58,7	41,3
3	6906	35	46	62,8	37,2
4	5987	38	30	52,4	47,6
5	6749	32	46	47,5	52,5
6	6462	34	35	55,5	44,5
7	5605	29	29	41,9	58,1
8	6487	34	44	63,7	36,3
9	6600	31	45	40,9	59,1
10	7032	36	46	65,8	34,2
Promedio	6455,8	33,2	39	53,6	46,4

Fuente: Elaboración propia, 2016

3.4 SECADO

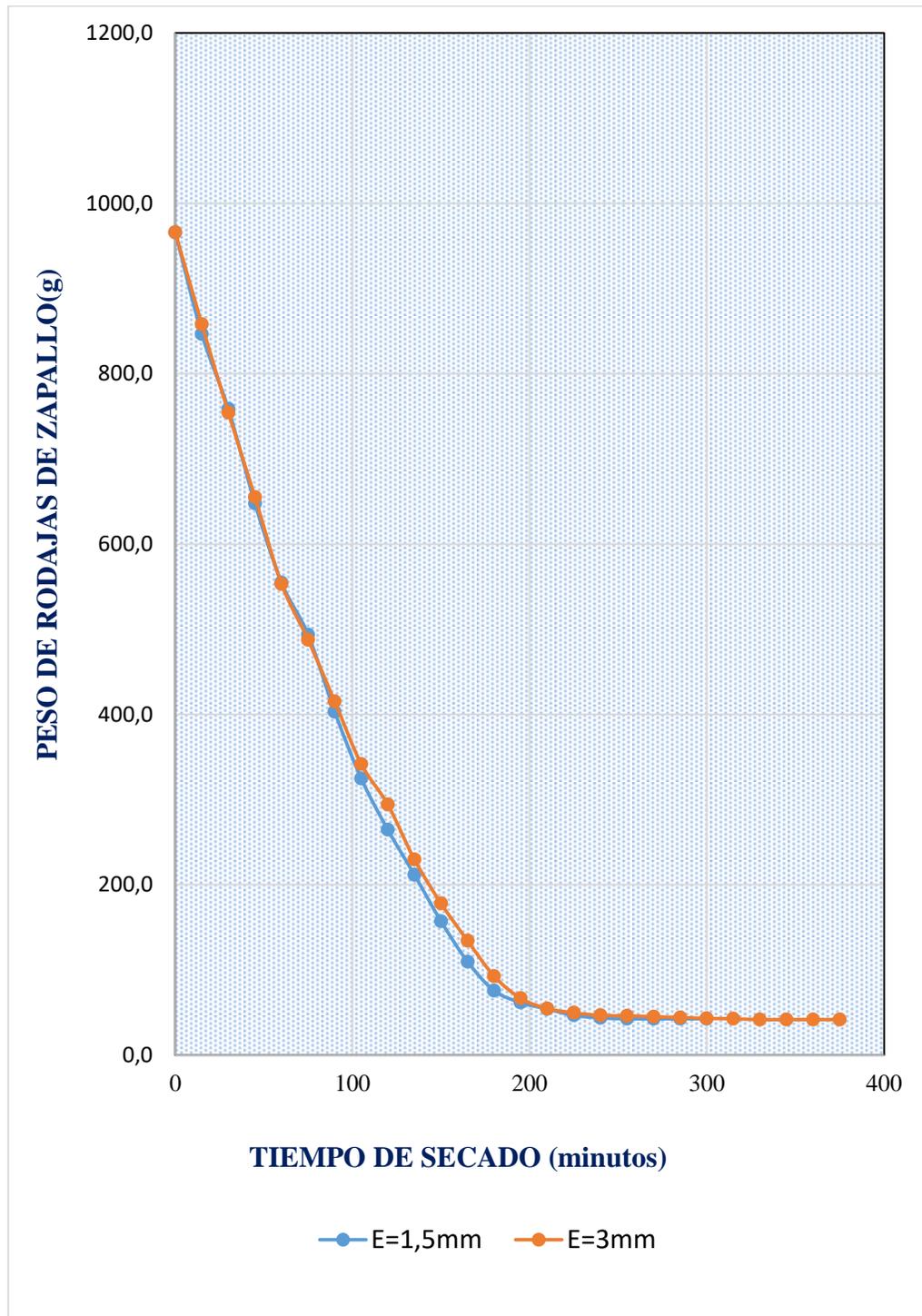
En el análisis de la pérdida de peso del zapallo a diferentes espesores y temperaturas, tal como se muestra en las figuras II-1 y II-2 de la sección 2.5.1.9.1 , se observa que en las repeticiones experimentales a 60°C con espesores de 1,5 y 3mm y a 70°C con 1,5 y 3mm de espesor respectivamente(ver tabla II-6 y II-7), por lo que en las repeticiones realizadas, los resultados del ensayo I son bastante similares a las del ensayo II, razón por la cual las curvas de secado resultantes se superponen; esto demuestra la reproducibilidad de los datos y se corrobora que cuando se llevan adelante ensayos en las mismas condiciones, existe correlación en los resultados.

En la tabla III-4 se muestra los datos de pérdida de peso del promedio de los dos ensayos realizados (sección 2.5.1.9.1) a las temperaturas y espesores determinados en el diseño factorial.

Tabla III- 4 Promedio de pérdida de peso en el secado de zapallo

Tiempo (min)	T=60°C		T=70°C	
	E=3mm Promedio (g)	E=1.5mm Promedio(g)	E=3mm promedio(g)	E=1.5mm Promedio (g)
0	966	966	966	966
15	858	846,5	852	820
30	754	758,5	755	692
45	655	647,5	629,5	613,5
60	553	554,5	542	477
75	487,5	493,5	461	376
90	415	403	363	302,5
105	341,5	324,5	294	215
120	294	264,5	208,5	125
135	229,5	211,5	164	100,5
150	178	157	122,5	68,5
165	134	109,5	102	54
180	92,5	75,5	83,5	50,5
195	66,5	61,5	74,5	42
210	54,5	54	57	41
225	49,5	46,5	44,5	41
240	46,5	43,5	43,5	41
255	46	42,5	43,5	41
270	45	42,5	43,5	
285	44	42,5	43,5	
300	43	42,5		
315	42,5			
330	41,5			
345	41,5			
360	41,5			
375	41,5			

Fuente: Elaboración propia, 2016

Figura III- 1 Pérdida de peso del zapallo a 60°C y diferentes espesores

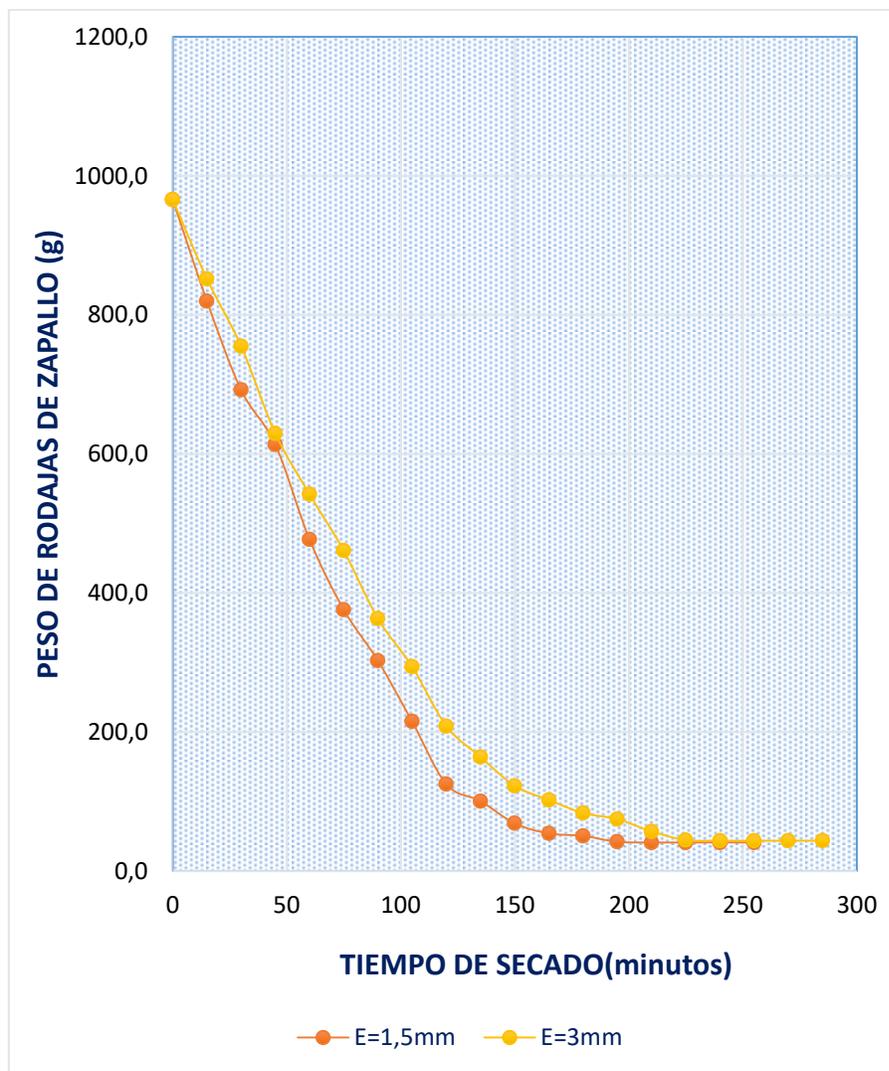
Fuente: Elaboración propia, 2016

Si comparamos las curvas que operan a dos diferentes espesores como se muestra en la figura III-1, se puede apreciar que en el transcurso del inicio del secado hasta 60 minutos las curvas de pérdida de peso disminuyen linealmente con el tiempo de secado formando una sola pendiente recta donde la velocidad de secado permanece constante, procediendo que se está eliminando el agua libre que se encuentra en la muestra, que es exceso de humedad que tiene el zapallo en la superficie la cual es más fácil de eliminar; después de este tiempo las curvas se separan de manera no tan notable hasta los 100 minutos posteriormente proporcionando distintas velocidades de secado de acuerdo al comportamiento que tienen cada muestra con relación a sus espesores.

La curva de 1,5mm de espesor de la muestra va alcanzando, mayor pendiente proporcionando así una mayor velocidad de secado que la de 3mm; mientras más pequeño sea el espesor de la muestra el tiempo de secado será más rápido por lo que reduce la distancia que el calor tiene que recorrer hacia el centro a fin de llegar a la superficie y escaparse en forma de vapor de agua, o más conocido como evaporación del agua; por lo que se observa, es mejor trabajar con espesores pequeños a fin de acelerar la velocidad de secado, tratando así de exponer una mayor área superficial con lo que se facilitaría la transferencia de masa y calor.

El espesor de la muestra influye considerablemente en el tiempo de secado, la muestra de zapallo deshidratada de 1,5mm de espesor tardó en secar 300 minutos y con 3mm de espesor tardó en secar 375 minutos, lo cual nos da una diferencia de 75 minutos lo que significa un gasto innecesario de energía. Además de esto se observa que a 3mm de espesor de zapallo se va endureciendo a medida que pasa el tiempo, debido a que la transferencia de calor está concentrada en el centro de la muestra lo que tarda más en secar.

Figura III- 2 Pérdida de peso del zapallo a 70°C y a diferentes espesores



Fuente: elaboración propia, 2016

En esta figura III-2 se observa que en el tiempo que se inicia el secado hasta los 45 minutos se produce diferentes velocidades de secado; después de este tiempo las dos curvas se separan nuevamente obteniendo cada curva una distinta velocidad de secado, la de 1,5mm tienen una velocidad de secado más rápida que la de 3mm de espesor.

Se considera que la temperatura influye en el tiempo de secado y en la velocidad de la

misma, sin embargo se puede producir la formación de endurecimiento (costras) y la reducción del volumen del producto por lo que al momento de retirar el zapallo seco de la bandeja se observa que en el centro de algunas muestras permanece húmeda.

El espesor de la muestra influye considerablemente en el tiempo de secado, la muestra de zapallo deshidratada de 1,5mm de espesor tardó en secar 255 minutos y con 3mm de espesor tardo en secar 285minutos, lo cual nos da una diferencia de 30 minutos que significa un gasto innecesario de energía.

El espesor de la muestra y la superficie de la bandeja influyen en el tiempo de secado, porque para un misma cantidad de masa las muestras que se colocaron en bandejas de mayor superficie y menor espesor secaron más rápido que las muestras colocadas en bandejas de menor superficie y mayor espesor porque se puede eliminar la humedad más fácilmente cuando hay mayor superficie de contacto y menor espesor, otra de las razones es que el espesor más delgado reduce la distancia en que el calor tiene que recorrer hasta el centro de la muestra a fin de llegar a la superficie y evaporarse.

Se ha observado que durante el secado de zapallo a la temperatura de 70°C manifiesta cambios físicos y químicos en la superficie de la muestra a secar que conducen a la formación de una capa superficial dura e impenetrable lo cual produce la velocidad de deshidratación y da lugar a que las muestras de zapallo se encuentren secas en la superficie y húmedas en su interior.

La profundidad que alcanza el calor debe ser mínima para que alcance la penetración del calor hacia el zapallo, se llama la capacidad conductora de calor del zapallo. Cuando más alta es la capacidad conductora más rápido y homogéneo es el secado de la misma.

Por esta razón las rodajas de zapallo tienen que estar bien esparcidas y proporcionalmente en la bandeja. Por esto es que la altura o espesor óptimo para el secado del zapallo es de 1,5mm; de lo contrario, se produce un secado incompleto, tiempos de medición largos con 3mm de espesor y cuando es a mayores espesores produce encostramiento, calcinaciones y resultados de análisis no reproducibles.

Mediante poco encostramiento, o bien, sin pérdida de humedad durante el proceso de secado, debido a que el espesor es pequeño, la evaporación del agua es más rápida a mayor superficie.

A consecuencia de estas pruebas realizadas se puede llegar a decir que no se puede trabajar a temperaturas elevadas como 70°C ya que provoca la desnaturalización de las proteínas que tienen la misma, además que no se puede trabajar a un espesor de la muestra de 3mm por lo que dificulta la eliminación del agua y tampoco a espesores más pequeños que 1,5mm porque provoca endurecimiento en la muestra formando costras en las mismas y dificultando el levantamiento de rodajas de zapallo deshidratadas.

3.4.1 OBSERVACIONES EN LA PRUEBA DE SECADO

Durante el secado del zapallo se produjeron diversos cambios físicos y químicos. Uno de los cambios físicos importantes es la variación del volumen que experimenta la materia prima en el proceso de secado por convección forzada. En el momento del secado sufre contracción de su masa lo cual varía su forma e influye mucho en su dureza, esta dureza es más notoria en el secado a 70°C de temperatura. La contracción que se tiene en el secado no es perfectamente homogénea, al principio del secado, el zapallo mantiene su geometría original en la bandeja; conforme avanza el tiempo de secado la contracción va siendo acompañada por deformaciones, lo cual influye en el volumen de la muestra.

Foto III- 6 Muestra de zapallo previo al secado



Fuente: Elaboración propia, 2016

Foto III- 7 Muestra de zapallo después del secado



Fuente: Elaboración propia, 2016

En las pruebas que se realizaron se obtuvieron distintos resultados con las distintas temperaturas de 60°C y 70°C; se advirtió que durante el secado del zapallo a mayor temperatura el tiempo de secado es más rápido, la eliminación del agua es más rápido que a la temperatura de 60°C.

Textura

La textura de los productos secados es un factor importante en la aceptación y

rechazo de estos alimentos. La temperatura de secado tiene un efecto significativo sobre la textura.

En este caso en el secado del zapallo, al trabajar con dos temperaturas de operación de secado (60°C y 70°C), se notaron que existe diferencias; a 60°C de temperatura se observó que la textura es consistente, se puede retirar fácilmente de la bandeja, sin que haya pérdidas y no genera costras; en cambio, a mayor temperatura (70°C) se generó la formación de costras en la parte inferior y superior del zapallo seco, haciendo más difícil retirarlo de las bandejas generando pérdidas en una mínima proporción, lo cual vendría a ser muy significativo en cantidades más grandes y la textura sea quebradiza.

Color

Uno de los principales problemas que se presenta durante el secado es el pardeamiento enzimático que se produce por la oxidación de los beta-carotenoides, formando pigmentos amarrados, que deprecian el producto.

El color que presenta las muestras de menor temperatura es de anaranjado claro, en cambio el de mayor temperatura presenta un color más oscuro, aunque esto también se ve afectado en gran medida por el color inicial que presenta la pulpa de zapallo, como se presentó en la Tabla III- 2; con temperatura elevada y el tipo de zapallo utilizado se ve más incrementado el pardeamiento enzimático lo que provoca la desnaturalización de la proteína y caramelizarían de los azúcares.

Esto quiere decir que el producto más aceptable o más apto para el consumo es el de 60°C de temperatura, porque conserva mayor cantidad de proteínas, ya que el zapallo presenta azúcar y esta puede producir durante el secado una formación de costra que impermeabiliza la superficie haciendo más difícil la penetración del calor hacia la muestra.

3.4.2 HUMEDAD DEL ZAPALLO

Para realizar el cálculo de la humedad que presenta el zapallo se realiza la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad} = \frac{m_i - SS}{m_i} * 100\% \quad \text{Ec. III - 1}$$

Donde:

SS=Sólido seco

m_i =Masa inicial

Por ejemplo:

Para $T=60^\circ\text{C}$ y $E= 3\text{mm}$, se tiene:

SS=41,5g

$m_i =966$ para $t=0$

$$\text{Humedad} = \frac{966 - 41,5}{966} * 100\% = 95,704\%$$

En la tabla III-5 se presenta el cálculo de porcentaje de humedad que nos indica la humedad inicial que presentan las muestras de zapallo previo al secado y la humedad que tiene al final del mismo.

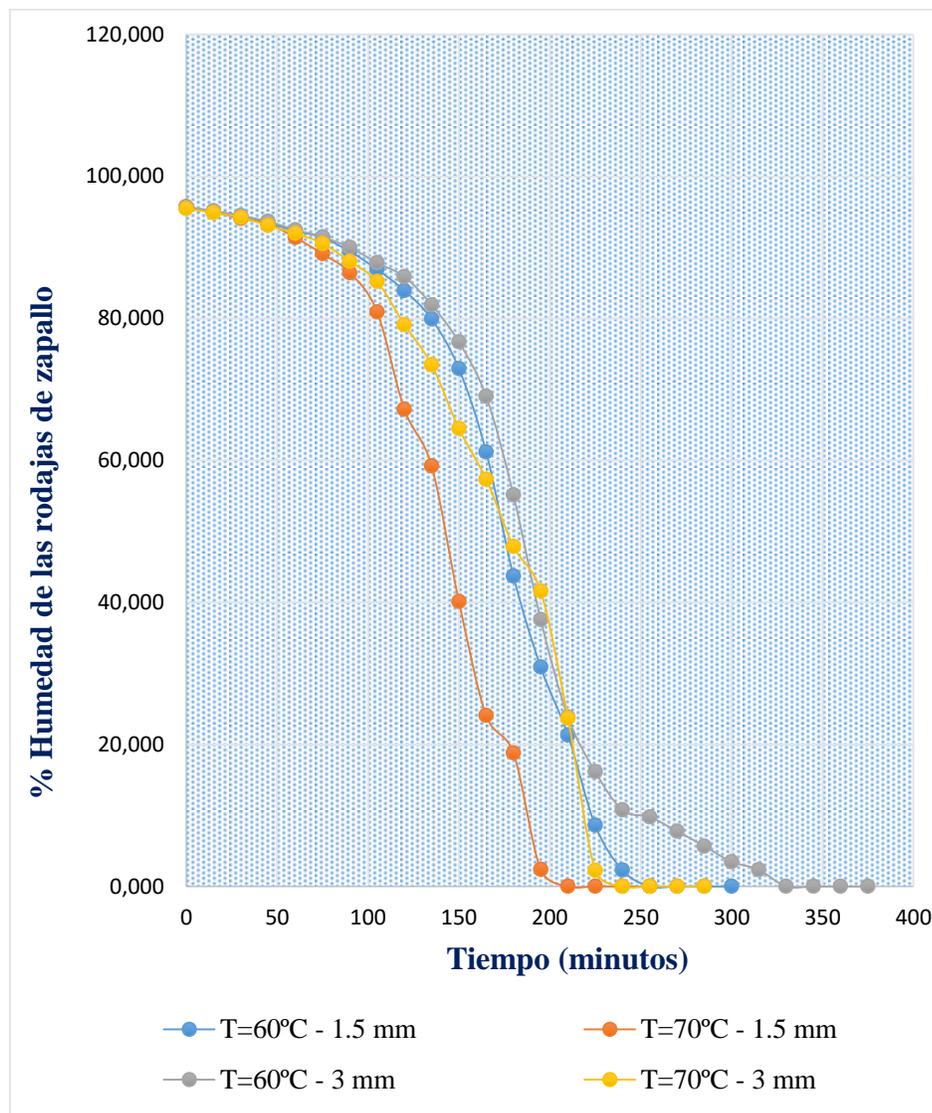
Tabla III- 5 Porcentaje de humedad del zapallo

Tiempo (min)	T=60°C		T=70°C	
	E=3mm (%)H	E=1.5mm (%) H	E=3mm (%) H	E=1.5mm (%) H
0	95,704	95,600	95,497	95,756
15	95,163	94,979	94,894	95
30	94,496	94,397	94,238	94,075
45	93,664	93,436	93,090	93,317
60	92,495	92,335	91,974	91,405
75	91,487	91,388	90,564	89,096
90	90,000	89,454	88,017	86,446
105	87,848	86,903	85,204	80,93
120	85,884	83,932	79,137	67,2
135	81,917	79,905	73,476	59,204
150	76,685	72,93	64,49	40,146
165	69,03	61,187	57,353	24,074
180	55,135	43,709	47,904	18,812
195	37,594	30,894	41,611	2,381

Tiempo (min)	T=60°C		T=70°C	
	E=3mm	E=1.5mm	E=3mm	E=1.5mm
	(%)H	(%) H	(%) H	(%) H
210	23,853	21,296	23,684	0
225	16,162	8,602	2,247	0
240	10,753	2,299	0	0
255	9,783	0	0	0
270	7,778	0	0	
285	5,682	0	0	
300	2,353	0		
315	2,353			
330	0			
345	0			
360	0			
375	0			

Fuente: Elaboración propia, 2016

Figura III- 3 Porcentaje de humedad durante el secado del zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

En esta figura se observa que la humedad de la muestra va disminuyendo conforme se va secando el zapallo hasta alcanzar un equilibrio donde ya no puede perder más humedad de la que contiene la muestra; esta es la humedad de equilibrio, las cuatro curvas son similares desde el inicio de secado hasta los 75 minutos.

Los datos de humedad inicial y humedad final que tiene cada prueba se puede ver en la tabla III-6.

Tabla III- 6 Valores de peso inicial, peso final, humedad inicial y humedad final a

diferentes espesores con temperaturas de 60 y 70°C

Temperatura	Espesor (mm)	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Humedad Inicial (%)	Humedad Final (%)
60°C	1,500	966	42,5	95,600	2,299
	3,000	966	41,5	95,704	2,353
70°C	1,500	966	41	95,756	2,381
	3,000	966	43,5	95,497	2,247

Fuente: Elaboración propia, 2016

En esta tabla se tienen los datos de humedad inicial del zapallo y la humedad con la que sale después del secado a diferentes temperaturas y espesores.

Se encuentran pequeñas variaciones en las humedades iniciales de las muestras de zapallo debido a que el secado se realizó en días en que la humedad relativa del ambiente era diferente.

3.4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA

Para realizar el cálculo de la humedad en base seca que presenta el zapallo se realiza la siguiente ecuación:

$$X_s = \frac{m_i - SS}{SS} \quad \text{Ec. III - 2}$$

$$X_s = \frac{0,966 - 0,0425}{0,0425} = 22,277 \frac{kg H_2O}{kg SS}$$

Donde:

SS=Sólido seco

mi =Masa inicial

XS= Humedad en base seca, (kg H₂O/kg solido seco)

Por ejemplo:

Para T=60°C y E= 3mm, se tiene:

mi =0,966 kg para t=0

SS= 0,0425kg para t=375minutos

Se utiliza los datos de la Tabla III- 4 donde se representan los promedios de pérdida

de peso en el secado del zapallo de las distintas pruebas que se hicieron, ya que estos datos se encuentran expresados en gramos (g); también sirven para reemplazar en esta ecuación por lo que nos da lo mismo si trabajamos con gramos o kilogramos ya que nos sale el mismo resultado, pero esta ecuación esta expresada en kilogramos para realizar la cinética de secado.

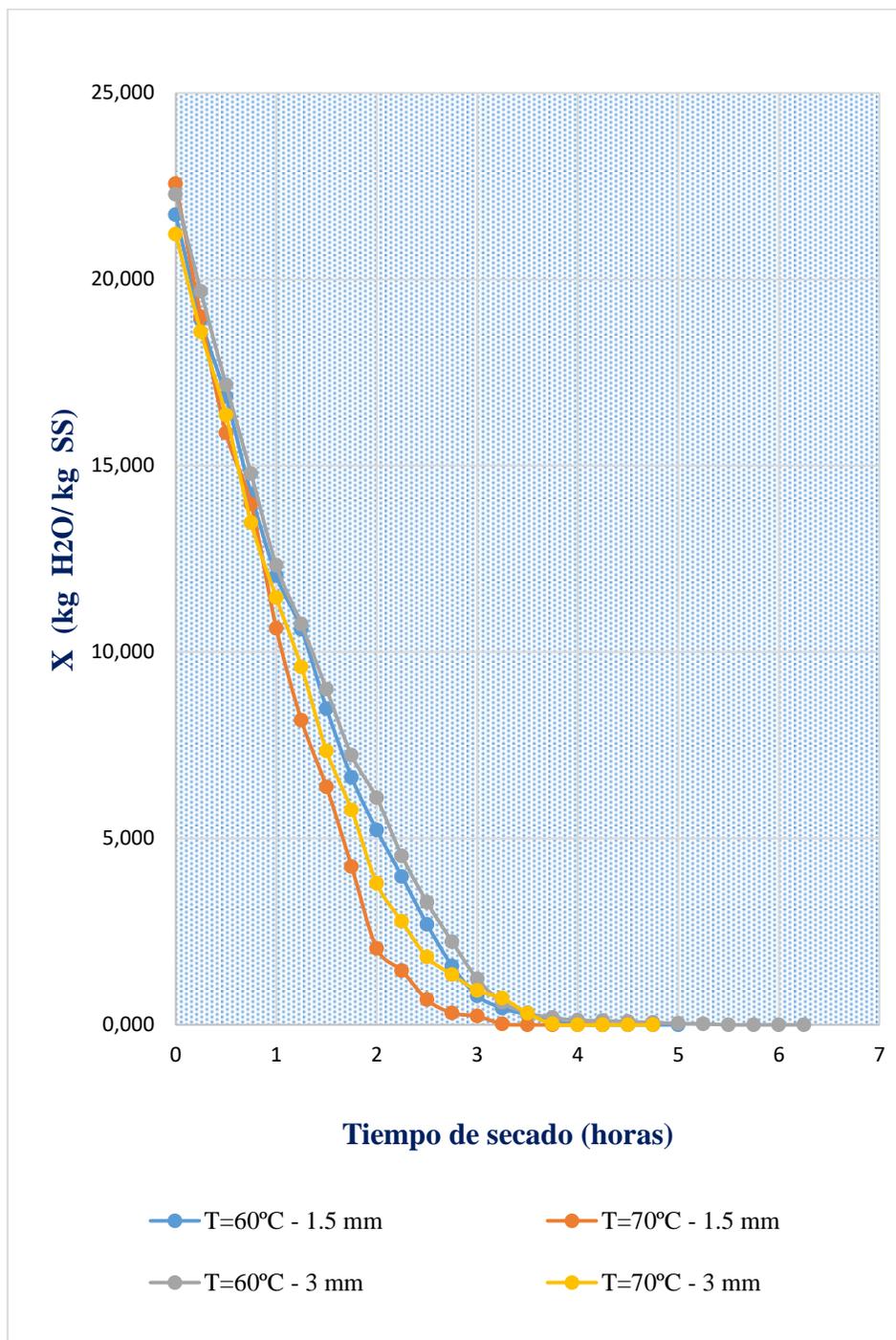
En la tabla III-7 se expresan los resultados de la humedad en base seca para los cuatro ensayos, expresada en kilogramos de agua sobre kilogramos de sólido seco.

Tabla III- 7 Contenido de humedad en base seca

Tiempo (min)	T=60°C		T=70°C	
	E=3mm X(kg H ₂ O/kg SS)	E=1.5mm X(kg H ₂ O/kg SS)	E=3mm X(kg H ₂ O/kg SS)	E=1.5mm X(kg H ₂ O/kg SS)
0	22,277	21,729	21,207	22,561
15	19,675	18,918	18,586	19,000
30	17,169	16,847	16,356	15,878
45	14,783	14,235	13,471	13,963
60	12,325	12,047	11,46	10,634
75	10,747	10,612	9,598	8,171
90	9,000	8,482	7,345	6,378
105	7,229	6,635	5,759	4,244
120	6,084	5,224	3,793	2,049
135	4,53	3,976	2,77	1,451
150	3,289	2,694	1,816	0,671
165	2,229	1,576	1,345	0,317
180	1,229	0,776	0,92	0,232
195	0,602	0,447	0,713	0,024
210	0,313	0,271	0,31	0
225	0,193	0,094	0,023	0
240	0,12	0,024	0	0
255	0,108	0	0	0
270	0,084	0	0	
285	0,06	0	0	
300	0,036	0		
315	0,024			
330	0			
345	0			
360	0			
375	0			

Fuente: elaboración propia, 2016

Figura III- 4 Curva de humedad en base seca a diferentes espesores y temperatura



Fuente: Elaboración propia, 2016

3.4.4 AGUA EVAPORADA DURANTE EL SECADO DEL ZAPALLO

La evaporación es un proceso endotérmico que nos presenta la pérdida del agua de las muestras de zapallo que se van eliminando en el transcurso del secado se demuestra la eliminación del agua aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Masa de agua evaporada} = m_i - m_j \quad \text{Ec. III - 3}$$

Donde:

m_i = masa inicial del zapallo (g)

m_j = masa del zapallo durante cada 15 minutos (g)

Por ejemplo:

Para $T=60^\circ\text{C}$ y $E=3\text{mm}$, se tiene:

$m_i=966\text{ g}$

$m_j=846,5$

$$\text{Masa de agua evaporada} = 966\text{g} - 846,5\text{g} = 119,500\text{g}$$

En la tabla III-8 se registra la pérdida de agua que se va evaporando o eliminando en el transcurso del secado del zapallo, se observa que a medida que avanza el tiempo la eliminación de agua es mayor dependiendo de las condiciones de temperatura y espesor a las que se está secando.

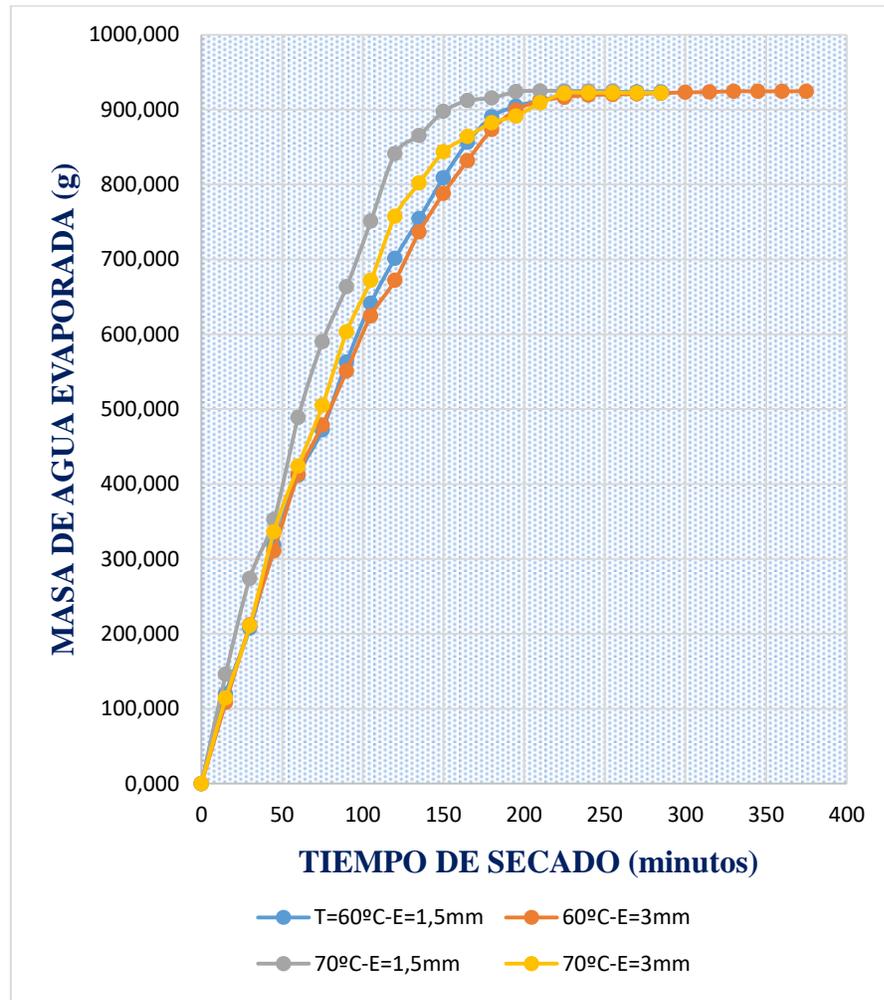
Se observa en la tabla III-8 la eliminación de agua que sucede en el proceso de secado del zapallo durante cada 15 minutos de tiempo; según las pruebas realizadas la muestra secada a 70°C y espesor de 1,5 mm presentó una evaporación de agua más rápido que las otras pruebas realizadas.

Tabla III- 8 Agua evaporada en el secado de zapallo

Tiempo	Masa de agua evaporada(g)			
(min)	T=60°C		T=70°C	
	E=3mm	E=1.5mm	E=3mm	E=1.5mm
0	0,000	0,000	0,000	0,000
15	108,000	119,500	114,000	146,000
30	212,000	207,500	211,000	274,000
45	311,000	318,500	336,500	352,500
60	413,000	411,500	424,000	489,000
75	478,500	472,500	505,000	590,000
90	551,000	563,000	603,000	663,500
105	624,500	641,500	672,000	751,000
120	672,000	701,500	757,500	841,000
135	736,500	754,500	802,000	865,500
150	788,000	809,000	843,500	897,500
165	832,000	856,500	864,000	912,000
180	873,500	890,500	882,500	915,500
195	899,500	904,500	891,500	924,000
210	911,500	912,000	909,000	925,000
225	916,500	919,500	921,500	925,000
240	919,500	922,500	922,500	925,000
255	920,000	923,500	922,500	925,000
270	921,000	923,500	922,500	
285	922,000	923,500	922,500	
300	923,500	923,500		
315	923,500			
330	924,500			
345	924,500			
360	924,500			
375	924,500			

Fuente: Elaboración propia, 2016

Figura III- 5 Agua evaporada del zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura III-5 se observa la evaporación o eliminación de agua a medida que transcurre el tiempo de secado, se nota que al inicio de la curva no se evapora gran cantidad de agua ya que en esta etapa recién se está calentando la muestra, pero a medida que pasa el tiempo se va eliminando cada vez más cantidad de agua, hasta alcanzar un punto de equilibrio donde ya no hay agua que eliminar.

En las distintas pruebas que se realizó se comprueba que a mayor temperatura de secado es más rápida la evaporación y más cuando los espesores son pequeños.

Si se compara la figura III-3 y con la figura III-5, se puede apreciar dos figuras diferentes por lo que la figura III-3 representa la humedad del zapallo y la otra la eliminación del agua del mismo por eso es al revés la figura, en la de la humedad del zapallo va disminuyendo con el tiempo en cambio en la figura III-5 va aumentando a medida que pasa el tiempo de secado.

Al analizar con detalle la pérdida de agua de la muestra se puede observar que en un tiempo prolongado solo se pierde pequeñas cantidades de masa de agua, al ver esta situación se puede despreciar este tiempo inútil.

Al despreciar ese tiempo podemos hallar un tiempo óptimo de secado para que no haya pérdida de gasto energético inútil.

Tabla III- 9 Datos e tiempo de secado

Temperatura	Espesor (mm)	Tiempo Real (min)	Tiempo Óptimo (min)
60°C	1,5	300	240
	3	375	300
70°C	1,5	255	195
	3	285	225

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla III-9 se muestra la diferencia existente entre el tiempo real y el tiempo óptimo encontrado al realizar una observación de la figura 3-5 de evaporación de agua para las diferentes pruebas realizadas, es por ello que se encontró que la cantidad de agua que se elimina durante el tiempo inútil de secado para todas las pruebas es de 1gramo.

3.4.5 DETERMINACIÓN DE CINÉTICA DE SECADO

La velocidad de secado promedio para el ensayo de temperatura 60°C y espesor 1,5mm es de 0,931kg/ (m² h) con un tiempo óptimo de secado de 2,788 horas.

El tiempo de secado que se encontró en forma experimental en las pruebas realizadas en el laboratorio es de 240minutos que son 4 h y el tiempo que se obtuvo mediante el cálculo de la misma por la cinética de secado es de 2,788 horas con una diferencia de

1,212 h, lo cual explica que encontrando la cinética de secado el tiempo de secado se acorta, dando un resultado de tiempo óptimo para el secado de zapallo en las condiciones de temperatura de 60°C y un espesor de 1,5mm despreciando el tiempo inútil.

El cálculo de tiempo óptimo de secado en función a la cinética de secado que presenta cada ensayo se presenta en el Capítulo IV, de los cuales se presenta más abajo los resultados obtenidos:

- El tiempo de secado que se encontró en forma experimental para el ensayo de temperatura 60°C y espesor 3 mm en el laboratorio es de 300 minutos que son 5h y el tiempo que se obtuvo mediante el cálculo de la misma por la cinética de secado es de 3,110 horas con una diferencia de 1,890, y una velocidad de secado promedio de 0,446 kg/ (m² h).
- El tiempo de secado que se encontró en forma experimental para el ensayo de temperatura 70°C y espesor 1,5 mm en el laboratorio es de 195 minutos que son 3,250h y el tiempo que se obtuvo mediante el cálculo de la misma por la cinética de secado es de 2,255 horas con una diferencia de 0,950 h, y una velocidad de secado promedio de 1,050 kg/ (m² h).
- El tiempo de secado que se encontró en forma experimental para el ensayo de temperatura 70°C y espesor 3mm en el laboratorio es de 225 minutos que son 3,750h y el tiempo que se obtuvo mediante el cálculo de la misma por la cinética de secado es de 3,110 horas con una diferencia de 0,640 h, y una velocidad de secado promedio de 0,524 kg/ (m² h).

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental, se realizó con el asesoramiento del docente de la materia, el mismo que se muestra en el capítulo II, dando origen al presente análisis estadístico.

Para realizar el análisis estadístico del diseño experimental, se utilizó el programa SPSS 18. (Statistical package for the social sciences) para Windows, el cual permite un tratamiento integrado de todas las fases que conlleva el análisis de datos, obteniéndose resultados más representativos y confiables.

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

En la tabla III-10 se observa los valores experimentales obtenidos del arreglo matricial de datos de laboratorio del contenido final en base de las variables que se plantaron en el diseño experimental.

Tabla III- 10 Resultados obtenidos de la variable respuesta del diseño Factorial

Espesor	Temperatura	Contenido de humedad en base seca (kg agua /kg SS)	
		Ensayo I	Ensayo II
1,5	60	0,4186	0,4762
3		0,5952	0,6098
1,5	70	0,0238	0,0250
3		0,7209	0,7045

Fuente: Elaboración propia, 2016

Estos datos se analizaron mediante un análisis estadístico ANOVA, para la interpretación de la variable respuesta contenido de humedad en base seca de las muestras de zapallo, cuyos datos de humedad fueron tomados para un mismo tiempo de 195 minutos para realizar la comparación de las cuatro pruebas, porque si se considera las humedades alcanzadas finales todas llegan a húmedas similares con diferencias mínimas pero con diferentes tiempos de secado.

El mayor contenido de humedad en base seca que se obtuvo fue para un tiempo de 195 minutos y ensayo de 60°C y espesor de 3mm.

En la tabla III-11 se muestran los resultados obtenidos del análisis de varianza para el proceso de secado del zapallo.

Se puede observar que el efecto de la variable espesor, temperatura y la interacción espesor-temperatura de secado, influyen sobre el contenido de humedad, esto se debe a que el nivel de confianza es menor al 5%, lo cual comprueba estadísticamente que existe diferencia significativa entre las variables: espesor e interacción espesor-temperatura, presentando menor significancia la variable temperatura.

Tabla III- 11 Prueba de efectos inter- sujetos

Variable dependiente: Humedad

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,547 ^a	3	,182	383,540	,000
Intersección	1,597	1	1,597	3360,274	,000
Espesor	,356	1	,356	748,502	,000
Temperatura	,049	1	,049	102,958	,001
Espesor *	,142	1	,142	299,162	,000
Temperatura					
Error	,002	4	,000		
Total	2,145	8			
Total corregido	,549	7			

a. R cuadrado = ,997 (R cuadrado corregida = ,994)

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla III-12 se muestra las variables introducidas a través del programa, pero al ser significativas todas las variables no se elimina ninguna de ellas.

Tabla III- 12 Variables introducidas/eliminadas

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
dim ensi ón 1	TempEsp, Espesor, Temperatura ^a	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

b. Variable dependiente: Humedad

Tabla III- 13 Anova

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	,547	3	,182	383,540	,000 ^a
Residual	,002	4	,000		
Total	,549	7			

a. Variables predictoras: (Constante), TempEsp, Espesor, Temperatura

b. Variable dependiente: Humedad

Tabla III- 14 Coeficientes Análisis de varianza de la variable contenido de humedad

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	,447	,008		57,968	,000
Temperatura	-,078	,008	-,299	-10,147	,001
Espesor	,211	,008	,805	27,359	,000
TempEsp	,133	,008	,509	17,296	,000

a. Variable dependiente: Humedad

En la Tabla III-14 se determinó que el modelo matemático ajustado para el proceso de secado, correlaciona el contenido de humedad en base seca con la variable temperatura y espesor de las muestras; para el caso estudiado es el siguiente:

$$H = 0,447 - 0,078 * \text{Tempearatura} + 0,211 * \text{espesor} + 0,133 * (\text{Espesor} * \text{Temperatura})$$

Según al modelo matemático encontrado para el proceso de secado, esta se ve favorecida, al presentar una temperatura menor y el espesor de muestra mayor.

Del análisis estadístico se puede concluir lo siguiente:

- La elección del modelo en su conjunto es correcta, por cuanto la variable dependiente y las variables independientes son significativas para un nivel de confianza del 95%.
- El factor que tiene la mayor incidencia en el proceso de secado, es el espesor y la interacción temperatura-espesor con una elevada significancia, por cuanto a menor espesor se tiene mayor área de contacto y ello redundaría en un menor tiempo de secado, por lo tanto, se debe tener especial atención en el manejo de estas variables, en el proceso productivo.
- La interacción entre las variables espesor-temperatura, muestra que al interactuar entre ellas se puede mejorar el proceso, por lo tanto se puede decir que ambos son dependientes la una de la otra.

3.6 EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DEFINIR LA HARINA DE ZAPALLO ENRIQUECIDA CON HARINA DE AMARANTO

Las harinas de zapallo obtenidas de diferentes condiciones (temperatura, espesor) de ensayos de secado mostraron características diferentes al mezclarse en una proporción definida en el capítulo II con el amaranto, presentando un color y olor característicos, al tacto se perciben como un sólido suave, sin aglomerados, propiedades tales que mantienen relación con el tamaño de partícula, porcentaje de

humedad y forma de conservación; estas características son importantes al ser incorporadas en una matriz alimentaria ya que influyen en los aspectos tecnológicos y sensoriales.

El análisis sensorial, se 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 zapallo enriquecida con harina de amaranto. Para tal finalidad, se emplearon las cuatro muestras obtenidas de acuerdo al diseño factorial, y cuatro aplicaciones realizando puré de zapallo enriquecido con amaranto con los mencionados ensayos.

El modelo de test utilizado para la aceptabilidad general se encuentra en el anexo C. la prueba de preferencia se evaluó mediante el método de la escala hedónica donde se calificaron las siguientes características: olor, color, sabor y textura; en la cual cada juez eligió entre las siguientes opciones y puntajes:

Tabla III- 15 Escala hedónica para la evaluación sensorial de los atributos

Puntaje	Escala hedónica
1	Me disgusta extremadamente
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta levemente
5	No me gusta ni me disgusta
6	Me gusta levemente
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta extremadamente

Fuente: Elaboración propia, 2016

La evaluación se realizó en un lugar tranquilo, lejos de ruidos y olores extraños, con buena iluminación natural. A los panelistas se les pidió anticipadamente su aceptación a participar en esta prueba y se les explicó de antemano las características generales de la evaluación y la responsabilidad que ellos tenían como jueces.

Las evaluaciones se realizaron en fechas distintas y concluidas las mismas, se

tabularon los resultados obtenidos del análisis sensorial realizado para definir la muestra de harina de zapallo a diferentes condiciones (temperaturas y espesores), que presente mejores atributos al combinarse con la harina de amaranto en proporciones definidas. Se presentan los resultados en las siguientes tablas:

Tabla III- 16 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°1 según la escala hedónica

Muestra 1					
T=Temperatura 60°C, E=1.5mm de espesor					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	6	8	7	8	29
2	8	8	7	8	31
3	6	6	7	6	25
4	7	7	8	8	30
5	5	6	7	5	23
6	7	8	7	7	29
7	7	8	7	8	30
8	9	8	8	8	33
9	6	8	8	8	30
10	7	8	9	8	32
11	9	8	8	9	34
12	7	6	7	8	28
13	5	6	6	6	23
14	6	5	7	4	22
15	8	7	7	7	29
16	5	5	4	9	23
ΣTOTAL	108	112	114	117	451
PROMEDIO	6,750	7,000	7,125	7,313	

Fuente: Elaboración propia, 2016

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

Tabla III- 17 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°2 según la escala

Muestra 2					
T=Temperatura 60°C, E=3mm de espesor					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	5	8	7	7	27
2	8	7	8	7	30
3	6	6	6	6	24
4	6	7	7	7	27
5	5	6	7	7	25
6	6	7	7	7	27
7	6	7	7	7	27
8	6	6	5	6	23
9	5	7	8	8	28
10	6	9	5	7	27
11	2	4	5	2	13
12	7	7	6	8	28
13	5	6	6	7	24
14	4	6	7	5	22
15	7	8	7	7	29
16	5	5	6	9	25
ΣTOTAL	89	106	104	107	406
PROMEDIO	5,563	6,625	6,500	6,688	

hedónica

Fuente: elaboración propia, 2016

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

Tabla III- 18 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°3 según la escala hedónica

Muestra 3					
T=Temperatura 70°C, E=1,5mm de espesor					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	7	8	7	9	31
2	8	7	7	7	29
3	8	8	8	7	31
4	7	8	7	7	29
5	5	8	6	6	25
6	6	7	6	6	25
7	8	7	7	8	30
8	6	6	6	5	23
9	6	6	6	7	25
10	8	7	8	9	32
11	8	8	5	5	26
12	6	7	6	8	27
13	6	7	7	7	27
14	5	4	7	8	24
15	6	7	7	8	28
16	6	5	6	9	26
ΣTOTAL	106	110	106	116	406
PROMEDIO	6,625	6,875	6,625	7,250	

Fuente: elaboración propia, 2016

En la tabla precedente se observa que el atributo sabor es la característica mejor evaluada de la muestra n°3, seguida del color y textura, presentando dos atributos de olor y textura con promedios iguales.

Tabla III- 19 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°4 según la escala hedónica

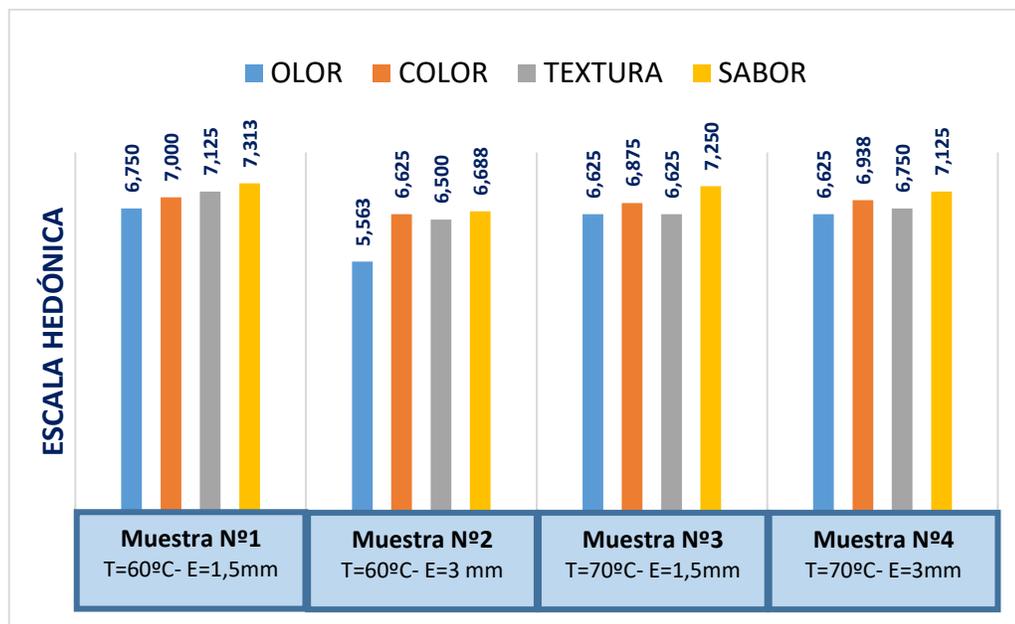
Muestra N°4					
T=Temperatura 70°C, E= 3mm de espesor					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	8	8	7	9	32
2	8	7	7	7	29
3	8	8	8	6	30
4	7	7	7	8	29
5	5	9	6	6	26
6	7	8	7	7	29
7	7	8	8	8	31
8	4	4	5	5	18
9	6	6	7	6	25
10	8	8	9	8	33
11	5	3	4	3	15
12	7	7	6	8	28
13	7	8	8	8	31
14	6	7	5	8	26
15	8	8	8	8	32
16	5	5	6	9	25
ΣTOTAL	106	111	108	114	439
PROMEDIO	6,625	6,938	6,750	7,125	

Fuente: Elaboración propia, 2016

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

En la figura III-6 se presenta un resumen general de los resultados finales obtenidos con los valores promedios de cada atributo para diferentes muestras:

Figura III- 6 Resultados del análisis sensorial de la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto



Fuente: Elaboración propia, 2016

La figura III-6, presenta promedios más elevados en las cuatro características (color, olor, textura y sabor), establecidos para la escala hedónica, razón por la que la muestra n° 1 se estableció como la seleccionada; en este sentido vale la pena resaltar que este producto de acuerdo a lo comentado posee un color amarillo más claro al combinarse con la harina de amaranto, presentando un amarillo más intenso solo como harina de zapallo; además, presenta una textura agradable al tacto y es un producto muy nutritivo.

3.6.1 ANÁLISIS DE VARIANZA UNIVARIANTE

Los resultados totales de los atributos (color, olor, sabor y textura) determinados por cada juez, fueron sometidos a un análisis de varianza univariante, mediante el cual se realiza la comparación múltiple de las cuatro muestras para encontrar las muestras más significativas (intervalo de confianza del 95%) por el método DMS y DHS de tukey, como se expone en las siguientes tablas:

Tabla III- 20 Prueba de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Atributo

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	482,000 ^a	18	26,778	2,285	,013
Intersección Jueces	46980,563	1	46980,563	4008,295	,000
Muestra	412,437	15	27,496	2,346	,014
Error	69,562	3	23,187	1,978	,131
Total	527,438	45	11,721		
Total corregido	47990,000	64			
	1009,437	63			

a. R cuadrado = .477 (R cuadrado corregido = .268)

En la tabla III-20 se puede observar que los jueces y la intersección (jueces y muestras), presentan un grado de significación, pero por si solas las muestras no presentan significancias, trabajando con un grado de confianza del 95%.

En la tabla III-21 se realiza una comparación múltiple entre muestras para definir qué muestras son significativas; realizando la comparación de las cuatro muestras por el método DHS de Tukey ninguna de las cuatro muestras son significativas, pero por el método DMS la muestra nº(1 y 2), son significativas para los 16 jueces que evaluaron.

Tabla III- 21 Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Atributo

	(I) muestra	(J) muestra	Diferencia de medias (I-J)	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
DHS de Tukey	1,00	2,00	2,8125	,108	-,4165	6,0415
		3,00	,8125	,907	-2,4165	4,0415
		4,00	,7500	,925	-2,4790	3,9790
	2,00	1,00	-2,8125	,108	-6,0415	,4165
		3,00	-2,0000	,361	-5,2290	1,2290
		4,00	-2,0625	,334	-5,2915	1,1665
	3,00	1,00	-,8125	,907	-4,0415	2,4165
		2,00	2,0000	,361	-1,2290	5,2290
		4,00	-,0625	1,000	-3,2915	3,1665
	4,00	1,00	-,7500	,925	-3,9790	2,4790
		2,00	2,0625	,334	-1,1665	5,2915
		3,00	,0625	1,000	-3,1665	3,2915
DMS	1,00	2,00	2,8125*	,025	,3746	5,2504
		3,00	,8125	,505	-1,6254	3,2504
		4,00	,7500	,539	-1,6879	3,1879
	2,00	1,00	-2,8125*	,025	-5,2504	-,3746
		3,00	-2,0000	,105	-4,4379	,4379
		4,00	-2,0625	,095	-4,5004	,3754
	3,00	1,00	-,8125	,505	-3,2504	1,6254
		2,00	2,0000	,105	-,4379	4,4379
		4,00	-,0625	,959	-2,5004	2,3754
	4,00	1,00	-,7500	,539	-3,1879	1,6879
		2,00	2,0625	,095	-,3754	4,5004
		3,00	,0625	,959	-2,3754	2,5004

Basadas en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 11.721.

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

En los resultados obtenidos en el análisis estadístico realizado por comparación múltiple entre muestra, se puede apreciar en la tabla III-21 que la muestra n°1 y la muestra n°2 presentan un grado de significancia mayor, es por ello que se concluye que la muestra n°1 es la seleccionada como condición de trabajo de los cuatro ensayos representados, porque esta presenta más atributos de agrado para los jueces que examinaron las muestras y en cuanto a promedios presenta un valor un poco más elevado que la muestra n°2.

3.7 MOLIENDA

La molienda que se realizó a la muestra de zapallo seleccionado, en el molino de martillos dio buenos resultados, introduciendo una alimentación al 100% del cual se obtuvo una pérdida de 17,4% y un material molido de 82,6%; se pudo apreciar que el molino de trabajo presentaba muchas fugas, las cuales favorecieron a la pérdida de harina de zapallo; también se pudo observar que debido al pigmento amarillo y a los azúcares presentes en el zapallo, los brazos del molino se impregnaban con mayor facilidad, provocando una limpieza dificultosa del equipo.

3.8 TAMIZADO

Se realizó el tamizado después de la molienda, en un único ensayo en el cual se obtuvo distintos tamaños de partículas entre ellas las de la 1; 0,5; 0,25; 0,063mm y en el tamiz colector; estos datos se pueden observar en el capítulo II. De las diferentes granulometrías obtenidas, la granulometría de interés para la presente investigación es una harina de zapallo que atraviesa la malla 0,25mm, de acuerdo a la bibliografía consultada y expuesta en el capítulo I (sección 1.1.11.3).

En la tabla III-22 se expone los resultados obtenidos de los diferentes pesos de harina de zapallo que se encuentra en el diferente n° de mallas al realizar el proceso de tamizado.

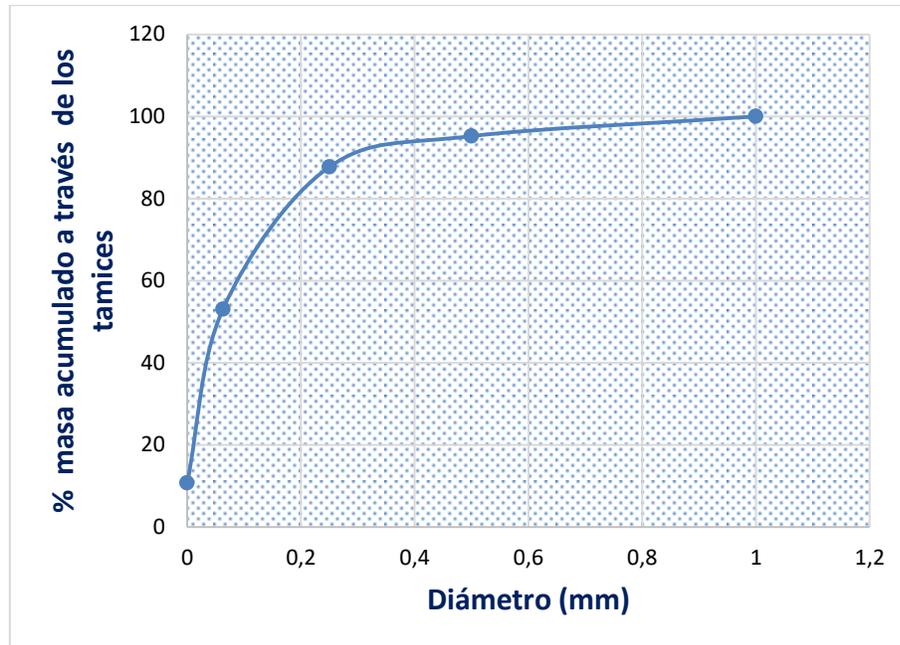
Tabla III- 22 Resultado de tamizado de la harina de zapallo

Nº malla (mm)	Peso de la harina(g)	Porcentaje de la harina %	% acumulado
1	8,669	4,786	100
0,5	13,624	7,521	95,214
0,25	62,777	34,656	87,693
0,063	76,744	42,367	53,037
0	19,328	10,670	10,670
total	181,142	100	
Perdida	29,488		

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla III-22 precedente se puede observar que el porcentaje retenido en la malla 0,063mm que atravesó la malla 0,25mm presentó un porcentaje de 42,367 como harina de zapallo con granulometría de interés, es por ello que se consideró que el 57,33% de la restante granulometría como pérdida, no sin antes mencionar que sirve para otras aplicaciones; también resaltar que a medida que la harina de zapallo se encuentre con granulometría más fina el color de esta va aclarándose aún más, presentando un color mucho más agradable que la harina con granulometría gruesa.

En la figura III-7 se representa en forma ordenada el porcentaje total de masa que han atravesado los distintos tamices y en abscisas las aberturas de malla; también se observa que a medida que aumenta el diámetro de la partícula tamizada el porcentaje de masa acumulada aumenta.

Figura III- 7 Porcentaje acumulado en el tamizado

Fuente: Elaboración propia, 2016

3. 9 RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA

Se obtuvo un rendimiento para el ensayo seleccionado anteriormente de harina de zapallo de 69,140 %, considerando que de 10470 g de materia prima “zapallo fresco” se obtuvo 210,630 g de harina, lo cual representa un 2,012% y el restante 97,988% representa las pérdidas en las diferentes etapas del proceso (considerando con mayor énfasis dentro de la misma una elevada cantidad de agua) de obtención de harina de zapallo.

Tabla III- 23 Rendimiento del proceso de obtención de harina de zapallo

Ingreso materia prima	Obtención de harina de zapallo	
	Tesis "Villa Quisbert Adriana F."	Desarrollo experimental
10470 (g)	304,373(g)	210,630(g)
% harina de zapallo	2,910	2,012

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla III-23 se puede observar que el rendimiento de harina de zapallo obtenido por "Villa Quisbert Adriana F." es mayor que el obtenido en la parte experimental; esto se debe a varios factores como: condiciones ambientales de trabajo, maduración de zapallo, aditivos y tratamiento utilizado para mejorar el secado, entre otros.

Considerando los datos de bibliográficos de "Villa Quisbert Adriana F." el rendimiento que se obtuvo para el proceso de obtención de harina de zapallo es:

$$\text{Rendimiento} = \frac{2,012}{2,910} * 100 = 69,140$$

Pero tomando en cuenta la granulometría 0,21 mm seleccionado anteriormente, la cantidad que se obtiene de harina de zapallo es 73,089g partiendo de una cantidad inicial de zapallo fresco de 10470g 23,986

3.10 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

En las tablas que se exponen a continuación se muestran los resultados de los análisis físicoquímicos (anexo A) realizados en el centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, a las siguientes muestras: materia prima zapallo "cucúrbita máxima", harina de amaranto, harina de zapallo y harina zapallo enriquecida con harina de amaranto.

Los resultados obtenidos para la composición físicoquímica que presenta el zapallo

fresco de especie cucúrbita máxima se expone en la tabla II-24:

Tabla III- 24 Composición fisicoquímica de la materia prima zapallo “fresco”

Parámetros		Zapallo “Cucúrbita máxima”
Acidez (como ácido cítrico)	(%)	0,13
Calcio total	(mg/100g)	23,0
Cenizas	(%)	0,60
Fibra	(%)	0,02
Materia grasa	(%)	0,11
Hierro total	(mg/100g)	0,41
Humedad	(%)	92,38
Hidratos de carbono	(%)	5,49
Proteína total (Nx6,25)	(%)	1,40
Valor energético	(Kcal/100g)	28,55

Fuente: Elaboración propia, 2016

Estos resultados nos muestran tomando los parámetro de interés para la presente investigación un 1,40% de proteína y una humedad de 92,38%, lo cual comparando con los datos bibliográficos expuestos en el Capítulo-I, presenta una humedad y proteína elevada.

Los resultados obtenidos para el análisis fisicoquímico que presenta la harina de zapallo se expone en la tabla III-25, también se exponen los datos bibliográficos expuestos en el capítulo I sobre el proceso de obtención de harina de zapallo, Dato bibliográfico I [**Cecibel Lisbel Alava Pincay**; Guayaquil-Ecuador; “Desarrollo del proceso y caracterización de harina de zapallo y formulación de subproductos”] y dato bibliográfico II [Villa Quisbert Adriana Fabiola, (2013)].

Tabla III- 25 Composición fisicoquímica de la Harina de zapallo

Parámetros		Resultado experimental	Dato bibliográfico I	Dato bibliográfico II
Acidez	(%)	0,63		
Calcio total	(mg/100g)	125		
Cenizas	(%)	10,17	3,91	2,74
Fibra	(%)	14,39	8,27	15,39
Materia grasa	(%)	4,08	0,77	6,09
Hierro total	(mg/100g)	4,83		3,55
Humedad	(%)	12,96	13,35	8,04
Hidratos de carbono	(%)	41,97	62,27	53,68
Proteína total	(%)	16,43	11,43	14,06
Valor energético	(Kcal/100g)	270,32		325,77

Fuente: Elaboración propia, 2016

Realizando una comparación de los resultados obtenidos basados en parámetros de interés para la investigación, se puede observar que la proteína alcanzada en la investigación es de 16,43% mucho mayor que la obtenida en los datos bibliográficos y alcanzado una humedad intermedia de 12,96 % respecto a los datos bibliográficos I-II.

En la **tabla III-26** se exponen los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de la presente investigación, para poder observar los resultados obtenidos para la harina de amaranto, harina de zapallo respecto a la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto.

Tabla III- 26 Composición fisicoquímica de la harina de zapallo

PARÁMETRO		Harina de amaranto	Harina de zapallo	Harina compuesta Zapallo-amaranto
Acidez	(%)	0,06	0,63	0,39
Calcio total	(mg/100g)	108	125	126
Cenizas	(%)	2,11	10,17	7,82
Fibra	(%)	4,25	14,39	9,42
Materia grasa	(%)	7,52	4,08	5,38
Hierro total	(mg/100g)	6,46	4,83	5,78
Humedad	(%)	9,37	12,96	12,35
Hidratos de carbono	(%)	61,20	41,97	49,06
Proteína total (Nx6,25)	(%)	15,55	16,43	15,97
Valor energético	(Kcal/100g)	374,68	270,32	308,54
Gluten húmedo				nd

Fuente: Elaboración propia, 2016

- Según los resultados obtenidos y presentados en la tabla III-26, se puede observar que la harina de zapallo con la harina de amaranto presenta similares porcentajes de proteína total dando como resultado en la harina compuesta un 15,97% de proteína total.
- En cuanto a la humedad la harina de zapallo presenta un 12,96%, la harina de amaranto 9,37 y la harina compuesta presenta un 12,35% todo esto en 100g de muestra.
- La harina compuesta no presenta gluten creando una gran ventaja para las personas celíacas quienes ven una dificultad en el consumo de panes, galletas,

y otros por la presencia de harinas con alto contenidos de gluten.

3.11 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

En las tablas que se exponen a continuación se muestran los resultados de los análisis microbiológicos realizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID).

En la tabla III-27 se exponen los resultados obtenidos en el análisis microbiológico de la harina de zapallo.

Tabla III- 27 Composición microbiológica en la harina de zapallo

Parámetro	Método de ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes totales	NB 32005:02	Ufc/g	$8,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	NB 32006:03	Ufc/g	$2,0 \times 10^1$

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla III-28 se exponen los resultados obtenidos en el análisis microbiológico de la harina compuesta:

Tabla III- 28 Composición microbiológica en la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto

Parámetro	Método de ensayo	Unidad	Resultado
Coliformes totales	NB 32005:02	Ufc/g	$1,3 \times 10^2$
Mohos y levaduras	NB 32006:03	Ufc/g	$4,0 \times 10^1$

Fuente: Elaboración propia, 2016

Según los resultados obtenidos expuestos en la tabla III-27 y 28, se puede apreciar que la harina de zapallo presenta $8,0 \times 10^1$ Ufc/g de coliformes totales lo que indica

que se incrementó 50 Ufc/g en la harina compuesta de zapallo-amaranto y se incrementó el doble de mohos y levaduras en la misma.

3.12 RESULTADO DE ANÁLISIS DE AMINOÁCIDO (LISINA)

Los resultados obtenidos para el análisis de lisina presente en la harina de amaranto y en la harina compuesta se encuentran en el anexo G, según los mismos se encontró en la harina de amaranto 0,542g lisina /100g harina de amaranto presentando un rendimiento del 67,7%; en cuanto a la harina compuesta (zapallo-amaranto)se encontró 0,187 g lisina/ 100g harina compuesta, lo cual indica que la harina de zapallo aporta a la misma 0,034g lisina considerando el 70% mezclado y la harina de amaranto aporta 0,163 g lisina considerando el 30% en el mezclado, analizando estos resultados el aporte de lisina que realiza la harina de amaranto es elevado comparado al aporte de lisina que realiza la harina de zapallo en la harina compuesta.

3.13 RESULTADO DEL ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO FINAL

La harina final a partir de zapallo, enriquecida con harina de amaranto fue sometida para elaborar un producto aplicado “queque”, para definir el grado de aceptabilidad que esta presenta, al realizar el análisis sensorial de cuatro atributos olor, color, textura y sabor, mediante un panel de 12 jueces docentes y estudiantes de la carrera de ingeniería química quienes calificaron el grado de satisfacción. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla III-29:

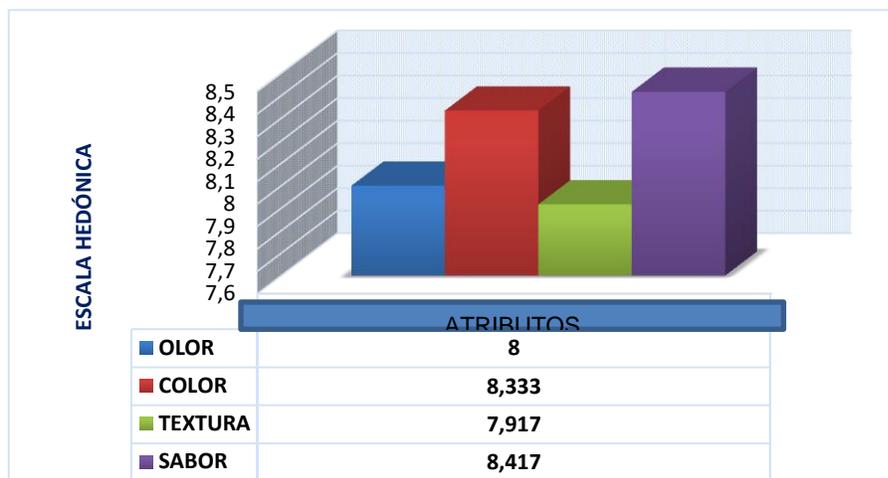
Tabla III- 29 Resultado del test de aceptabilidad realizado al producto final

PRODUCTO: KEKE					
Harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto					
Jueces	Olor	Color	Textura	Sabor	Σ
1	8	7	6	8	7,250
2	5	8	7	8	7,000
3	8	9	8	9	8,500
4	9	8	9	9	8,750
5	7	9	8	8	8,000
6	7	8	7	7	7,250
7	9	9	7	8	8,250
8	8	8	8	8	8,000
9	9	9	9	9	9,000
10	9	9	9	9	9,000
11	8	8	8	9	8,250
12	9	8	9	9	8,750
Σ total	96	100	95	101	
promedio	8	8,333	7,917	8,417	

Fuente: Elaboración propia, 2016

El resultado obtenido al realizar un análisis organoléptico a un producto aplicado “queque” elaborado a partir la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto (Tabla III-29), se expresa los resultados promedios de cada atributo que presenta el queque en la figura III-8:

Figura III- 8 Resultado del análisis organoléptico realizado al producto aplicado final



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura precedente se puede observar que el atributo de mayor agrado para los jueces fue el atributo sabor presentando una calificación de 8,417 dentro de la escala hedónica, seguida del atributo color con 8.333; finalmente, la calificación de los atributos olor y textura respectivamente con 8 y 7,917.

Se puede decir que la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto obtenida, durante la elaboración de este proyecto de grado, es aceptable como suplemento alimenticio dado que tiene excelentes propiedades nutritivas como proteína mejorada en buena calidad y aminoácido lisina, los cuales son muy favorables para implementar como desayuno escolar en productos aplicados como queque, galletas y otros, también para consumo de personas celíacas.

CAPÍTULO IV
INGENIERÍA DE PROYECTO

CAPÍTULO IV INGENIERÍA DE PROYECTO

4.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

En las etapas de Recepción, selección, limpieza, pre-cortado del zapallo criollo no se tiene perdida ya que no sufren de ningún proceso de transformación de materia ni de energía.

Se realizó el balance de materia y energía para las cuatros combinaciones de las variables de control temperatura y espesor, para encontrar la diferencia que existe entre ellas.

Donde:

SEC-001: PELADO-DESEMILLADO

Z.E.P= Peso de zapallo fresco pre-cortado (g)

D.Z= Peso del endocarpio y epicarpio del zapallo (g)

P.Z= Peso de la pulpa de zapallo (g)

X_{ZEP}^{CC} = Composición comestible de zapallo

X_{ZEP}^{CNC} = Composición no-comestible de zapallo

SEC-002: LAVADO

A.L= Peso del agua potable de lavado (g)

A.R= Peso del agua residual (g)

P.L.Z= Peso de la pulpa pre-cortada lavada de zapallo (g)

d = densidad del agua a 20°C (g/ml)

SEC-003: CORTADO

R.Z.P = Peso de pérdidas de recorte de rodajas de zapallo (g)

R.Z = Peso de rodajas de zapallo (g)

X_{PLZ}^{PRZ} = Composicion de perdida de recortes de la rodajas de zapallo

X_{PLZ}^{RZ} = Compacion de rodajas de zapallo

SEC-004: TRATAMIENTO CON SOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

S.A = Peso de la solución con ácido cítrico (g)

S.A.R = Peso de la solución residual (g)

R.Z.A = Peso de rodajas de zapallo con ácido (g)

SEC-005: SECADO

G₁= Peso del aire en la entrada (kg)

G₂= Peso del aire a la salida (kg)

Y₁= Humedad absoluta del aire a la entrada (kg vapor/kg aire seco)

Y₂= Humedad absoluta del aire a la salida (kg vapor/kg aire seco)

R.Z.D= Peso de rodajas de zapallo deshidratadas (g)

X_{RZA}= Humedad en base seca del zapallo a la entrada (kg agua/kg solido seco)

X_{RZD}= Humedad en base seca del zapallo a la salida (kg agua/kg solido seco)

SEC-006: MOLIENDA

P.H.Z= Peso de pérdida de harina de zapallo (g)

H.Z= Peso de harina de zapallo (g)

SEC-007: TAMIZADO

P.T= Peso de perdida de harina de zapallo en el tamizado (g)

%H.Z.T= Porcentaje de perdida de Harina de zapallo en el tamizado

H.Z.R.G= Peso de harina de zapallo con las demás granulometría (g)

H.Z.G.S= Peso de harina de zapallo con granulometría seleccionada de 0,25mm (g)

X_{HZ}^{HZRG} = Composición de harina de zapallo de las demás granulometrías

X_{HZ}^{HZGS} = Composición de harina de zapallo con granulometría seleccionada

SEC-008: MEZCLADO

H.Z.G.S= Peso de harina de zapallo con granulometría seleccionada (0,25mm), (g)

H.A.G.S= Peso de harina de amaranto con granulometría seleccionada (0,25mm), (g)

R.H.Z= Peso de residuo de harina de zapallo (g)

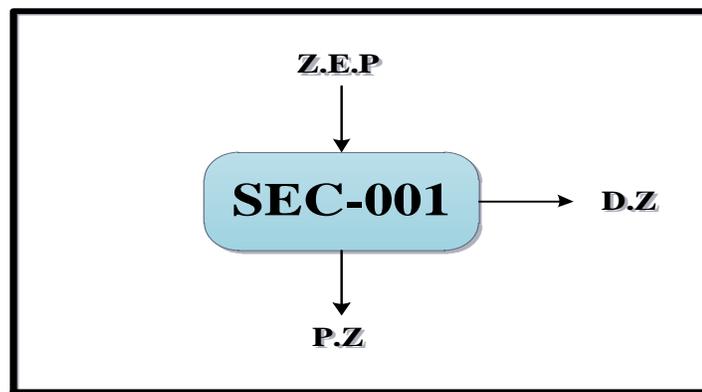
H.C.Z.A= Peso de harina compuesta de zapallo-amaranto (g)

4.1.1 BALANCE DE MATERIA - ENERGIA A TEMPERATURA DE 60°C Y UN ESPESOR DE 1.5mm

BALANCE DE MATERIA:

SEC-001: PELADO-DESEMILLADO

Figura IV- 1 Balance de materia en el proceso de pelado-desemillado del zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

DATOS:

$$Z.E.P = 10470 \text{ g}$$

$$X_{ZEP}^{CC} = 0.464 \text{ (dato promedio de la porción comestible)}$$

$$X_{ZEP}^{CNC} = 0.536 \text{ (dato promedio de la porción no- comestible)}$$

Balance global de materia en la SEC-001:

$$Z. E. P = D. Z + P. Z \quad \text{Ec. IV - 1}$$

Balance parcial de materia para la composición comestible de zapallo:

$$Z. E. P * X_{ZEP}^{CC} = D. Z * X_{DZ}^{CC} + P. Z * X_{PZ}^{CC} \quad \text{Ec. IV - 2}$$

$$Z. E. P * X_{ZEP}^{CC} = P. Z * X_{PZ}^{CC}$$

$$P.Z = \frac{Z.E.P * X_{ZEP}^{CC}}{X_{PZ}^{CC}}$$

$$P.Z = \frac{10470 * 0.464}{1}$$

$$P.Z = 4858,080 \text{ g}$$

Balance parcial de materia para la composición no-comestible de zapallo:

$$Z.E.P * X_{ZEP}^{CNC} = D.Z * X_{DZ}^{CNC} + P.Z * X_{PZ}^{CNC} \quad \text{EC.IV-3}$$

$$Z.E.P * X_{ZEP}^{CNC} = D.Z * X_{DZ}^{CNC}$$

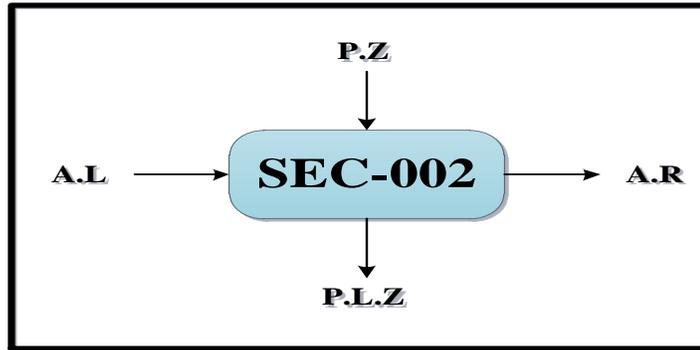
$$D.Z = \frac{Z.E.P * X_{ZEP}^{CNC}}{X_{DZ}^{CNC}}$$

$$D.Z = \frac{10470 * 0.536}{1}$$

$$D.Z = 5611,920 \text{ g}$$

SEC-002: LAVADO

Figura IV- 2 Balance de materia en el proceso de lavado de la pulpa del zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

DATOS:

P.Z= 4858,080 g

A.L= 5200 ml

d = 0,998 g/ml

Calcular el peso de agua utilizada en el lavado de la pulpa de zapallo:

$$A.L = 5200\text{ml} * 0,998 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \quad \text{Ec. IV - 4}$$

$$A.L = 5189,6 \text{ g}$$

Sabiendo que la pulpa pre-cortada lavada tiene un 3,086% en peso incorporado al peso inicial de la pulpa de zapallo, por tanto:

$$P.L.Z = P.Z * (1 + 0,031) \quad \text{Ec. IV - 5}$$

$$P.L.Z = 4858,080\text{g} * (1 + 0,031)$$

$$P.L.Z = 5008,680\text{g}$$

Balance global de materia en la SEC-002:

$$A. L + P. Z = A. R + P. L. Z \quad \text{EC. IV - 5}$$

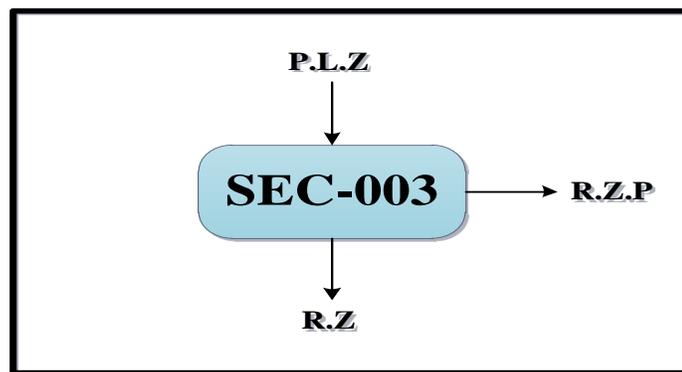
$$A. R = A. L + P. Z - P. L. Z$$

$$A. R = 5189,6 \text{ g} + 5200 \text{ g} - 5008,680 \text{ g}$$

$$A. R = 5380,920 \text{ g}$$

SEC-003: CORTADO

Figura IV- 3 Balance de materia en el proceso de cortado de la pulpa del zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

DATOS

$$P.L.Z = 5008,680 \text{ g}$$

$$X_{PLZ}^{PRZ} = 0,046$$

$$X_{PLZ}^{RZ} = 0,954$$

Balance global de materia de la sec-003:

$$P. L. Z = R. Z. P + R. Z \quad \text{Ec. IV - 6}$$

Balance parcial de la composición de pérdidas de rodajas de zapallo:

$$P. L. Z * X_{PLZ}^{PRZ} = R. Z. P * X_{RZP}^{PRZ} + R. Z * X_{RZ}^{PRZ} \quad \text{Ec. IV - 7}$$

$$\begin{matrix} & 1 & 0 \\ & \nearrow & \nearrow \end{matrix}$$

$$P. L. Z * X_{PLZ}^{PRZ} = R. Z. P * X_{RZP}^{PRZ} + R. Z * X_{RZ}^{PRZ}$$

$$R. Z. P = \frac{P. L. Z * X_{PLZ}^{PRZ}}{X_{RZP}^{PRZ}}$$

$$R. Z. P = \frac{5008,680g * 0,046}{1}$$

$$\mathbf{R. Z. P = 230,390g}$$

Balance parcial de la composición de rodajas de zapallo

$$P. L. Z * X_{PLZ}^{RZ} = R. Z. P * X_{RZP}^{RZ} + R. Z * X_{RZ}^{RZ} \quad \mathbf{EC. IV - 8}$$

$$P. L. Z * X_{PLZ}^{RZ} = R. Z. P * X_{RZP}^{RZ} + R. Z * X_{RZ}^{RZ}$$

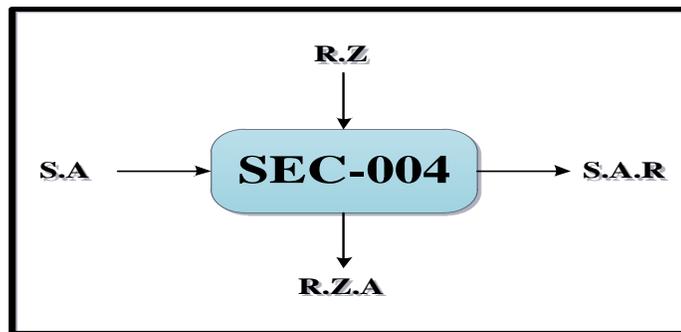
$$R. Z = \frac{P. L. Z * X_{PLZ}^{RZ}}{X_{RZP}^{RZ}}$$

$$R. Z = \frac{5008,680g * 0,954}{1}$$

$$\mathbf{R. Z. = 4778,281g}$$

SEC-004: TRATAMIENTO CON SOLUCION DE ÁCIDO CÍTRICO

Figura IV- 4 Balance de materia en el proceso de tratamiento con solución de ácido a las rodajas de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Datos

R.Z= 4778,281g

S.A=4200gr

Sabiendo que las rodajas de zapallo con ácido salen con un peso incorporado al 21,205% respecto a las rodajas de zapallo inicialmente ingresadas, por tanto:

$$R. Z. A = R. Z * (1 + 0,212) \quad \text{Ec. IV - 9}$$

$$R. Z. A = 4778,281g * (1 + 0,212)$$

$$\mathbf{R. Z. A = 5791,277g}$$

Balance global de materia en la Sec-004:

$$R. Z + S. A = S. A. R + R. Z. A \quad \text{Ec. IV - 10}$$

$$S. A. R = R. Z + S. A - R. Z. A$$

$$S. A. R = 4778,281g + 4200g - 5791,277g$$

$$\mathbf{S. A. R = 3187,004g}$$

SEC-005: SECADO

En la sección de secado se utiliza “X” para el componente agua del zapallo, para la humedad que tienen el aire se utiliza “Y” y “XS” para el sólido seco.

Para encontrar las propiedades del aire de entrada y salida se utilizan los datos de t_{bs} y t_{bh} (ver tabla II-5); donde estos se introducen en el diagrama psicométrico que fue diseñada a la altura de la ciudad de Tarija de 1866msnm (anexo C) y se da lectura de las humedades absolutas del aire, porcentajes de humedad relativa y entalpías, como se muestra en la tabla IV-1.

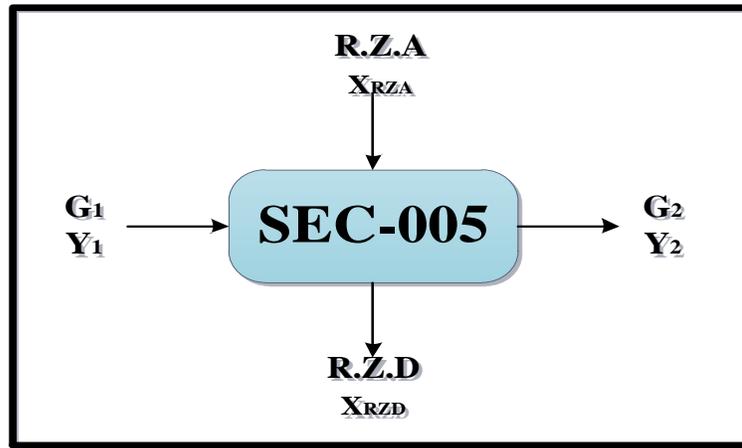
Tabla IV- 1 Datos de las propiedades del aire para temperaturas y espesores diferentes

Propiedades	Entrada de aire				Salida de aire			
	60°C 1.5mm	60°C 3mm	70°C 1.5mm	70°C 3mm	60°C 1.5mm	60°C 3mm	70°C 1.5mm	70°C 3mm
$Y = \frac{\text{kg agua}}{\text{kg a. s}}$	0,011	0,0145	0,012	0,014	0,045	0,0475	0,0489	0,0395
$H = \frac{\text{kcal}}{\text{kg a. s}}$	6	7	6,5	6,8	22,5	23,5	23,9	19
	H_{G1}				H_{G2}			
%HR	39	40	45	48	79	70	80,6	74

Fuente: Elaboración propia, 2016

[Y: Humedad absoluta, H: Entalpia absoluta, %HR: porcentaje de humedad relativa].

Figura IV- 5 Balance de materia en el proceso de secado de las rodajas del zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

DATOS:

$$\mathbf{R.Z.A} = 5791,277\text{g}$$

$$\mathbf{X_{RZA}} = 21,729\text{kg agua/kg solido seco}$$

$$\mathbf{X_{RZD}} = 0,024\text{kg agua/kg solido seco}$$

$$\mathbf{R.Z.D} = 255\text{g}$$

Balance global de materia de la sec-005: secado

$$\mathbf{R.Z.A + G_1 = R.Z.D + G_2} \quad \mathbf{Ec. IV - 11}$$

Balance parcial de materia para humedad en el proceso de secado

$$\mathbf{R.Z.A * X_{RZA} + G_1 * Y_1 = R.Z.D * X_{RZD} + G_2 * Y_2} \quad \mathbf{Ec. IV - 12}$$

Considerando un sistema abierto tenemos:

$$\mathbf{mss = R.Z.A = R.Z.D = \text{cantidad de materia seca (g)}}$$

$$\mathbf{G = G_1 = G_2 = \text{Cantidad de aire seco (kg)}}$$

La cantidad de materia seca (mss) es de 255g de una cantidad de 10470g de zapallo.

En la Ec. IV-12 se reemplaza las consideraciones realizadas para un sistema abierto:

$$m_{ss} * X_{RZA} + G * Y_1 = m_{ss} * X_{RZD} + G * Y_2 \quad \text{Ec. IV - 13}$$

$$m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD}) = G * (Y_2 - Y_1)$$

Despejando G tenemos de la Ec.IV-13:

$$G = \frac{m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD})}{(Y_2 - Y_1)}$$

Calculamos la masa de agua evaporada AE:

$$A. E = m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD}) \quad \text{Ec. IV - 14}$$

$$AE = 0,255 \frac{\text{kg sólido seco}}{\text{kg sólido seco}} * (21,729 - 0,024) \frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólido seco}}$$

$$\mathbf{A. E = 5,535 \text{ kg agua}}$$

Con la Ec.IV-13 calculamos la cantidad de aire:

$$G = \frac{5,535 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólido seco}}}{(0,045 - 0,011) \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}}$$

$$\mathbf{G = 162,794 \text{ kg aire seco}}$$

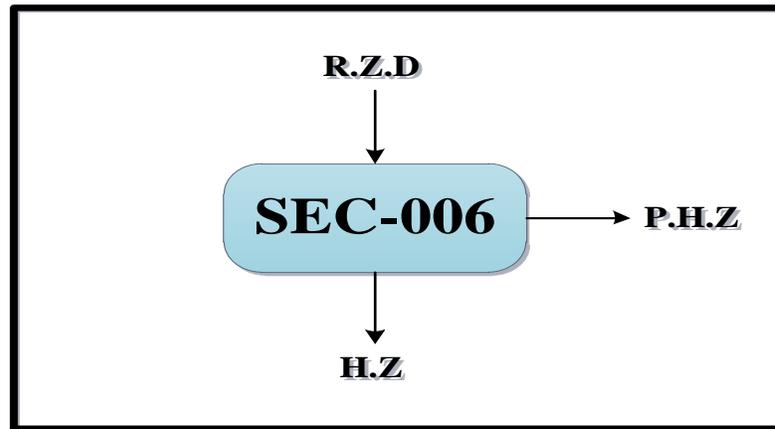
Calculamos el flujo másico de aire dividiendo entre el tiempo de secado:

$$\frac{G}{t_{\text{secado}}} = \frac{162,794 \text{ kg de aire seco}}{30\text{h}} \quad \text{EC. IV - 15}$$

$$\frac{G}{t_{\text{secado}}} = 5,426 \frac{\text{kg de aire seco}}{\text{h}}$$

SEC-006: MOLIENDA

Figura IV- 6 Balance de materia en el proceso de molienda de las rodajas
Deshidratadas de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

DATOS

R.Z.D = 255g

HZ = 210,630g

Balance global de materia en la sec-006:

$$R.Z.D = P.H.Z + H.Z \quad \text{Ec. IV - 16}$$

$$P.H.Z = R.Z.D - H.Z$$

$$P.H.Z = 255g - 210,630g$$

$$P.H.Z = 44,370g$$

SEC-007: TAMIZADO

En la etapa de tamizado se separaron las diferentes granulometrías de harina de zapallo para darles diferentes aplicaciones, pero como objetivo de estudio de acuerdo a datos bibliográficos se trabajó con harina de zapallo cuya granulometría atravesase el número de malla 0,25mm.

En la tabla IV-2 se muestra el porcentaje y peso de harina de zapallo presente en cada malla, cuyo peso inicial previo al tamizado era 210,630g de harina de zapallo.

Tabla IV- 2 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de malla

N° malla (mm)	Peso de la harina(g)	Porcentaje de la harina %
1	8,669	4,786
0,5	13,624	7,521
0,25	76,744	42,367
0,063	62,777	34,656
Tamiz colector	19,328	10,670
TOTAL	181,142	100
Perdida	29,488	

Fuente: Elaboración propia, 2016

Se realizó el cálculo de pérdida en la etapa de tamizado por diferencia de peso inicial de 210,630g y peso final obtenido de 181.142g.

DATOS

HZ= 210,630(g)

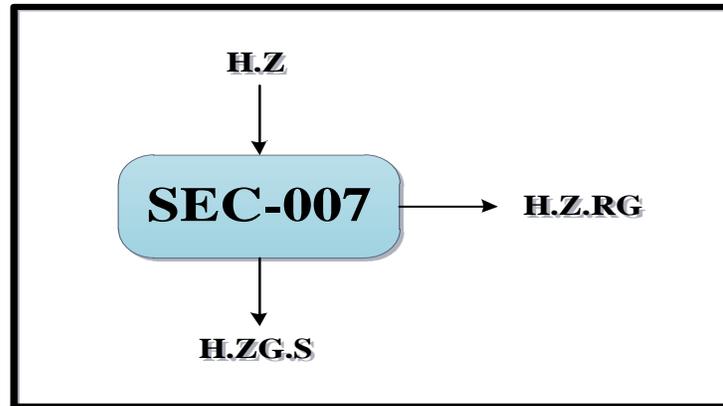
P.T= 29,488 (g)

$$\% \text{ H. Z. T} = \text{P. T} * \frac{100}{\text{H. Z.}} \quad \text{Ec. IV - 17}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = 29,488\text{g} * \frac{100}{210,630\text{g}}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = 14$$

Figura IV- 7 Balance de materia en el proceso de Tamizado de la harina de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

DATOS

$$H.Z = 210,630(g)$$

$$X_{HZ}^{HZRG} = 0,653$$

$$X_{HZ}^{HZGS} = 0,347$$

Balance global de materia en la Sec-007:

$$H.Z = H.Z.R.G + H.Z.G.S \quad \text{Ec. IV - 18}$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo con granulometría que pase la malla 0,25mm.

$$H.Z * X_{HZ}^{HZGS} = H.Z.R.G * X_{HZ}^{HZGS} + H.Z.G.S * X_{HZ}^{HZGS} \quad \text{Ec. IV - 19}$$

$$H.Z * X_{HZ}^{HZGS} = H.Z.R.G * \overset{0}{\cancel{X_{HZ}^{HZGS}}} + H.Z.G.S * \overset{1}{\cancel{X_{HZ}^{HZGS}}}$$

$$H.Z.G.S = \frac{H.Z * X_{HZ}^{HZGS}}{X_{HZ}^{HZGS}}$$

$$H. Z. G. S = \frac{210,630 \text{ g} * 0,347}{1}$$

$$H. Z. G. S = 73,089 \text{ g}$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo de las demás granulometrías.

$$H. Z * X_{HZ}^{HZRG} = H. Z. R. G * X_{HZ}^{HZRG} + H. Z. G. S * X_{HZ}^{HZRG} \quad \text{Ec. IV - 20}$$

$$H. Z * X_{HZ}^{HZRG} = H. Z. R. G * X_{HZ}^{HZRG} + H. Z. G. S * X_{HZ}^{HZRG}$$

$$H. Z. R. G = \frac{H. Z * X_{HZ}^{HZRG}}{X_{HZ}^{HZRG}}$$

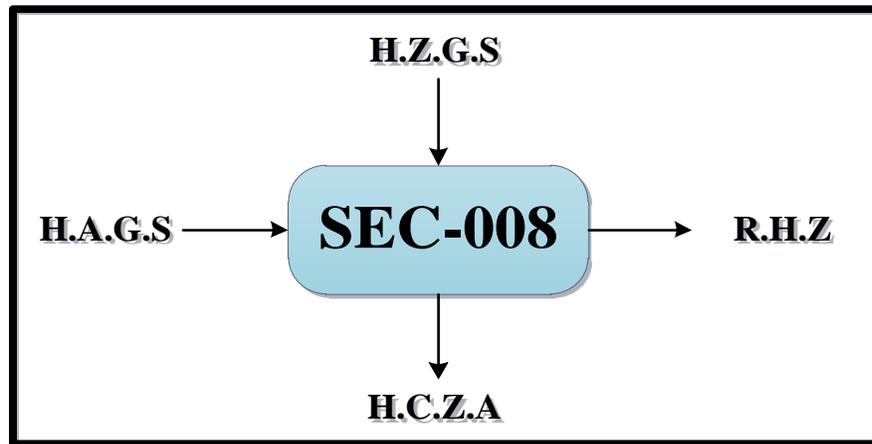
$$H. Z. R. G = \frac{210,630 \text{ g} * 0,653}{1}$$

$$H. Z. R. G = 137,541 \text{ g}$$

SEC-008: MEZCLADO

De acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo II (sección 2.5.3), se determinó que la proporción adecuada de mezclado es de 30% harina de amaranto y 70% harina de zapallo mejorando así la calidad de proteína en una harina compuesta.

Figura IV- 8 Balance de materia en el proceso de mezclado de harina de zapallo-amaranto



Fuente: Elaboración propia ,2016

DATOS:

$$\text{H.Z.G.S} = 73,089 \text{ g}$$

$$\text{H.A.G.S} = 30\text{g}$$

$$\text{H.C.Z.A} = 100\text{g}$$

$$X_{\text{HZGS}} = 0,70$$

$$X_{\text{HAGS}} = 0,30$$

Balance global de materia en la Sec-008:

$$\text{H.Z.G.S} + \text{H.A.G.S} = \text{R.H.Z} + \text{H.C.Z.A} \quad \text{Ec. IV - 21}$$

$$\text{R.H.Z} = \text{H.Z.G.S} + \text{H.A.G.S} - \text{H.C.Z.A}$$

$$\text{R.H.Z} = 73,089 \text{ g} + 30\text{g} - 100\text{g}$$

$$\text{R.H.Z} = 3,089 \text{ g}$$

$$\text{H.Z.G.S} + \text{H.A.G.S} = 73,089 \text{ g} + 30\text{g} \quad \text{Ec. IV - 22}$$

$$\text{H.Z.G.S} + \text{H.A.G.S} = 103,089 \text{ g}$$

$$(H. Z. G. S + H. A. G. S) - R. H. Z = 103,089 \text{ g} - 3,089 \text{ g} \quad \text{Ec. IV-24}$$

$$(H. Z. G. S + H. A. G. S) - R. H. C = 100\text{g}$$

Calculo de la cantidad de harina de zapallo y de harina de amaranto a mezclar:

$$H. Z. G. S = 100\text{g} * 0,70 = 70\text{g} \quad \text{Ec. IV - 25}$$

$$H. A. G. S = 100\text{g} * 0,30 = 30\text{g} \quad \text{Ec. IV - 26}$$

BALANCE DE ENERGÍA

SEC-005: SECADO

En la sección de secado mediante el balance de energía calculamos la energía consumida por el secador.

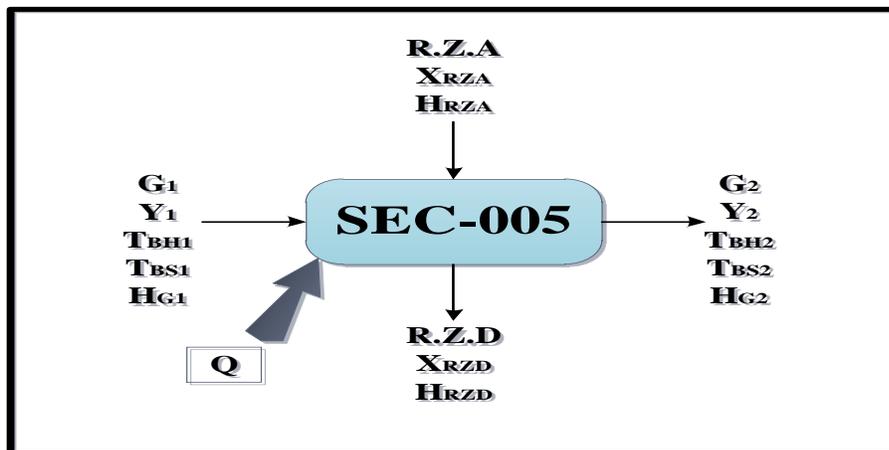
Los datos de entalpia H_{RZA} y H_{RZD} se hallan mediante las tablas de propiedades del agua saturada con las temperaturas de entrada y salida del secador. (Anexo C), dichos datos se muestran en la tabla IV-3.

Tabla IV- 3 Datos de entalpia de entrada y salida en la sección de secado

	Entalpias de entrada		Entalpias de salida	
	H_{RZA}		H_{RZD}	
	kJ/kg	kcal/kg	kJ/kg	Kcal/kg
60°C-1.5mm (31°C)	129,8	31,002	251,1	59,974
60°C-3mm (29°C)	121,5	29,020		
70°C-1.5mm (28°C)	117,3	28,017	293	69,982
70°C-3mm (26°C)	108,9	26,010		

Fuente: Elaboración propia, 2016

Figura IV- 9 Balance de energía en el proceso de secado para
Obtener harina de zapallo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Balance general de energía en la sec-005:

$$H_{ENTRADA} - H_{SALIDA} + Q = 0 \quad \text{Ec. IV - 27}$$

$$R.Z.A * H_{RZA} + G_1 * H_{G1} + Q = R.Z.D * H_{RZD} + G_2 * H_{G2} \quad \text{Ec. IV - 28}$$

Si consideramos un sistema abierto se tiene:

$m_{ss} = R.Z.A = R.Z.D =$ Cantidad de materia seca (kg)

$G = G_1 = G_2 =$ Cantidad de aire (kg)

Reemplazamos en la EC.33 las consideraciones para un sistema abierto:

$$m_{ss} * H_{RZA} + G * H_{G1} + Q = m_{ss} * H_{RZD} + G * H_{G2} \quad \text{Ec. IV - 29}$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{ss} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{ss} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{ss} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

DATOS:

$G = 162,794$ kg aire seco

$H_{RZA} = 129,8$ kJ/kg

$m_{ss} = 255g = 0,255$ kg

$H_{RZD} = 251,1$ kJ/kg

$H_{G2} = 22,5 \text{ kcal/kg solido seco} = 94,203 \text{ kJ/kg solido seco}$

$H_{G1} = 6 \text{ cal/kg solido seco} = 25,121 \text{ kJ/kg solido seco}$

$$Q = 162,794 \text{ kg aire seco} * \frac{(94,203 - 25,121)\text{kJ}}{\text{kg}} + 0,255\text{kg} * \frac{(251,1 - 129,8)\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 11277,067 \text{ kJ} * \frac{1\text{cal}}{4,1868 * 10^{-3}\text{kJ}} * \frac{1\text{kcal}}{1000\text{cal}} = 2693,481 \text{ kcal}$$

Considerando un rendimiento del 80% en el secador:

$$Q = \frac{2693,481 \text{ kcal}}{0,8} = 3366,851 \text{ kcal}$$

Calculo de flujo de calor durante el tiempo de secado de las rodajas de zapallo:

$$\frac{Q}{t_{\text{secado}}} = \frac{3366,851 \text{ kcal}}{30 \text{ h}} = \frac{112,228 \text{ kcal}}{\text{h}}$$

Con el dato de flujo de calor calculamos la potencia:

$$P_o = \frac{112,228 \text{ kcal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kw}}{859,824 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}} \rightarrow P_o = 0,131 \text{ kW}$$

$$\text{Energia} = P_o * t = 0,131 \text{ kW} * 30 \text{ h} \rightarrow \text{Energia} = 3,930 \text{ kWh}$$

La energía consumida por el secador, por cada una de las muestras es de 3,930 kWh y para encontrar el costo de la energía consumida se multiplica la energía por el tiempo de trabajo de este:

$$\text{Costo} = 3,930 \text{ kWh} * 0,60 \frac{\text{Bs}}{\text{kWh}} \rightarrow \text{Costo} = 2,358 \text{ bs}$$

SEC-006: MOLIENDA

La energía consumida se calcula con los datos obtenidos en la tabla de especificaciones del molino.

Las condiciones en la molienda son:

Potencia (P_o)= 750W

Tiempo (t)= 30minutos = 0,5h

Se considera un 79% de rendimiento que se tiene en el molino:

$$\frac{750W}{0,79} = 949,367W = 0,949kW$$

$$\text{Energía} = P_o * t = 0,949kW * 0,5h \rightarrow \text{Energía} = 0,475kWh$$

La energía consumida por el tamiz, por cada una de las muestras es de 0,475kWh y para encontrar el costo de la energía consumida se multiplica la energía por el tiempo de trabajo de este:

$$\text{Costo} = 0,475kWh * 0,60 \text{ Bs/kWh} \rightarrow \text{Costo} = \mathbf{0,285bs}$$

SEC-007: TAMIZADO

Se considera 79% de rendimiento que se tiene en la sección de tamizado de la harina de zapallo.

Las condiciones en el tamizado son:

Potencia (P_o)= 80W

Tiempo (t)= 45 minutos = 0,750 h

$$\frac{80W}{0,79} = 101,266W = 0,101kW$$

$$\text{Energía} = P_o * t = 0,101kW * 0,75h \rightarrow 0,076 kWh$$

La energía consumida por el tamiz, por cada una de las muestras es de 0,076kWh y para encontrar el costo de la energía consumida se multiplica la energía por el tiempo de trabajo de este:

$$\text{Costo} = 0,076kWh * 0,60 \text{ Bs/kWh} \rightarrow \text{Costo} = \mathbf{0,046bs}$$

4.1.2 BALANCE DE MATERIA - ENERGÍA A TEMPERATURA DE 70°C Y UN ESPESOR DE 1.5mm

BALANCE DE MATERIA:

El balance de materia para las secciones de pelado-desemillado, lavado y cortado es el mismo que se calculó para una temperatura 60°C y espesor de 1,5 mm de rodajas de zapallo.

SEC-005: SECADO**Datos:****R.Z.A**= 5791,277g**X_{RZD}**= 0,049 kg agua/kg solido seco**X_{RZA}**= 22,561 kg agua/kg solido seco**R.Z.D**=246g

Balance global de materia de la sec-005: secado

$$R.Z.A + G_1 = R.Z.D + G_2$$

Balance parcial de materia para humedad en el proceso de secado

$$R.Z.A * X_{RZA} + G_1 * Y_1 = R.Z.D * X_{RZD} + G_2 * Y_2$$

Considerando un sistema abierto tenemos:

m_{ss} = R.Z.A = R.Z.D = cantidad de materia seca (g)G=G₁=G₂= Cantidad de aire seco (kg)

La cantidad de materia seca (m_{ss}) es de 246g de una cantidad de 10470g de zapallo. se reemplaza las consideraciones realizadas para un sistema abierto en la siguiente ecuación:

$$R.Z.A * X_{RZA} + G_1 * Y_1 = R.Z.D * X_{RZD} + G_2 * Y_2$$

$$m_{ss} * X_{RZA} + G * Y_1 = m_{ss} * X_{RZD} + G * Y_2$$

$$m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD}) = G * (Y_2 - Y_1)$$

$$G = \frac{m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD})}{(Y_2 - Y_1)}$$

Calculamos la cantidad de aire:

$$G = \frac{5,538 \text{ kg agua}}{(0,0489 - 0,012) \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}}$$

$$G = 150,081 \text{ kg aire seco}$$

Calculamos el flujo másico de aire dividiendo entre el tiempo de secado:

$$\frac{G}{t_{\text{secado}}} = \frac{150,081 \text{ kg de aire seco}}{25,5\text{h}} = 5,886 \frac{\text{kg de aire seco}}{\text{h}}$$

SEC-006: MOLIENDA

Datos

$$\mathbf{R.Z.D} = 246\text{g}$$

$$\mathbf{HZ} = 194,340\text{g}$$

Balance global de materia en la sec-006:

$$\mathbf{R.Z.D} = \mathbf{P.H.Z} + \mathbf{H.Z}$$

$$\mathbf{P.H.Z} = \mathbf{R.Z.D} - \mathbf{H.Z}$$

$$\mathbf{P.H.Z} = 246\text{g} - 194,340\text{g}$$

$$\mathbf{P.H.Z} = 51,660\text{g}$$

SEC-007: TAMIZADO

En la tabla IV-4 se muestra el porcentaje y peso de harina de zapallo presente en cada malla, cuyo peso inicial previo al tamizado era 194,340g g de harina de zapallo.

Tabla IV- 4 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de malla

Nº malla (mm)	Peso de la harina(g)	Porcentaje de la harina %
1	2,768	1.803
0,5	4,344	2,830
0,25	70,234	45,747
0,063	59,232	38,581
Tamiz colector	16,950	11,041
Total	153.528	100
Perdida	40,812	

Fuente: Elaboración propia, 2016

Se realizó el cálculo de pérdida en la etapa de tamizado por diferencia de peso inicial de 194,340g y peso final obtenido de 153.528g.

Datos

H.Z= 194,340(g)

P.T= 40,812g (g)

$$\% \text{ H. Z. T} = \text{P. T} * \frac{100}{\text{H. Z.}}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = 40,812\text{g} * \frac{100}{194,340\text{g}}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = 21$$

Datos

H.Z=194,340g

$X_{\text{HZ}}^{\text{HZRG}} = 0,614$

$X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}} = 0,386$

Balance global de materia en la Sec-007:

$$\text{H. Z} = \text{H. Z. R. G} + \text{H. Z. G. S}$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo con granulometría que pase la malla 0,25mm.

$$H. Z * X_{HZ}^{HZGS} = H. Z. R. G * X_{HZ}^{HZGS} + H. Z. G. S * X_{HZ}^{HZGS}$$

$$H. Z * X_{HZ}^{HZGS} = H. Z. R. G * X_{HZ}^{0,25} + H. Z. G. S * X_{HZ}^{1,25}$$

$$H. Z. G. S = \frac{H. Z * X_{HZ}^{HZGS}}{X_{HZ}^{HZGS}} = \frac{194,340g * 0,386}{1} = 75,015 g$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo de las demás granulometrías.

$$H. Z * X_{HZ}^{HZRG} = H. Z. R. G * X_{HZ}^{HZRG} + H. Z. G. S * X_{HZ}^{HZRG}$$

$$H. Z. R. G = \frac{H. Z * X_{HZ}^{HZRG}}{X_{HZ}^{HZRG}} = \frac{194,340g * 0,614}{1} = 119,325 g$$

SEC-008: MEZCLADO

Datos:

$$H.Z.G.S = 75,015 g$$

$$X_{HZGS} = 0,70$$

$$H.A.G.S = 30g$$

$$X_{HAGS} = 0,30$$

$$H.C.Z.A = 100g$$

Balance global de materia en la Sec-008:

$$H. Z. G. S + H. A. G. S = R. H. Z + H. C. Z. A$$

$$R. H. Z = H. Z. G. S + H. A. G. S - H. C. Z. A$$

$$R. H. Z = 75,015 \text{ g} + 30\text{g} - 100\text{g}$$

$$\mathbf{R. H. Z = 5,015 \text{ g}}$$

$$H. Z. G. S + H. A. G. S = 75,015 \text{ g} + 30\text{g}$$

$$H. Z. G. S + H. A. G. S = 105,015\text{g}$$

$$(H. Z. G. S + H. A. G. S) - R. H. Z = 105,015\text{g} - 5,015 \text{ g}$$

$$(H. Z. G. S + H. A. G. S) - R. H. Z = 100\text{g}$$

Calculo de la cantidad de harina de zapallo y de harina de amaranto a mezclar:

$$\mathbf{H. Z. G. S = 100\text{g} * 0,70 = 70\text{g}}$$

$$\mathbf{H. A. G. S = 100\text{g} * 0,30 = 30\text{g}}$$

BALANCE DE ENERGÍA

SEC-005: SECADO

En la sección de secado mediante el balance de energía calculamos la energía consumida por el secador.

Balance general de energía en la sec-005:

$$H_{ENTRADA} - H_{SALIDA} + Q = 0$$

$$R. Z. A * H_{RZA} + G_1 * H_{G1} + Q = R. Z. D * H_{RZD} + G_2 * H_{G2}$$

Si consideramos un sistema abierto se tiene:

$$m_{ss} = R. Z. A = R. Z. D = \text{Cantidad de materia seca (kg)}$$

$$G = G_1 = G_2 = \text{Cantidad de aire (kg)}$$

Reemplazamos las consideraciones para un sistema abierto en la siguiente ecuación:

$$m_{ss} * H_{RZA} + G * H_{G1} + Q = m_{ss} * H_{RZD} + G * H_{G2}$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{ss} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{ss} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{ss} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

Datos:

$$G = 150,081 \text{ kg aire seco}$$

$$H_{G2} = 23,9 \text{ kcal/kg solido seco} = 100,065 \text{ kJ/kg solido seco}$$

$$H_{G1} = 6,5 \text{ cal/kg solido seco} = 27,214 \text{ kJ/kg solido seco}$$

$$m_{ss} = 246 \text{ g} = 0,246 \text{ kg}$$

$$H_{RZA} = 117,3 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{RZD} = 293 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = 150,081 \text{ kg aire seco} * \frac{(100,065 - 27,214) \text{ kJ}}{\text{kg}} + 0,246 \text{ kg} * \frac{(293 - 117,3) \text{ kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 10976,773 \text{ kJ} * \frac{1 \text{ cal}}{4,1868 * 10^{-3} \text{ kJ}} * \frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ cal}} = 2621,757 \text{ kcal}$$

Considerando un rendimiento del 80% en el secador:

$$Q = \frac{2621,757 \text{ kcal}}{0,8} = 3277,197 \text{ kcal}$$

Calculo de flujo de calor durante el tiempo de secado de las rodajas de zapallo:

$$\frac{Q}{t_{\text{secado}}} = \frac{3277,197 \text{ kcal}}{25,5 \text{ h}} = \frac{128,518 \text{ kcal}}{\text{h}}$$

Con el dato de flujo de calor calculamos la potencia:

$$P_o = \frac{128,518 \text{ kcal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kW}}{859,824 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}} \rightarrow P_o = 0,149 \text{ kW}$$

$$\text{Energia} = P_o * t = 0,149 \text{ kW} * 25,5 \text{ h} \rightarrow \text{Energia} = 3,811 \text{ kWh}$$

La energía consumida por el secador, por cada una de las muestras es de 3,811kWh y para encontrar el costo de la energía consumida se multiplica la energía por el tiempo de trabajo de este:

$$\text{Costo} = 3,811\text{kWh} * 0,60 \frac{\text{Bs}}{\text{kWh}} \rightarrow \text{Costo} = 2,287 \text{ bs}$$

La energía consumida por los equipos: molino y tamizador es la misma que se calculó en la sección 4.1.1, porque se realizó el mismo tiempo de trabajo.

4.1.3 BALANCE DE MATERIA - ENERGÍA A TEMPERATURA DE 70°C Y UN ESPESOR DE 3mm

BALANCE DE MATERIA

El balance de materia para las secciones de pelado-desemillado y lavado es el mismo que se calculó para una temperatura 60°C y espesor de 1,5 mm de rodajas de zapallo.

SEC-003: CORTADO

Datos

$$P.L.Z = 5008,680\text{g}$$

$$X_{PLZ}^{PRZ} = 0,017$$

$$X_{PLZ}^{RZ} = 0,983$$

Balance global de materia de la sec-003:

$$P.L.Z = R.Z.P + R.Z$$

Balance parcial de la composición de pérdidas de rodajas de zapallo:

$$P.L.Z * X_{PLZ}^{PRZ} = R.Z.P * X_{RZP}^{PRZ} + R.Z * X_{RZ}^{PRZ}$$

$$P.L.Z * X_{PLZ}^{PRZ} = R.Z.P * X_{RZP}^{PRZ} + R.Z * X_{RZ}^{PRZ}$$

$$R. Z. P = \frac{P. L. Z * X_{PLZ}^{PRZ}}{X_{RZP}^{PRZ}}$$

$$R. Z. P = \frac{5008,680g * 0,017}{1} = 85.148g$$

Balance parcial de la composición de rodajas de zapallo

$$P. L. Z * X_{PLZ}^{RZ} = R. Z. P * X_{RZP}^{RZ} + R. Z * X_{RZ}^{RZ}$$

$$P. L. Z * X_{PLZ}^{RZ} = R. Z. P * X_{RZP}^{RZ} + R. Z * X_{RZ}^{RZ}$$

$$R. Z = \frac{P. L. Z * X_{PLZ}^{RZ}}{X_{RZP}^{RZ}} = \frac{5008,680g * 0,983}{1} = 4923,532 g$$

SEC-004: TRATAMIENTO CON SOLUCION DE ÁCIDO CÍTRICO

Datos

$$R.Z = 4923,532 g$$

$$S.A = 4200gr$$

Sabiendo que las rodajas de zapallo con ácido salen con un peso incorporado al 17,624% respecto a las rodajas de zapallo inicialmente ingresadas, por tanto:

$$R. Z. A = R. Z * (1 + 0,176)$$

$$R. Z. A = 4923,532 g * (1 + 0,176)$$

$$R. Z. A = 5790,074g$$

Balance global de materia en la Sec-004:

$$R. Z + S. A = S. A. R + R. Z. A$$

$$S. A. R = R. Z + S. A - R. Z. A$$

$$S. A. R = 4923,532 \text{ g} + 4200\text{g} - 5790,074\text{g}$$

$$S. A. R = 3333,458 \text{ g}$$

SEC-005: SECADO

Datos:

$$R.Z.A = 5790,074\text{g}$$

$$R.Z.D = 261\text{g}$$

$$X_{RZA} = 21,207 \text{ kg agua/kg solido seco}$$

$$X_{RZD} = 0,023\text{kg agua/kg solido seco}$$

Balance global de materia de la sec-005: secado

$$R. Z. A + G_1 = R. Z. D + G_2$$

Balance parcial de materia para humedad en el proceso de secado

$$R. Z. A * X_{RZA} + G_1 * Y_1 = R. Z. D * X_{RZD} + G_2 * Y_2$$

Considerando un sistema abierto tenemos:

$$m_{ss} = R.Z.A = R.Z.D = \text{cantidad de materia seca (g)}$$

$$G = G_1 = G_2 = \text{Cantidad de aire seco (kg)}$$

La cantidad de materia seca (mss) es de 246g de una cantidad de 10470g de zapallo.

Se reemplaza las consideraciones realizadas para un sistema abierto:

$$m_{ss} * X_{RZA} + G * Y_1 = m_{ss} * X_{RZD} + G * Y_2$$

$$m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD}) = G * (Y_2 - Y_1)$$

Despejando G tenemos:

$$G = \frac{m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD})}{(Y_2 - Y_1)}$$

Calculamos la cantidad de aire:



$$G = \frac{5,529 \text{ kg agua}}{(0,0395 - 0,014) \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}}$$

$$G = 216,824 \text{ kg aire seco}$$

Calculamos el flujo másico de aire dividiendo entre el tiempo de secado:

$$\frac{G}{t_{\text{secado}}} = \frac{216,824 \text{ kg de aire seco}}{28,5 \text{ h}} = 7,608 \frac{\text{kg de aire seco}}{\text{h}}$$

SEC-006: MOLIENDA

Datos

$$\mathbf{R.Z.D} = 261\text{g}$$

$$\mathbf{HZ} = 233,334\text{g}$$

Balance global de materia en la sec-006:

$$\mathbf{R.Z.D} = \mathbf{P.H.Z} + \mathbf{H.Z}$$

$$\mathbf{P.H.Z} = \mathbf{R.Z.D} - \mathbf{H.Z}$$

$$\mathbf{P.H.Z} = 261\text{g} - 233,334\text{g}$$

$$\mathbf{P.H.Z} = 27,666 \text{ g}$$

SEC-007: TAMIZADO

En la tabla IV-5 se muestra el porcentaje y peso de harina de zapallo presente en cada malla, cuyo peso inicial previo al tamizado era 233,334g de harina de zapallo.

Tabla IV- 5 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de

malla

Nº malla (mm)	Peso de la harina(g)	Porcentaje de la harina %
1	3, 414	1,746
0,5	8, 951	4,578
0,25	104,162	53,272
0,063	60,676	31,032
Tamiz colector	18,325	9,372
TOTAL	195,528	100
Perdida	37,806	

Fuente: Elaboración propia, 2016

Se realizó el cálculo de pérdida en la etapa de tamizado por diferencia de peso inicial de 233,334g y peso final obtenido de 150,827g.

Datos

HZ= 233,334g

P.T=37,806 (g)

$$\% \text{ H. Z. T} = \text{P. T} * \frac{100}{\text{H. Z.}}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = 37,806\text{g} * \frac{100}{233,334\text{g}}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = 16,203$$

Datos

H.Z=233,334g

$X_{\text{HZ}}^{\text{HZRG}} = 0,690$

$X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}} = 0,310$

Balance global de materia en la Sec-007:

$$H. Z = H. Z. R. G + H. Z. G. S$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo con granulometría que pase la malla 0,25mm.

$$H. Z * X_{HZ}^{HZGS} = H. Z. R. G * X_{HZ}^{HZGS} + H. Z. G. S * X_{HZ}^{HZGS}$$

$$H. Z * X_{HZ}^{HZGS} = H. Z. R. G * \overset{0}{\cancel{X_{HZ}^{HZGS}}} + H. Z. G. S * \overset{1}{\cancel{X_{HZ}^{HZGS}}}$$

$$H. Z. G. S = \frac{H. Z * X_{HZ}^{HZGS}}{X_{HZ}^{HZGS}}$$

$$H. Z. G. S = \frac{233,334g * 0,310}{1}$$

$$H. Z. G. S = 72,334 g$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo de las demás granulometrías.

$$H. Z * X_{HZ}^{HZRG} = H. Z. R. G * X_{HZ}^{HZRG} + H. Z. G. S * X_{HZ}^{HZRG}$$

$$H. Z * X_{HZ}^{HZRG} = H. Z. R. G * \overset{1}{\cancel{X_{HZ}^{HZRG}}} + H. Z. G. S * \overset{0}{\cancel{X_{HZ}^{HZRG}}}$$

$$H. Z. R. G = \frac{H. Z * X_{HZ}^{HZRG}}{X_{HZ}^{HZRG}}$$

$$H. Z. R. G = \frac{233,334g * 0,690}{1} = 161$$

SEC-008: MEZCLADO**Datos:**

$$\mathbf{H.Z.G.S=72,334\ g}$$

$$\mathbf{H.A.G.S= 30g}$$

$$\mathbf{H.C.Z.A=100g}$$

$$\mathbf{X_{HZGS} = 0,70}$$

$$\mathbf{X_{HAGS} = 0,30}$$

Balance global de materia en la Sec-008:

$$\mathbf{H. Z. G. S + H. A. G. S = R. H. Z + H. C. Z. A}$$

$$\mathbf{R. H. Z = H. Z. G. S + H. A. G. S - H. C. Z. A}$$

$$\mathbf{R. H. Z = 72,334g + 30g - 100g}$$

$$\mathbf{R. H. Z = 2,334g}$$

$$\mathbf{H. Z. G. S + H. A. G. S = 72,334\ g + 30g}$$

$$\mathbf{H. Z. G. S + H. A. G. S = 102,334\ g}$$

$$\mathbf{(H. Z. G. S + H. A. G. S) - R. H. Z = 102,334\ g - 2,334g}$$

$$\mathbf{(H. Z. G. S + H. A. G. S) - R. H. Z = 100g}$$

Calculo de la cantidad de harina de zapallo y de harina de amaranto a mezclar:

$$\mathbf{H. Z. G. S = 100g * 0,70 = 70g}$$

$$\mathbf{H. A. G. S = 100g * 0,30 = 30g}$$

BALANCE DE ENERGÍA

SEC-005: SECADO

Balance general de energía en la sec-005:

$$H_{ENTRADA} - H_{SALIDA} + Q = 0$$

$$R. Z. A * H_{RZA} + G_1 * H_{G1} + Q = R. Z. D * H_{RZD} + G_2 * H_{G2}$$

Si consideramos un sistema abierto se tiene:

$m_{SS} = R.Z.A = R.Z.D =$ Cantidad de materia seca (kg)

$G = G_1 = G_2 =$ Cantidad de aire (kg)

Reemplazamos las consideraciones para un sistema abierto:

$$m_{SS} * H_{RZA} + G * H_{G1} + Q = m_{SS} * H_{RZD} + G * H_{G2}$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{SS} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{SS} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{SS} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

Datos:

$G = 216,824$ kg aire seco

$H_{G2} = 19$ kcal/kg solido seco = $79,549$ kJ/kg solido seco

$H_{G1} = 6,8$ cal/kg solido seco = $28,470$ kJ/kg solido seco

$m_{SS} = 261$ g = $0,261$ kg

$H_{RZA} = 108,9$ kJ/kg

$H_{RZD} = 293$ kJ/kg

$$Q = 216,824 \text{ kg aire seco} * \frac{(79,549 - 28,470) \text{ kJ}}{\text{kg}} + 0,261 \text{ kg} * \frac{(293 - 108,9) \text{ kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 11123,203 \text{ kJ} * \frac{1 \text{ cal}}{4,1868 * 10^{-3} \text{ kJ}} * \frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ cal}} = 2656,731 \text{ kcal}$$

Considerando un rendimiento del 80% en el secador:

$$Q = \frac{2656,731}{0,8} = 3320,914 \text{ kcal}$$

Calculo de flujo de calor durante el tiempo de secado de las rodajas de zapallo:

$$\frac{Q}{t_{\text{secado}}} = \frac{3320,914 \text{ kcal}}{28,5 \text{ h}} = \frac{116,523 \text{ kcal}}{\text{h}}$$

Con el dato de flujo de calor calculamos la potencia:

$$P_o = \frac{114,854 \text{ kcal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kw}}{859,824 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}} \rightarrow P_o = 0,136 \text{ kW}$$

$$\text{Energia} = P_o * t = 0,136 \text{ kW} * 28,5 \text{ h} \rightarrow \text{Energia} = 3,862 \text{ kWh}$$

La energía consumida por el secador, por cada una de las muestras es de 3,862 kWh y para encontrar el costo de la energía consumida se multiplica la energía por el tiempo de trabajo de este:

$$\text{Costo} = 3,862 \text{ kWh} * 0,60 \frac{\text{Bs}}{\text{kWh}} \rightarrow \text{Costo} = 2,317 \text{ bs}$$

La energía consumida por los equipos: molino y tamiz es el mismo que fue calculado en la sección 4.1.1, porque se utiliza el mismo tiempo de operación.

4.1.4 BALANCE DE MATERIA - ENERGÍA A TEMPERATURA DE 60°C Y UN ESPESOR DE 3mm

BALANCE DE MATERIA:

El balance de materia para los procesos de pelado-desemillado, lavado, cortado y para el tratamiento con ácido es el mismo que se calculó para una temperatura 60°C y espesor de 1,5 mm de rodajas de zapallo.

SEC-005: SECADO**Datos:**

$$R.Z.A = 5790,074 \text{ g}$$

$$X_{RZA} = 22,277 \text{ kg agua/kg solido seco}$$

$$X_{RZD} = 0,024 \text{ kg agua/kg solido seco}$$

$$R.Z.D = 249 \text{ g}$$

Balance global de materia de la sec-005: secado

$$R.Z.A + G_1 = R.Z.D + G_2$$

Balance parcial de materia para humedad en el proceso de secado

$$R.Z.A * X_{RZA} + G_1 * Y_1 = R.Z.D * X_{RZD} + G_2 * Y_2$$

Considerando un sistema abierto tenemos:

$$m_{ss} = R.Z.A = R.Z.D = \text{cantidad de materia seca (g)}$$

$$G = G_1 = G_2 = \text{Cantidad de aire seco (kg)}$$

La cantidad de materia seca (mss) es de 249g de una cantidad de 10470g de zapallo.

Se reemplaza las consideraciones realizadas para un sistema abierto:

$$m_{ss} * X_{RZA} + G * Y_1 = m_{ss} * X_{RZD} + G * Y_2$$

$$m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD}) = G * (Y_2 - Y_1)$$

Despejando G tenemos:

$$G = \frac{m_{ss} * (X_{RZA} - X_{RZD})}{(Y_2 - Y_1)}$$

Calculamos la cantidad de aire:

$$G = \frac{5,541 \text{ kg agua}}{(0,0475 - 0,0145) \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}}} = 167,909 \text{ kg aire seco}$$

Calculamos el flujo másico de aire dividiendo entre el tiempo de secado:

$$\frac{G}{t_{\text{secado}}} = \frac{167,909 \text{ kg de aire seco}}{37,5 \text{ h}} = 4,478 \frac{\text{kg de aire seco}}{\text{h}}$$

SEC-006: MOLIENDA

Datos

$$R.Z.D = 249 \text{ g}$$

$$HZ = 218,495 \text{ g}$$

Balance global de materia en la sec-006:

$$R.Z.D = P.H.Z + H.Z$$

$$P.H.Z = R.Z.D - H.Z$$

$$P.H.Z = 249\text{g} - 218,495 \text{ g}$$

$$P.H.Z = 30,505 \text{ g}$$

SEC-007: TAMIZADO

En la tabla IV-6 se muestra el porcentaje y peso de harina de zapallo presente en cada malla, cuyo peso inicial previo al tamizado era 218,495 de harina de zapallo.

Tabla IV- 6 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de malla

Nº malla (mm)	Peso de la harina(g)	Porcentaje de la harina %
1	5,347	3,019
0,5	13,913	7,855
0,25	84,565	47,743
0,063	61,353	34,638
Tamiz colector	11,948	6,745
Total	177,126	100
Perdida	41,369	

Fuente: Elaboración propia, 2016

Se realizó el cálculo de pérdida en la etapa de tamizado por diferencia de peso inicial de 218,495g y peso final obtenido de 177,126g.

Datos

$$\text{H.Z.} = 218,495\text{g}$$

$$\text{P.T.} = 41,369 \text{ (g)}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = \text{P. T} * \frac{100}{\text{H. Z.}}$$

$$\% \text{ H. Z. T} = 41,369 \text{ g} * \frac{100}{218,495\text{g}} = 18,934$$

Datos

$$\text{H.Z.} = 218,495\text{g}$$

$$X_{\text{HZ}}^{\text{HZRG}} = 0,654$$

$$X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}} = 0,346$$

Balance global de materia en la Sec-007:

$$\text{H. Z.} = \text{H. Z. R. G} + \text{H. Z. G. S}$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo con granulometría que pase la malla 0,25mm.

$$\text{H. Z.} * X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}} = \text{H. Z. R. G} * X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}} + \text{H. Z. G. S} * X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}}$$

$$\text{H. Z.} * X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}} = \text{H. Z. R. G} * \overset{0}{\cancel{X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}}}} + \text{H. Z. G. S} * \overset{1}{\cancel{X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}}}}$$

$$\text{H. Z. G. S} = \frac{\text{H. Z.} * X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}}}{X_{\text{HZ}}^{\text{HZGS}}}$$

$$H.Z.G.S = \frac{218,495g * 0,346}{1}$$

$$H.Z.G.S = 75,599 \text{ g}$$

Balance parcial de materia de Composición de harina de zapallo de las demás granulometrías.

$$H.Z * X_{HZ}^{HZRG} = H.Z.R.G * X_{HZ}^{HZRG} + H.Z.G.S * X_{HZ}^{HZRG}$$

$$H.Z * X_{HZ}^{HZRG} = H.Z.R.G * X_{HZ}^{HZRG} + H.Z.G.S * X_{HZ}^{HZRG}$$

$$H.Z.R.G = \frac{H.Z * X_{HZ}^{HZRG}}{X_{HZ}^{HZRG}}$$

$$H.Z.R.G = \frac{218,495g * 0,654}{1} = 142,896 \text{ g}$$

SEC-008: MEZCLADO

Datos:

$$H.Z.G.S = 75,599 \text{ g}$$

$$H.A.G.S = 30g$$

$$H.C.Z.A = 100g$$

$$X_{HZGS} = 0,70$$

$$X_{HAGS} = 0,30$$

Balance global de materia en la Sec-008:

$$H.Z.G.S + H.A.G.S = R.H.Z + H.C.Z.A$$

$$R.H.Z = H.Z.G.S + H.A.G.S - H.C.Z.A$$

$$R.H.Z = 75,599 \text{ g} + 30g - 100g = 5,599g$$

$$H.Z.G.S + H.A.G.S = 75,599 \text{ g} + 30\text{g}$$

$$H.Z.G.S + H.A.G.S = 105,599 \text{ g}$$

$$(H.Z.G.S + H.A.G.S) - R.H.Z = 105,599 \text{ g} - 5,599\text{g}$$

$$(H.Z.G.S + H.A.G.S) - R.H.Z = 100\text{g}$$

Calculo de la cantidad de harina de zapallo y de harina de amaranto a mezclar:

$$H.Z.G.S = 100\text{g} * 0,70 = 70\text{g}$$

$$H.A.G.S = 100\text{g} * 0,30 = 30\text{g}$$

BALANCE DE ENERGIA

SEC-005: SECADO

Balance general de energía en la sec-005:

$$H_{ENTRADA} - H_{SALIDA} + Q = 0$$

$$R.Z.A * H_{RZA} + G_1 * H_{G1} + Q = R.Z.D * H_{RZD} + G_2 * H_{G2}$$

Si consideramos un sistema abierto se tiene:

$$m_{SS} = R.Z.A = R.Z.D = \text{Cantidad de materia seca (kg)}$$

$$G = G_1 = G_2 = \text{Cantidad de aire (kg)}$$

Reemplazamos las consideraciones para un sistema abierto en la siguiente ecuación:

$$R.Z.A * H_{RZA} + G_1 * H_{G1} + Q = R.Z.D * H_{RZD} + G_2 * H_{G2}$$

$$m_{SS} * H_{RZA} + G * H_{G1} + Q = m_{SS} * H_{RZD} + G * H_{G2}$$

$$Q = G * (H_{G2} - H_{G1}) + m_{SS} * (H_{RZD} - H_{RZA})$$

Datos:

$$G = 167,909 \text{ kg aire seco}$$

$$H_{G2} = 23,5 \text{ kcal/kg solido seco} = 98,390 \text{ kJ/kg solido seco}$$

$$H_{G1} = 7 \text{ kcal/kg solido seco} = 29,308 \text{ kJ/kg solido seco}$$

$$m_{SS} = 249 \text{ g} = 0,249 \text{ kg}$$

$$H_{RZA} = 121,5 \text{ kJ/kg}$$

$$H_{RZD} = 251,1 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = 162,971 \text{ kg aire seco} * \frac{(98,390 - 29,308) \text{ kJ}}{\text{kg}} + 0,249 \text{ kg} * \frac{(251,1 - 121,5) \text{ kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 11290,633 \text{ kJ} * \frac{1 \text{ cal}}{4,1868 * 10^{-3} \text{ kJ}} * \frac{1 \text{ kcal}}{1000 \text{ cal}} = 2696,721 \text{ kcal}$$

Considerando un rendimiento del 80% en el secador:

$$Q = \frac{2696,721}{0,8} = 3370,902 \text{ kcal}$$

Calculo de flujo de calor durante el tiempo de secado de las rodajas de zapallo:

$$\frac{Q}{t_{\text{secado}}} = \frac{3370,902 \text{ kcal}}{37,5 \text{ h}} = \frac{89,891 \text{ kcal}}{\text{h}}$$

Con el dato de flujo de calor calculamos la potencia:

$$P_o = \frac{89,891 \text{ kcal}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ kw}}{859,824 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}} \rightarrow P_o = 0,105 \text{ kW}$$

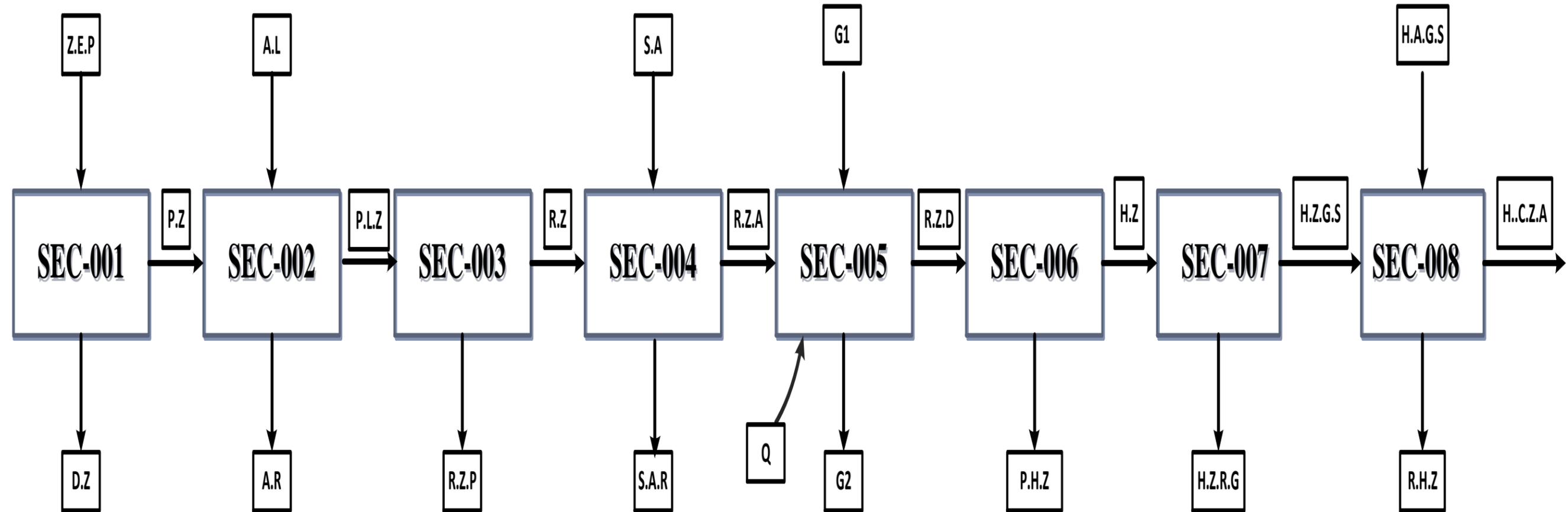
$$\text{Energia} = P_o * t = 0,105 \text{ kW} * 37,5 \text{ h} \rightarrow \text{Energia} = 3,920 \text{ kWh}$$

La energía consumida por el secador, por cada una de las muestras es de 3,920 kWh y para encontrar el costo de la energía consumida se multiplica la energía por el tiempo de trabajo de este:

$$\text{Costo} = 3,920 \text{ kWh} * 0,60 \frac{\text{Bs}}{\text{kWh}} \rightarrow 2,352 \text{ Bs}$$

La energía consumida por los equipos: molino y tamiz es la misma energía calculada para la sección 4.1.1, porque se utiliza el mismo tiempo de operación.

Figura IV- 10 Diagrama de flujo general tomado en cuenta para el balance de materia y energía



Fuente: Elaboración propia, 2016

SEC-001: PELADO-DESEMILLADO

SEC-002: LAVADO

SEC-003: CORTADO

SEC-004: TRATAMIENTO CON SOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO

SEC-005: SECADO

SEC-006: MOLIENDA

SEC-007: TAMIZADO

SEC-008: MEZCLADO

Tabla IV- 7 Resumen del balance de materia para las diferentes temperaturas y espesores

Corrientes	60°C-1.5mm	70°C-1.5mm	60°C-3mm	70°C-3mm
Z.E.P (g)	10470	10470	10470	10470
D.Z (g)	5611,920	5611,920	5611,920	5611,920
P.Z (g)	4858,080	4858,080	4858,080	4858,080
A.L (g)	5189,6	5189,6	5189,6	5189,6
A.R (g)	5380,920	5380,920	5380,920	5380,920
P.L.Z (g)	5008,680	5008,680	5008,680	5008,680
R.Z.P (g)	230,390	230,390	85,148	85,148
R.Z (g)	4778,281	4778,281	4923,532	4923,532
S.A (g)	4200	4200	4200	4200
S.A.R (g)	3187,004	3187,004	3333,458	3333,458
R.Z.A (g)	5791,277	5791,277	5790,074	5790,074
G₁= G₂ (kg aire seco)	162,794	150,081	167,909	216,824
Q (kcal)	3366,851	3277,197	3370,902	3320,914
R.Z.D (g)	255	246	249	261
PHZ (g)	44,370	51,660	30,505	27,666
H.Z (g)	210,630	194,340	218,495	15,400
H.Z.R.G (g)	137,541	119,325	142,896	161
H.Z.G.S (g)	73,089	75,015	75,599	72,334
H.A.G.S (g)	30	30	30	30
R.H.Z (g)	3,089	5,015	5,599	2,334
H.C.Z.A (g)	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia, 20016

Tabla IV- 8 Resumen del balance de energía

Operación		Potencia kW	Tiempo h	Energía kWh	Costo bs			
OP 1	Secado	Temperatura (60°C) - Espesor (1.5mm)						
		0,131	30	3,930	2,358			
		Temperatura (70°C) - Espesor (1.5mm)						
		0,149	25,5	3,811	2,287			
		Temperatura (60°C) - Espesor (3mm)						
		0,105	37,5	3,920	2,352			
		Temperatura (70°C) - Espesor (3mm)						
		0,136	28,5	3,862	2,317			
OP 2	Molienda	0,949	0,5	0,475	0,285			
OP 3	Tamizado	0,101	0,75	0,076	0,046			
TOTAL	Temperatura (60°C) - Espesor (1.5mm)							
	1,181		31,250		4,481		2,689	
	Temperatura (70°C) - Espesor (1.5mm)							
	1,199		26,750		4,362		2,618	
	Temperatura (60°C) - Espesor (3mm)							
	1,155		38,750		4,471		2,683	
	Temperatura (70°C) - Espesor (3mm)							
1,186		29,750		4,413		2,648		

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla IV-8 se muestra la energía consumida en la etapa de secado, manteniendo el mismo consumo de energía para las etapas de molienda, tamizado para las cuatro combinaciones de temperatura y espesurar

4.2 CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA CINÉTICA DE SECADO

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 $-\left(\frac{dX}{dt}\right)$, operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperaturas, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

$$W = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right) \quad \text{Ec. IV - 30}$$

Donde:

SS=Peso del 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)

Método de tres puntos:

Para hallar la función a través de la cual se encuentra una correlación de los datos que representa la variación de la humedad en función al tiempo, se plantea un modelo potencial en el cual se relaciona la velocidad de secado con la humedad del sólido en una ecuación de la forma:

$$Y = ax^n$$

Para determinar la velocidad de secado en base a los datos de humedad Vs tiempo obtenido en las experiencias de laboratorio, se utilizó el método de los tres puntos, el mismo que sirve para encontrar la pendiente en cada uno de los puntos observados, por lo que para determinar la cinética de secado se plantea la ecuación (III-5).

$$-\frac{dX}{dt} = kX^n \quad \text{Ec. IV - 31}$$

Donde:

K= constante para la cinética

n =número de orden de la cinética

h=intervalo de tiempo, h

Y_0, Y_1, Y_2 =datos tomados de las tablas

$$Y_0 = \frac{-3Y_0 + 4Y_1 - Y_2}{2h} \quad \text{Ec. IV - 32}$$

$$Y_1 = \frac{-Y_0 + Y_2}{2h} \quad \text{Ec. IV - 33}$$

$$Y_0 = \frac{Y_0 - 4Y_1 + 3Y_2}{2h} \quad \text{Ec. IV - 34}$$

Con los datos de la Tabla III-7 se reemplazan en la ecuación, (IV-32), (IV-33) y (IV-34), para hallar los cálculos de cinética de secado con el método de tres puntos, con estos con un intervalo de tiempo de 0,25horas.

Posteriormente las pendientes deben correlacionarse con la variación de la humedad, linealizando la ecuación potencial planteada, de la siguiente forma:

$$\ln\left(-\frac{dX}{dt}\right) = \ln k + n \ln X$$

$$Y = a + bX$$

Donde:

$n=b$

$K=e^a$

De donde se obtiene los datos de k y el orden n para la ecuación cinética.

4.2.1 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA DE 60°C-ESPESOR 1,5mm

Se realizó los cálculos en esta sección para encontrar la cinética de secado con el ensayo a 60°C y 1,5mm de espesor.

En la tabla IV-9 se expone los datos de humedad en base seca para el ensayo de 60°C y 1,5mm presentada anteriormente en la tabla III-7, también se presenta el resultado del diferencial de humedad en base seca respecto al tiempo de secado.

Tabla IV- 9 Datos de contenido de humedad a t=60°C y 1,5mm

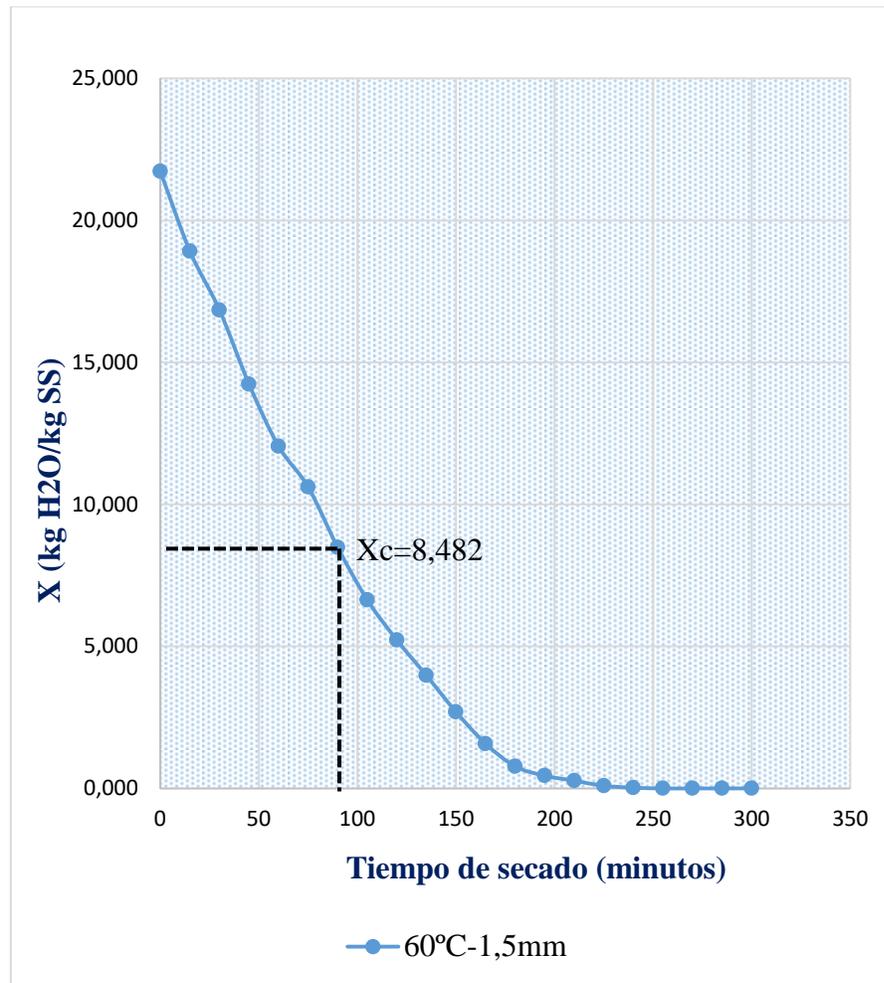
Tiempo	X(kg H ₂ O/kg SS)	-(dx/dt)	Ln (X)	Ln (-dx/dt)
0,25	18,918	7,202	2,940	1,974
0,5	16,847	10,660	2,824	2,366
0,75	14,235	9,823	2,656	2,285
1	12,047	8,116	2,489	2,094
1,25	10,612	8,108	2,362	2,093
1,5	8,482	7,954	2,138	2,074
1,75	6,635	6,669	1,892	1,897
2	5,224	5,121	1,653	1,633
2,25	3,976	5,060	1,380	1,621
2,5	2,694	4,800	0,991	1,569
2,75	1,576	4,143	0,455	1,421
3	0,776	2,411	-0,253	0,880
3,25	0,447	1,010	-0,805	0,010
3,5	0,271	0,660	-1,307	-0,416
3,75	0,094	0,433	-2,363	-0,342
4	0,024	0,066	-3,750	-2,718

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla IV-9 se expone los resultados del logaritmo natural de la humedad en base seca y del diferencial de humedad en función del tiempo, lo cual posteriormente se

linealiza los datos que están en negrilla para encontrar la velocidad de secado antecrítico y proscritica.

Figura IV -11 Contenido de humedad en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-11 se expone la gráfica de contenido de humedad en base seca con los datos de la tabla III-7 a una temperatura de 60°C con espesor de 1,5mm, el sólido comienza a calentarse y con ello crece la velocidad de evaporación.

Se puede apreciar en la figura IV-11 que al principio la humedad del sólido disminuye linealmente con el tiempo de secado porque en esta etapa es donde el sólido comienza a calentarse eliminando la humedad libre y por ello crece la

velocidad de evaporación del agua, eventualmente el calor penetra hasta el centro de la muestra de rodajas de zapallo y durante este periodo la velocidad de secado permanece constante.

La velocidad es máxima porque los mecanismos de transporte de agua del interior del solido a la superficie son lo suficientemente rápidos para compensar la evaporación, el agua se elimina conforme llega a la superficie, el calor es lo suficientemente para vaporizarla hasta que alcanza un valor de humedad crítica.

La humedad desciende por debajo de la humedad crítica X_c , es porque ya no llega suficiente agua a la superficie para mantener la máxima evaporación. En este momento puede que empiece a eliminar el agua ligada. El sólido aumenta de temperatura y velocidad de secado desciende tendiendo a hacerse cero conforme se acerca a la humedad de equilibrio.

Con los datos obtenidos por los métodos de los tres puntos se obtiene:

$$Y = 1,9457 + 0,0605X$$

$$a = 1,9457$$

$$b = 0,0605$$

Donde $n=b= 0,0605$ $k = e^a = e^{1,9457} = 6,999$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Anticrítica

$$-\frac{dX}{dt} = 6,999 * X^{0,0605} \quad \text{Ec. IV - 35}$$

$$Y = 0,148 + 0,9079X$$

$$a = 0,148$$

$$b = 0,9079$$

Donde $n=b= 0,9079$ $k = e^a = e^{0,148} = 1,160$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Antecrítico

$$-\frac{dX}{dt} = 1,160 * X^{0,9079} \quad \text{Ec. IV - 36}$$

Sustituyendo los datos de contenido de humedad que se encuentra en la tabla III-11 en la ecuación (IV-35) hasta llegar a la humedad crítica después de este punto se reemplaza en la ecuación (IV-36) para encontrar $(-dX/dt)$, obteniendo estos datos se los reemplaza en la ecuación (III-30) con el que se obtiene la velocidad de secado, que se observa en la misma tabla.

X_c = humedad crítica

$X_C=8,482$

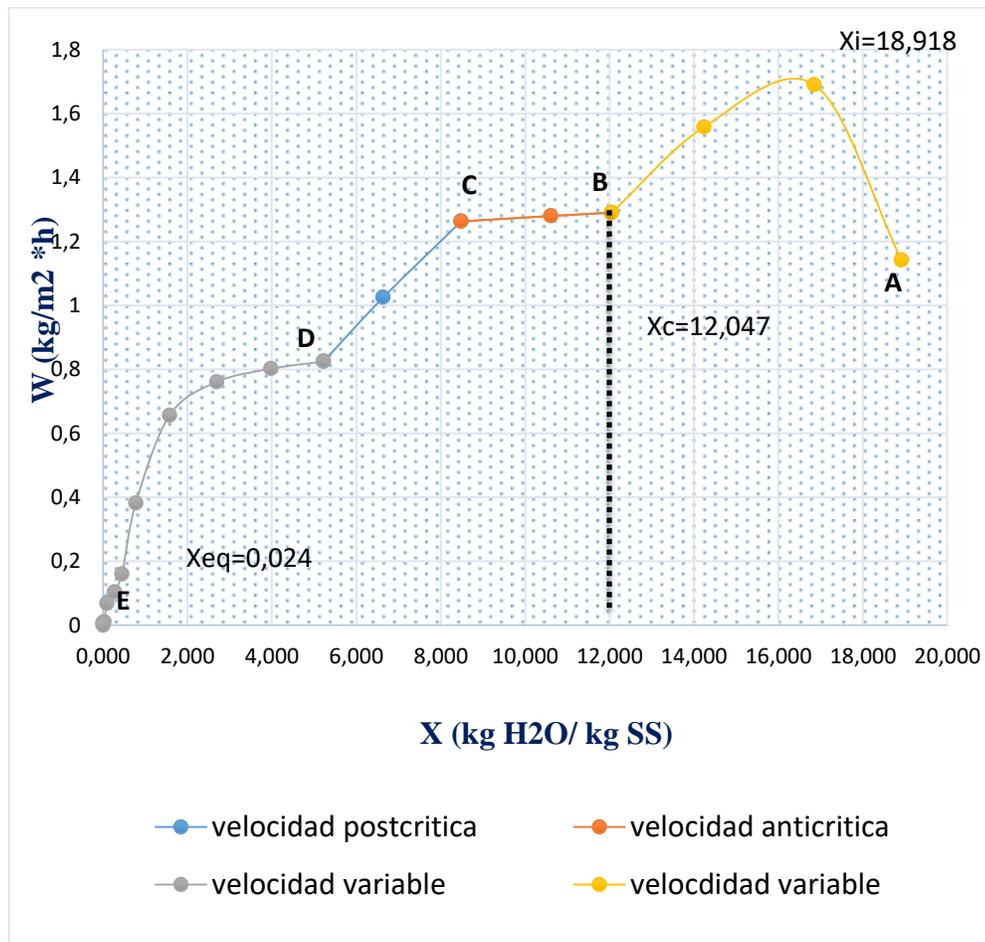
Tabla IV- 10 Datos de velocidad de secado

Tiempo (horas)	X (kg H ₂ O/kg SS)	$-(dX/dt)$	W (kg/ m ² *h)
0,25	18,918	7,202	1,142
0,5	16,847	10,660	1,690
0,75	14,235	9,823	1,558
1	12,047	8,136	1,290
1,25	10,612	8,074	1,280
1,5	8,482	7,965	1,263
1,75	6,635	6,466	1,025
2	5,224	5,204	0,825
2,25	3,976	5,060	0,802
2,5	2,694	4,800	0,761
2,75	1,576	4,143	0,657
3	0,776	2,411	0,382
3,25	0,447	1,010	0,160
3,5	0,271	0,660	0,105
3,75	0,094	0,433	0,069
4	0,024	0,066	0,010

Fuente: Elaboración propia, 2015

Figura IV- 12 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base

seca



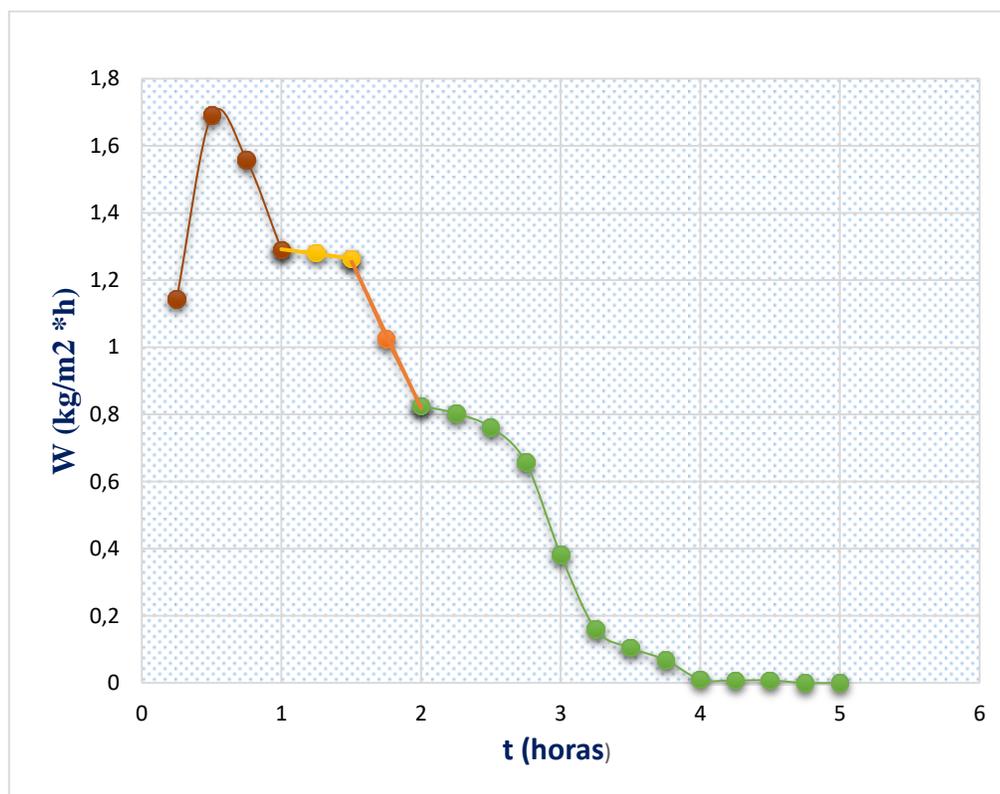
Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-12 se muestra el comportamiento de la velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca.

El contenido inicial de humedad libre corresponde al punto A, donde la velocidad de evaporación inicialmente va aumentando hasta llegar a una humedad en base seca de 16,847, de dicho recién va disminuyéndola velocidad de evaporación, este comportamiento se debe al tratamiento que se realizó con ácido cítrico previo al secado, lo cual provocó encapsular a las muestras dificultando eliminar el agua del interior de las mismas, hasta que se logró primero atravesar la capa que formó la solución de ácido alcanzando así llegar al punto B, en el cual la temperatura de la

superficie va alcanzando su valor de equilibrio. La recta entre el punto B y C tiene una pendiente y velocidad constante, durante este periodo la superficie del solido está muy húmeda al principio y sobre ella hay una película de agua continua, esta capa de agua es agua libre, este periodo continua mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora, Cuando la humedad desciende por debajo de un nivel determinado C, denominado humedad crítica X_c , la velocidad de secado empieza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente, es decir ya no llega suficiente agua a la superficie para mantener la máxima evaporación llegando al punto D, el segundo periodo de evaporación comienza en el punto D, aquí la evaporación de agua ligada comienza a desplazarse con lentitud y la velocidad de secado disminuye hasta el punto E tendiendo a hacerse cero conforme se acerca a la humedad de equilibrio, X_{eq} .

Figura IV- 13 Velocidad de secado en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-13 se observa la misma situación que se tiene en la figura IV-12, pero

en este caso el comportamiento de la velocidad de secado está en función del tiempo de esta manera se puede observar que la velocidad de secado al principio aumenta hasta que el agua del interior de la muestra logra atravesar la capa que formo la solución de ácido cítrico, con lo cual posteriormente va disminuyendo la velocidad de secado a medida que pasa el tiempo.

Velocidad en el periodo antecrítico o constante

Para encontrar la velocidad crítica de la cinética se utilizó la siguiente ecuación:

$$W_c = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right) \quad \text{Ec. IV - 37}$$

$$W_c = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right) \quad \text{Ec. IV - 38}$$

Donde:

W_c =velocidad de secado constante

A =Superficie expuesta al secado

SS =solido seco

X_i =humedad en base seca inicial

X_c =humedad en base seca critica

Datos:

$A = 0,268\text{m}^2$

$SS = 0,0425\text{kg}$

$X_i = 18,918\text{kg H}_2\text{O/kg SS}$

$X_c = 8,482\text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$

$t_i = 0,25\text{h}$

$t_c = 1,5\text{ h}$

$$W_c = \frac{0,0425}{0,268} \left(\frac{18,918 - 8,482}{1,5 - 0,25} \right)$$

$$W_c = 1,324 \frac{kg}{m^2 h}$$

Tiempo antecrítico

$$\theta_a = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{W_c} \right) \quad \text{Ec. IV - 39}$$

Donde:

θ_a = Tiempo de secado del periodo antecrítico

W_c =velocidad de secado constante

A =Superficie expuesta al secado

SS =solido seco

X_i =humedad en base seca inicial

X_c =humedad en base seca critica

Datos:

$A = 0,268 m^2$

$SS = 0,0425 kg$

$X_i = 18,918 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$

$X_c = 8,482 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$

$W_c = 1,324 \text{ kg /}(m^2 \text{ h})$

$$\theta_a = \frac{0,0425}{0,268} \left(\frac{18,918 - 8,482}{1,324} \right)$$

$$\theta_a = 1,250 h$$

Velocidad en el periodo proscritico o decreciente

$$W_D = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_c - X_{eq}}{\Delta \theta} \right) \quad \text{EC. IV - 40}$$

Donde:

W_D =velocidad de secado decreciente

A=Superficie expuesta al secado

SS=solido seco

X_c =humedad critica en base seca

X_{eq} =humedad en base seca de equilibrio

Datos:

A= 0,268m²

SS=0,0425kg

X_{eq} =0,024 kg H₂O/kg SS

X_c = 8,482kg H₂O/kg SS

t_c =1,5 h

t_{eq} =4 h

$$W_D = \frac{0,0425}{0,268} \left(\frac{8,482 - 0,024}{4 - 1,5} \right)$$

$$W_D = 0,537 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

Velocidad promedio

$$W_P = \frac{W_C + W_D}{2}$$

EC. IV – 41

Donde:

W_c = velocidad en el periodo antecrítico

W_D =velocidad en el periodo poscrítico

W_p = velocidad promedio

Datos:

W_D =0,537 kg / (m² h)

W_C =1,324 kg/ (m² h)

$$W_p = \frac{1,324 + 0,537}{2} = 0,931 \text{ kg} / (\text{m}^2 \text{ h})$$

Tiempo de secado en el periodo proscritico

$$\theta_p = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_c - X_{eq}}{W_c - W_D} \right) \ln \left(\frac{W_c}{W_D} \right) \quad \text{EC. IV - 42}$$

Donde:

A=Superficie expuesta al secado

SS=solido seco

Xc=humedad critica en base seca

Xeq=humedad en base seca de equilibrio

Wc= velocidad antecrítico

W_D=velocidad de secado final

Datos:

A= 0,268m²

SS=0,0425kg

Xeq=0,024 kg H₂O/kg SS

Xc= 8,482kg H₂O/kg SS

W_D=0,537 kg / (m² h)

W_C=1,324 kg/ (m² h)

$$\theta_p = \frac{0,0425}{0,268} \left(\frac{8,482 - 0,024}{1,324 - 0,537} \right) \ln \left(\frac{1,324}{0,537} \right)$$

$$\theta_p = 1,538 \text{ h}$$

Tiempo total

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p$$

$$\theta_T = 1,250 + 1,538 = 2,788 \text{ h}$$

4.2.2 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA 60°C - ESPESOR 3mm

Para realizar los cálculos correspondientes para este ensayo se utilizara las ecuaciones establecidas en la sección 4.2.1.

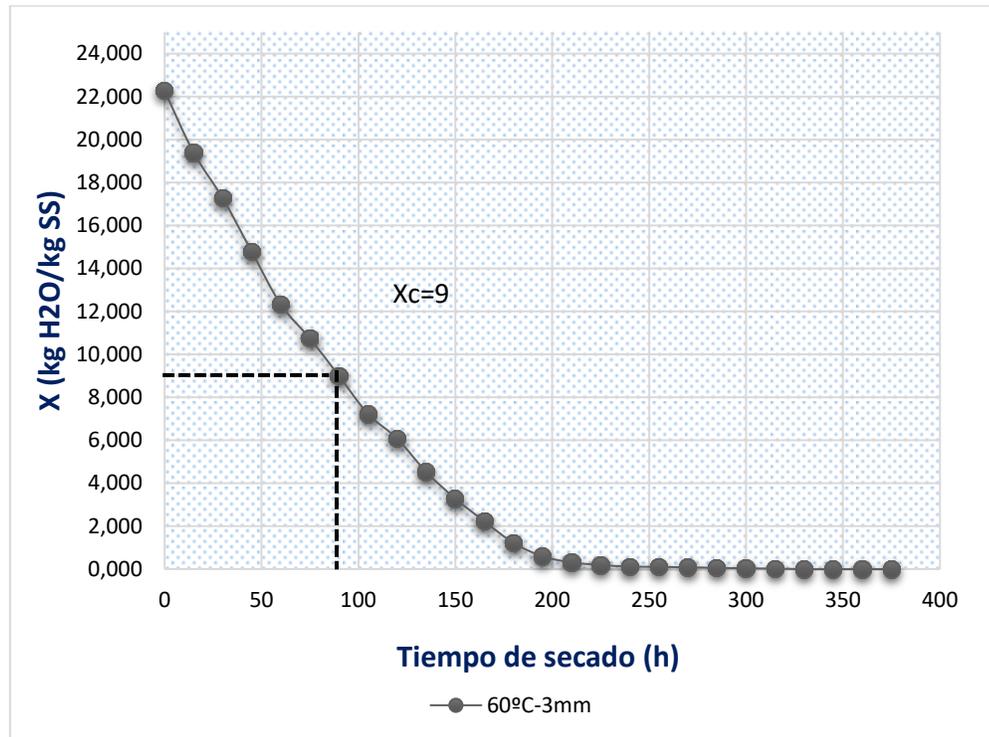
Tabla IV- 11 Datos de contenido de humedad a t=60°C y 1,5mm

Tiempo (hora)	X (kg H ₂ O/kg B.S)	-(dX/dt)	Ln (X)	Ln (- dx/dt)
0,250	19,675	10,264	2,979	2,329
0,500	17,169	10,048	2,843	2,307
0,750	14,783	9,604	2,693	2,262
1,000	12,325	7,023	2,512	1,949
1,250	10,747	6,795	2,375	1,916
1,500	9,000	7,036	2,197	1,951
1,750	7,229	5,832	1,978	1,763
2,000	6,084	5,398	1,806	1,686
2,250	4,530	5,326	1,511	1,673
2,500	3,289	4,481	1,191	1,500
2,750	2,229	4,433	0,802	1,489
3,000	1,229	3,439	0,206	1,235
3,250	0,602	1,797	-0,507	0,586
3,500	0,313	0,818	-1,161	-0,201
3,750	0,193	0,400	-1,646	-0,916
4,000	0,120	0,198	-2,116	-1,619
4,250	0,108	0,096	-2,222	-2,343
4,500	0,084	0,096	-2,473	-2,343
4,750	0,060	0,096	-2,809	-2,343
5,000	0,036	0,072	-3,320	-2,631
5,250	0,024	0,048	-3,726	-3,037

Fuente: Elaboración propia, 2016

Con los datos de la tabla IV-11 de humedad en base seca y de tiempo de secado se realizó una representación gráfica de la figura IV-14 en la cual se identifica la humedad crítica en la etapa de secado.

Figura IV- 14 Contenido de humedad en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Con los resultados obtenidos de logaritmo natural de la humedad en base seca y de la diferencial de humedad respecto al tiempo en la tabla IV-11, se calcula para los datos de logaritmo que está en negrilla la ecuación de velocidad para el periodo antecrítico y proscritico, usando el método de los tres puntos:

$$Y = 1,976 - 0,016X$$

$$a = 1,976$$

$$b = -0,016$$

Donde $n=b = -0,016$ $k = e^a = e^{1,976} = 7,214$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Anticrítica

$$-\frac{dX}{dt} = 7,214 * X^{-0,016}$$

$$Y = 1,0323 + 0,393X$$

$$a = 1,0323$$

$$b = 0,393$$

Donde $n=b= 0,393$ $k = e^a = e^{1,0323} = 2,808$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Proscritica

$$-\frac{dX}{dt} = 2,808 * X^{0,393}$$

Reemplazamos a estas ecuaciones los valores de X que se encuentran en la tabla IV-34 para encontrar las pendientes $(-dX/dt)$, hasta el punto crítico se tiene que utilizar la ecuación antecrítico después de eso las proscritica.

Xc= humedad critica

XC=9

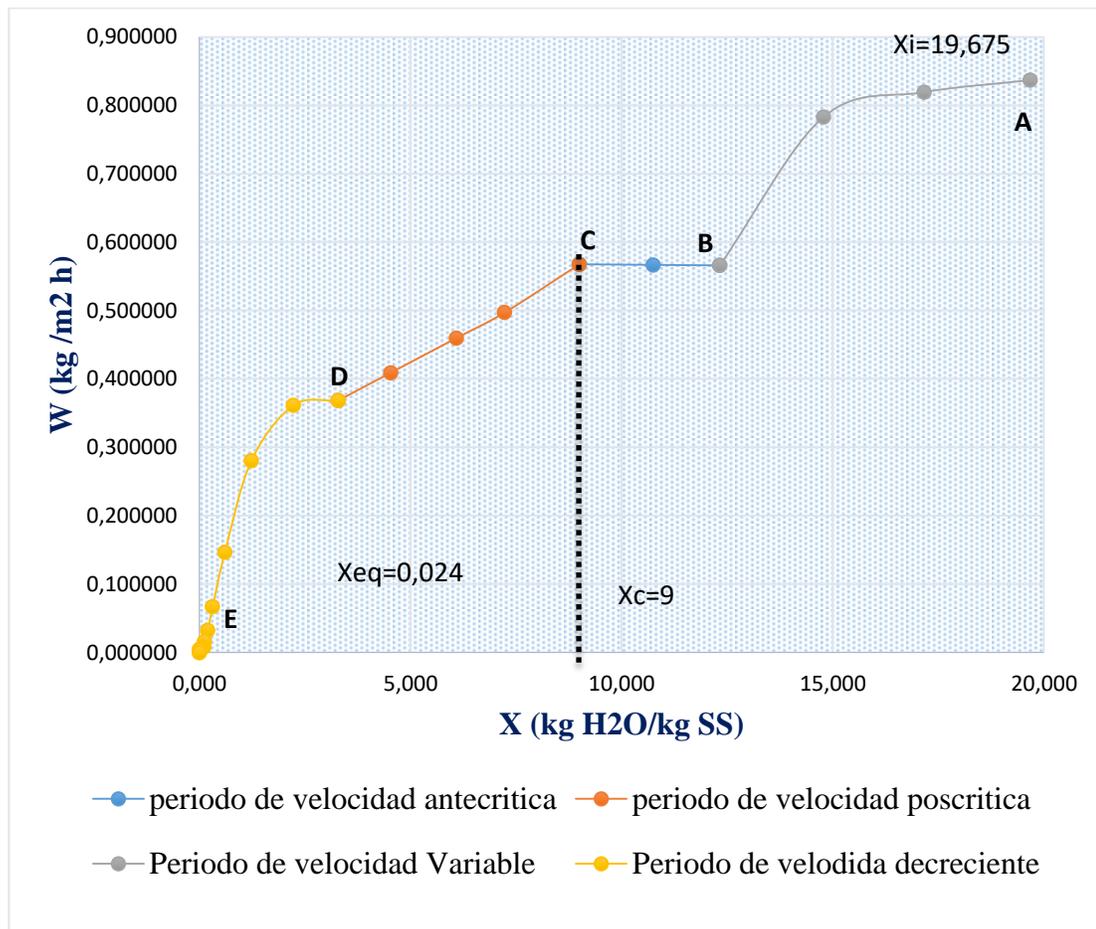
Tabla IV- 12 Datos de velocidad de secado

Tiempo (horas)	X (kg H ₂ O/kg SS)	-(dX/dt)	W (kg/ m ² *h)
0,250	19,675	10,264	0,631
0,500	17,169	10,048	0,819
0,750	14,783	9,604	0,807
1,000	12,325	6,930	0,565
1,250	10,747	6,945	0,566
1,500	9,000	6,965	0,568
1,750	7,229	6,110	0,498
2,000	6,084	5,709	0,465
2,250	4,530	5,084	0,415
2,500	3,289	4,483	0,366
2,750	2,229	4,433	0,361
3,000	1,229	3,439	0,280
3,250	0,602	1,797	0,147
3,500	0,313	0,818	0,067
3,750	0,193	0,400	0,033
4,000	0,120	0,198	0,016
4,250	0,108	0,096	0,008
4,500	0,084	0,096	0,008
4,750	0,060	0,096	0,008
5,000	0,036	0,072	0,006
5,250	0,024	0,048	0,004

Fuente: Elaboración propia, 2015

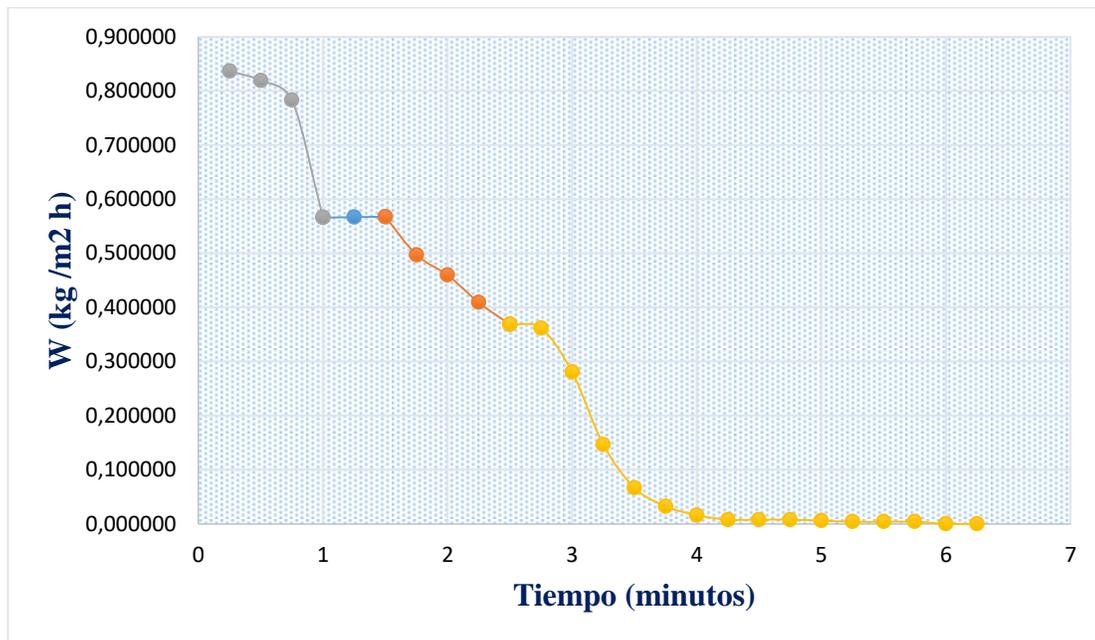
En la figura IV-15 se muestra como la velocidad de secado va cambiando con relación a la humedad, desde el inicio del secado hasta alcanzar el punto crítico que es la humedad crítica en la cual la velocidad se mantiene constante formando una pendiente recta, después de este punto la velocidad decrece hasta llegar a la humedad de equilibrio.

Figura IV- 15 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia, 2016

Figura IV- 16 Velocidad de secado en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-16 se observa la misma situación que se tiene en la figura F-2, pero en este caso el comportamiento de la velocidad de secado está en función del tiempo de esta manera se puede observar que la velocidad de secado va disminuyendo a medida que pasa el tiempo.

Velocidad en el periodo antecrítico o constante

Para encontrar la velocidad crítica de la cinética se utilizó la siguiente ecuación:

$$W_c = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right)$$

Datos:

$$A = 0,509 \text{ m}^2$$

$$SS = 0,0415 \text{ kg}$$

$$X_i = 19,675 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_c = 9 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$t_i = 0,25 \text{ h}$$

$$t_c = 1,5 \text{ h}$$

$$W_c = \frac{0,0415}{0,509} \left(\frac{19,675 - 9}{1,5 - 0,25} \right)$$

$$W_c = 0,696 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

Tiempo antecrítico

$$\theta_a = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

Datos:

$$A = 0,509 \text{ m}^2$$

$$SS = 0,0415 \text{ kg}$$

$$X_i = 19,675 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_c = 9 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$W_c = 0,696 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$\theta_a = \frac{0,0415}{0,509} \left(\frac{19,675 - 9}{0,696} \right)$$

$$\theta_a = 1,251 \text{ h}$$

Velocidad en el periodo proscritico o decreciente

$$W_D = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_C - X_{eq}}{\Delta\theta} \right)$$

Datos:

$$A = 0,509 \text{ m}^2$$

$$SS = 0,0415 \text{ kg}$$

$$X_{eq} = 0,024 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_C = 9 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$t_c = 1,5 \text{ h}$$

$$t_{eq} = 5,25 \text{ h}$$

$$W_D = \frac{0,0415}{0,509} \left(\frac{9 - 0,024}{5,25 - 1,5} \right)$$

$$W_D = 0,195 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

Velocidad promedio

$$W_P = \frac{W_C + W_D}{2}$$

Datos:

$$W_D = 0,195 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$W_C = 0,696 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$W_P = \frac{0,696 + 0,195}{2}$$

$$W_P = 0,446 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

Tiempo de secado en el periodo proscritico

$$\theta_P = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_C - X_{eq}}{W_C - W_D} \right) \ln\left(\frac{W_C}{W_D}\right)$$

Datos:

$$A = 0,509 \text{ m}^2$$

$$SS = 0,0415 \text{ kg}$$

$$X_{eq} = 0,024 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_C = 9 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$W_D = 0,195 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$W_C = 0,696 \text{ kg}$$

$$\theta_P = \frac{0,0415}{0,509} \left(\frac{9 - 0,024}{0,696 - 0,195} \right) \ln\left(\frac{0,696}{0,195}\right)$$

$$\theta_P = 1,859 \text{ h}$$

Tiempo total

$$\theta_T = \theta_a + \theta_P$$

$$\theta_T = 1,251 + 1,859 = 3,110 \text{ h}$$

La velocidad de secado promedio es 0,446 kg/ (m² h) con un tiempo óptimo de secado de 3,110h.

4.2.3 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA 70°C - ESPESOR 1,5mm

En la tabla IV-13 se expone los datos de humedad en base seca para el ensayo de temperatura de 70°C y espesor de 1,5 mm presentado anteriormente en la tabla III-7.

Los cálculos se realizaran con las ecuaciones expuestas en la sección 4.2.1.

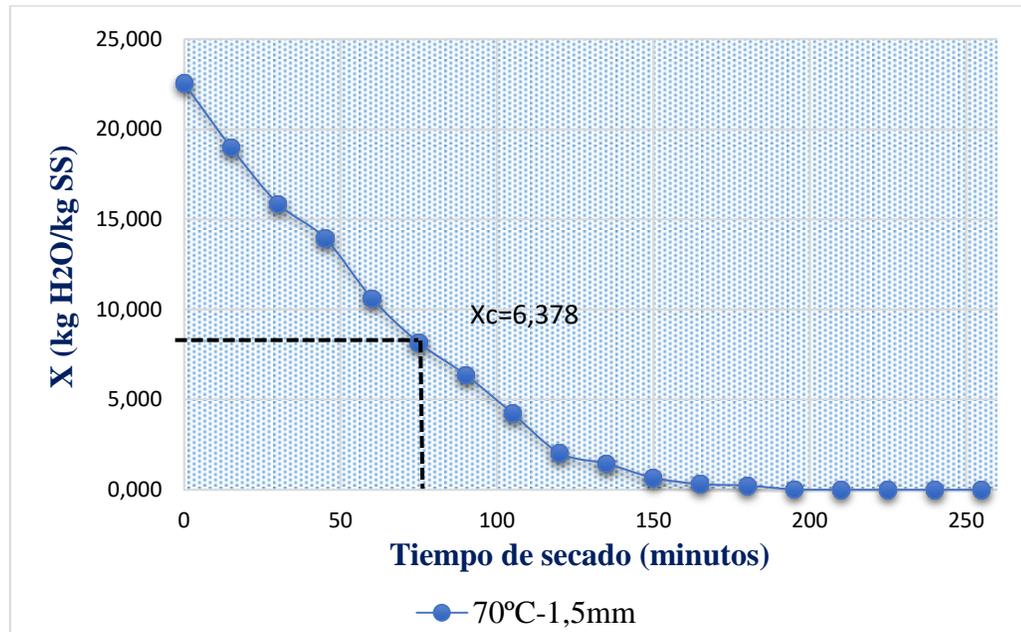
Tabla IV- 13 Datos de contenido de humedad a t=70°C y 1,5mm

Tiempo (hora)	X (kg H ₂ O/kg B.S)	-(dX/dt)	Ln (X)	Ln (- dx/dt)
0,25	19,000	10,264	2,944	2,329
0,5	15,878	10,048	2,765	2,307
0,75	13,963	9,604	2,636	2,262
1	10,634	7,023	2,364	1,949
1,25	8,171	6,795	2,101	1,916
1,5	6,378	7,036	1,853	1,951
1,75	4,244	5,832	1,445	1,763
2	2,049	5,398	0,717	1,686
2,25	1,451	5,326	0,372	1,673
2,5	0,671	4,481	-0,399	1,500
2,75	0,317	4,433	-1,149	1,489
3	0,232	3,439	-1,462	1,235
3,25	0,024	1,797	-3,714	0,586

Fuente: Elaboración propia, 2016

Con los datos de la tabla IV-13 de humedad en base seca y de tiempo de secado se realizó una representación gráfica de la figura IV-17 en la cual se identifica la humedad crítica en la etapa de secado.

Figura IV -17 Contenido de humedad en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Con los resultados obtenidos de logaritmo natural de la humedad en base seca y de la diferencial de humedad respecto al tiempo en la tabla IV-13, se calcula para los datos de logaritmo que está en negrilla la ecuación de velocidad para el periodo anticrítico y pos crítico, usando el método de los tres puntos:

$$Y = 1,944 - 0,003X$$

$$a = 1,944$$

$$b = -0,003$$

Donde $n=b = -0,003$ $k = e^a = e^{1,944} = 6,987$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Anticrítica

$$-\frac{dX}{dt} = 6,987 * X^{-0,003}$$

$$Y = 1,578 + 0,174X$$

$$a = 1,578$$

$$b = 0,174$$

Donde $n=b= 0,174$ $k = e^a = e^{1,578} = 4,845$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Poscrítico

$$-\frac{dX}{dt} = 4,845 * X^{0,174}$$

Reemplazamos a estas ecuaciones los valores de X que se encuentran en la tabla F-3 para encontrar las pendientes $-(dX/dt)$, hasta el punto crítico se tiene que utilizar la ecuación antecrítico después de eso la proscritica.

X_c = humedad critica

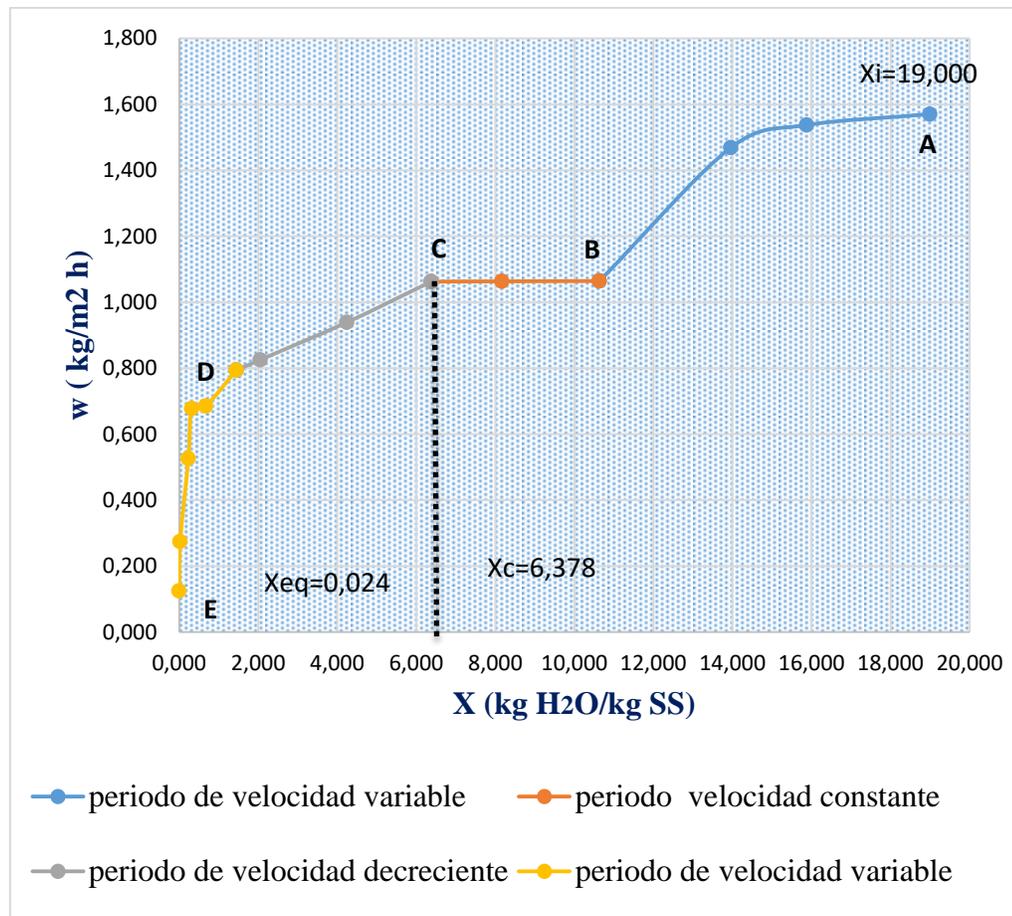
$$X_C=6,378$$

Tabla IV- 14 Datos de velocidad de secado

Tiempo (horas)	X (kg H2O/kg SS)	$-(dX/dt)$	W (kg/ m ² *h)
0,250	19,000	10,264	1,570
0,500	15,878	10,048	1,537
0,750	13,963	9,604	1,469
1,000	10,634	6,938	1,061
1,250	8,171	6,943	1,062
1,500	6,378	6,948	1,063
1,750	4,244	6,231	0,953
2,000	2,049	5,489	0,840
2,250	1,451	5,169	0,791
2,500	0,671	4,481	0,686
2,750	0,317	4,433	0,678
3,000	0,232	3,439	0,526
3,250	0,024	1,797	0,275

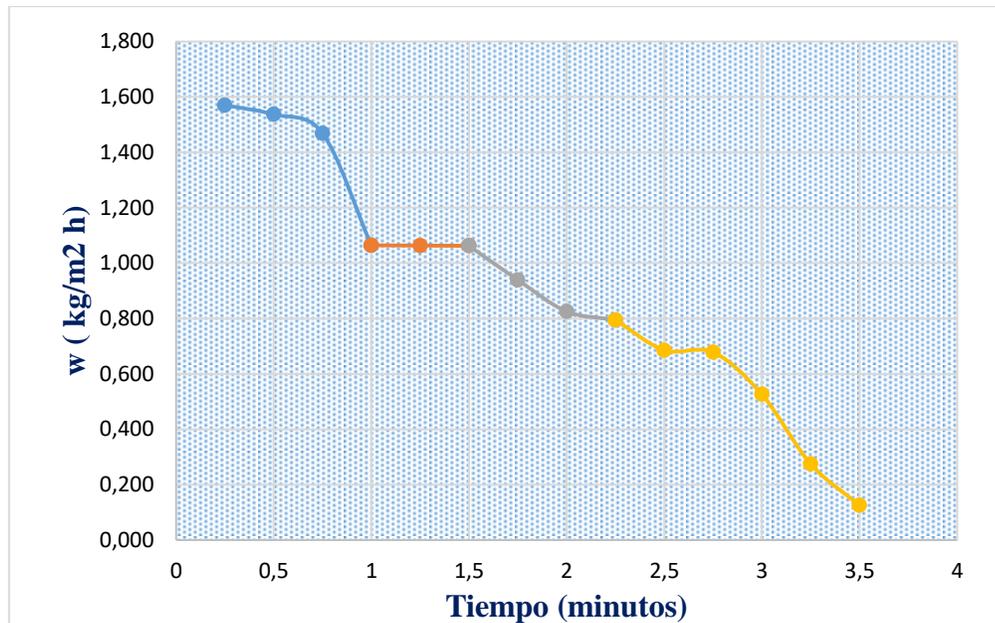
Fuente: Elaboración propia, 2015

Figura IV -18 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-18 se muestra como la velocidad de secado va cambiando con relación a la humedad, desde el inicio del secado hasta alcanzar el punto crítico que es la humedad crítica en la cual la velocidad se mantiene constante formando una pendiente recta, después de este punto la velocidad decrece hasta llegar a la humedad de equilibrio.

Figura IV -19 Velocidad de secado en función del tiempo

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-19 se observa la misma situación que se tiene en la figura IV-13, pero en este caso el comportamiento de la velocidad de secado está en función del tiempo de esta manera se puede observar que la velocidad de secado va disminuyendo a medida que pasa el tiempo.

Velocidad en el periodo antecrítico o constante

Para encontrar la velocidad crítica de la cinética se utilizó la siguiente ecuación:

$$W_c = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right)$$

Datos:

A= 0,268m²

SS=0,041kg

X_i=19,000 kg H₂O/kg SS

X_c= 6,378 kg H₂O/kg SS

t_i =0,25h

t_c =1,5 h

$$W_c = \frac{0,041}{0,268} \left(\frac{19,000 - 6,378}{1,5 - 0,25} \right)$$

$$W_c = 1,545 \frac{kg}{m^2 h}$$

Tiempo antecrítico

$$\theta_a = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

Datos:

$$A = 0,268 m^2$$

$$SS = 0,041 kg$$

$$X_i = 19,000 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_c = 6,378 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$W_c = 1,545 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$\theta_a = \frac{0,041}{0,268} \left(\frac{19,000 - 6,378}{1,545} \right)$$

$$\theta_a = 1,250 \text{ h}$$

Velocidad en el periodo proscritico o decreciente

$$W_D = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_c - X_{eq}}{\Delta\theta} \right)$$

Datos:

$$A = 0,268 m^2$$

$$SS = 0,041 kg$$

$$X_{eq} = 0,024 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$X_c = 6,378 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$

$t_c = 1,5 \text{ h}$

$t_{eq} = 3,25 \text{ h}$

$$W_D = \frac{0,041}{0,268} \left(\frac{6,378 - 0,024}{3,25 - 1,5} \right)$$

$$W_D = 0,555 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

Velocidad promedio

$$W_P = \frac{W_C + W_D}{2}$$

Datos:

$W_D = 0,555 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$

$W_C = 1,545 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$

$$W_P = \frac{1,545 + 0,555}{2}$$

$$W_P = 1,050 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

Tiempo de secado en el periodo proscritico

$$\theta_P = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_C - X_{eq}}{W_C - W_D} \right) \ln \left(\frac{W_C}{W_D} \right)$$

Datos:

$A = 0,268 \text{ m}^2$

$SS = 0,041 \text{ kg}$

$X_{eq} = 0,024 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$

$$X_c = 6,378 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$W_D = 0,555 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$W_C = 1,545 \text{ kg/ (m}^2 \text{ h)}$$

$$\theta_P = \frac{0,041}{0,268} \left(\frac{6,378 - 0,024}{1,545 - 0,555} \right) \ln\left(\frac{1,545}{0,555}\right)$$

$$\theta_P = 1,005 \text{ h}$$

Tiempo total

$$\theta_T = \theta_a + \theta_P$$

$$\theta_T = 1,250 + 1,005 = 2,255 \text{ h}$$

La velocidad de secado promedio es 1,050 kg/ (m² h) con un tiempo óptimo de secado de 2,255 h.

4.2.4 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA 70°C- ESPESOR 3mm

En la tabla IV-15 se expone los datos de humedad en base seca para el ensayo de temperatura de 70°C y espesor de 3 mm presentado anteriormente en la tabla III-7.

Los cálculos se realizarán con las ecuaciones expuestas en la sección 4.2.1.

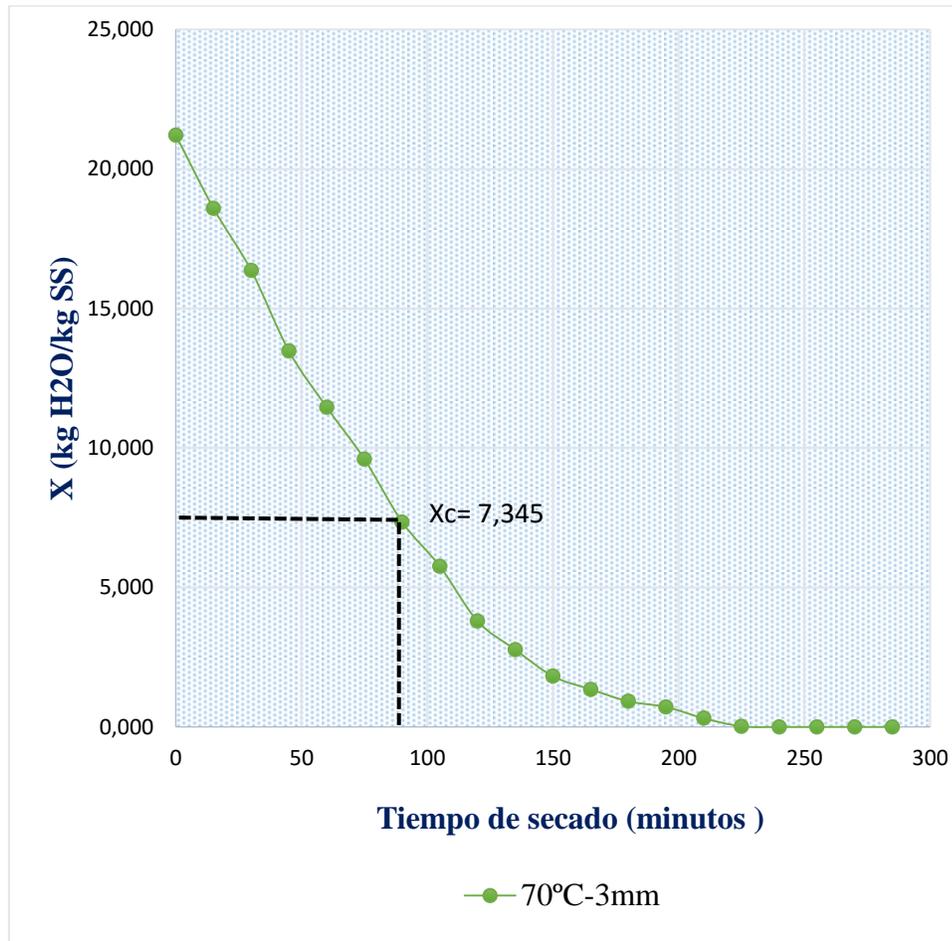
Tabla IV- 15 Datos de contenido de humedad a $t=70^{\circ}\text{C}$ y 3mm

Tiempo (hora)	X (kg H ₂ O/kg B.S)	-(dX/dt)	Ln (X)	Ln (- dx/dt)
0,25	18,586	7,610	2,922	2,029
0,5	16,356	13,288	2,795	2,587
0,75	13,471	11,321	2,601	2,427
1	11,460	7,746	2,439	2,047
1,25	9,598	7,690	2,262	2,040
1,5	7,345	7,678	1,994	2,038
1,75	5,759	6,057	1,751	1,801
2	3,793	5,104	1,333	1,630
2,25	2,770	4,368	1,019	1,474
2,5	1,816	3,678	0,597	1,302
2,75	1,345	2,136	0,296	0,759
3	0,920	1,608	-0,084	0,475
3,25	0,713	1,532	-0,339	0,427
3,5	0,310	1,380	-1,170	0,322
3,75	0,023	0,916	-3,773	-0,088

Fuente: Elaboración propia, 2016

Con los datos de la tabla IV-15 de humedad en base seca y de tiempo de secado se realizó una representación gráfica de la figura IV-20 en la cual se identifica la humedad crítica en la etapa de secado.

Figura IV -20 Contenido de humedad en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2016

Con los resultados obtenidos de logaritmo natural de la humedad en base seca y de la diferencial de humedad respecto al tiempo en la tabla IV-15, se calcula para los datos de logaritmo que está en negrilla la ecuación de velocidad para el periodo antecrítico y pos crítico, usando el método de los tres puntos:

$$Y = 1,999 + 0,0191X$$

$$a = 1,999$$

$$b = 0,0191$$

Donde $n=b= 0,0191$ $k = e^a = e^{1,999} = 7,382$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Anticrítico

$$-\frac{dX}{dt} = 7,382 * X^{0,0191}$$

$$Y = 0,974 + 0,504X$$

$$a = 0,974$$

$$b = 0,504$$

Donde $n=b= 0,504$ $k = e^a = e^{0,974} = 2,649$ se reemplaza los datos en la siguiente ecuación:

Poscrítico

$$-\frac{dX}{dt} = 2,649 * X^{0,504}$$

Reemplazamos a estas ecuaciones los valores de X que se encuentran en la tabla IV-16 para encontrar las pendientes $-(dX/dt)$, hasta el punto crítico se tiene que utilizar la ecuación anticrítico después de eso la proscritica.

Xc= humedad critica

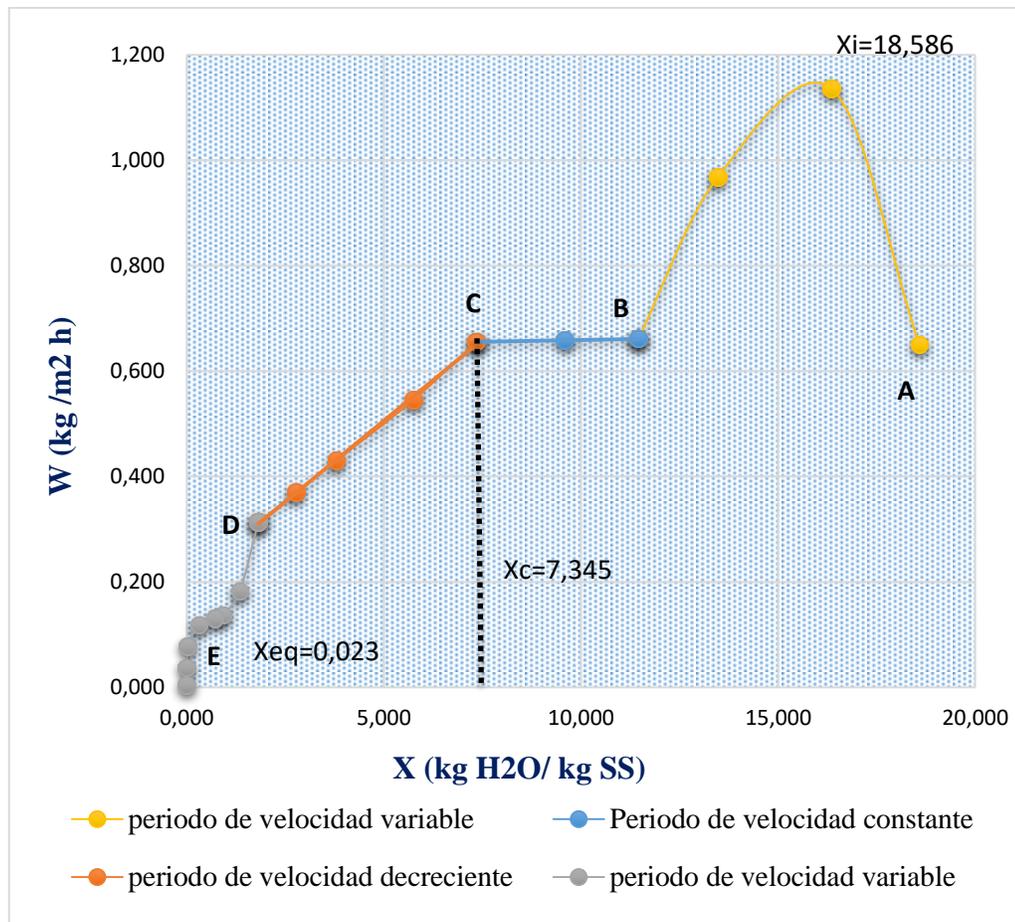
$$XC=7,345$$

Tabla IV- 16 Datos de velocidad de secado

Tiempo (horas)	X (kg H ₂ O/kg SS)	-(dX/dt)	W (kg/ m ² *h)
0,250	18,586	7,610	0,650
0,500	16,356	13,288	1,136
0,750	13,471	11,321	0,968
1,000	11,460	7,734	0,661
1,250	9,598	7,708	0,659
1,500	7,345	7,669	0,655
1,750	5,759	6,402	0,547
2,000	3,793	5,187	0,443
2,250	2,770	4,427	0,378
2,500	1,816	3,578	0,306
2,750	1,345	2,136	0,183
3,000	0,920	1,608	0,137
3,250	0,713	1,532	0,131
3,5	0,310	1,380	0,118
3,75	0,023	0,916	0,078

Fuente: Elaboración propia, 2015

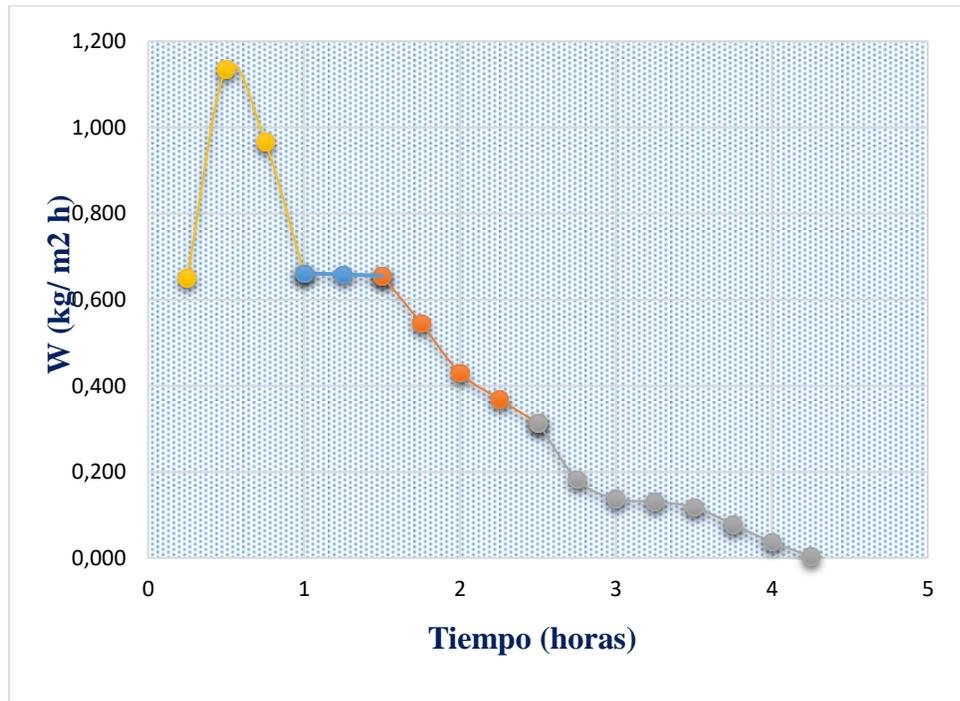
Figura IV- 21 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-21 se muestra como la velocidad de secado va cambiando con relación a la humedad, desde el inicio del secado hasta alcanzar el punto crítico que es la humedad crítica en la cual la velocidad se mantiene constante formando una pendiente recta, después de este punto la velocidad decrece hasta llegar a la humedad de equilibrio.

Figura IV- 22 Velocidad de secado en función del tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2016

En la figura IV-22 se observa la misma situación que se tiene en la figura IV-15, pero en este caso el comportamiento de la velocidad de secado está en función del tiempo de esta manera se puede observar que la velocidad de secado va disminuyendo a medida que pasa el tiempo.

Velocidad en el periodo antecrítico o constante

Para encontrar la velocidad crítica de la cinética se utilizó la siguiente ecuación:

$$W_c = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right)$$

Datos:

A= 0,509 m²

SS=0,0435 kg

X_i=18,586kg H₂O/kg SS

X_c= 7,345kg H₂O/kg SS

$$t_i = 0,25 \text{ h}$$

$$t_c = 1,5 \text{ h}$$

$$W_c = \frac{0,0435}{0,509} \left(\frac{18,586 - 7,345}{1,5 - 0,25} \right)$$

$$W_c = 0,769 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{ h}}$$

Tiempo antecrítico

$$\theta_a = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

Datos:

$$A = 0,509 \text{ m}^2$$

$$SS = 0,0435 \text{ kg}$$

$$X_i = 18,586 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_c = 7,345 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$W_c = 0,769 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$\theta_a = \frac{0,0435}{0,509} \left(\frac{18,586 - 7,345}{0,769} \right)$$

$$\theta_a = 1,249 \text{ h}$$

Velocidad en el periodo proscritico o decreciente

$$W_D = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_c - X_{eq}}{\Delta\theta} \right)$$

Datos:

$$A = 0,509 \text{ m}^2$$

$$SS = 0,0435 \text{ kg}$$

$$X_c = 7,345 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_{eq} = 0,023 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$W_D = \frac{0,0435}{0,509} \left(\frac{7,345 - 0,023}{3,75 - 1,5} \right)$$

$$W_D = 0,278 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

Velocidad promedio

$$W_P = \frac{W_C + W_D}{2}$$

Datos:

$$W_D = 0,278 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$W_C = 0,769 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$W_P = \frac{0,769 + 0,278}{2}$$

$$W_P = 0,524 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

Tiempo de secado en el periodo proscritico

$$\theta_P = \frac{SS}{A} \left(\frac{X_c - X_{eq}}{W_C - W_D} \right) \ln \left(\frac{W_C}{W_D} \right)$$

Datos:

$$A = 0,509 \text{ m}^2$$

$$SS = 0,0435 \text{ kg}$$

$$X_c = 7,345 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$X_{eq} = 0,023 \text{ kg H}_2\text{O/kg SS}$$

$$W_D = 0,278 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$W_C = 0,769 \text{ kg / (m}^2 \text{ h)}$$

$$\theta_p = \frac{0,0435}{0,509} \left(\frac{7,345 - 0,023}{0,769 - 0,278} \right) \ln \left(\frac{0,769}{0,278} \right)$$

$$\theta_p = 1,297 \text{ h}$$

Tiempo total

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p$$

$$\theta_T = 1,249 + 1,297 = 2,546 \text{ h}$$

La velocidad de secado promedio es 0,524 kg / (m² h) con un tiempo óptimo de secado de 2,546 h.

V

COSTO DEL PROYECTO

CAPÍTULO V

COSTOS DEL PROYECTO

5.1.- ESTIMACION DE COSTOS

Los costos considerados en el presente proyecto de investigación se muestran a continuación en las siguientes tablas:

Tabla V- 1 Costo de materia prima y reactivo

ítem	Detalle	Precio (Bs)
1	Zapallo (11kg)	77
2	Amaranto (1kg)	20
3	Transporte	130
4	Ácido cítrico (1kg)	46
		T₁=273

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla V- 1 Costos del material de escritorio

ítem	Detalle	Descripción	Precio(Bs)
1	Internet	Información	180
2	Hojas	Resma (1)	30
3	Ejemplares(3)	borradores	120
4	Ejemplares(3)	empastado	150
5	Ejemplares(3)	impresión	640
			T₃=1120

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la tabla V-2 se expone los costos de los análisis fisicoquímicos realizados a: Zapallo fresco cucúrbita máxima, Harina de zapallo, Harina de amaranto y Harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto, En la harina compuesta se añadió a realizar el parámetro de gluten húmedo, considerando en estos costos el 70% de descuento.

Tabla V- 2 Costos de los análisis fisicoquímicos

ítem	Detalle	Cantidad	Precio (Bs)	
			Unitario	total
1	Acidez	4	12	48
2	Calcio total	4	75	300
3	Cenizas	4	30	120
4	Fibra	4	45	180
5	Materia grasa	4	39	156
6	Hierro total	4	75	300
7	Humedad	4	15	60
8	Hidratos de carbono	4	3	12
9	Proteína total (Nx6,25)	4	51	204
10	Valor energético	4	3	12
11	Gluten húmedo	1	10,5	10,5
				T₂=1402,5

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla V- 3 Costos de los análisis microbiológicos

Harina de zapallo-harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto				
ítem	Detalle	Cantidad	Precio (Bs)	
			Unitario	total
1	Mohos y levaduras	2	45	90
2	Coliformes totales	2	45	90
				T₄=180

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla V- 4 Costos energéticos

Equipos utilizados				
ítem	Detalle	Tiempo (h)	Energía (kwh)	Costo (Bs)
1	Secador	30	4,020	2,358
2	Molino eléctrico	0,5	0,475	0,285
3	Tamiz vibratorio	0,75	0,076	0,046
				T₃=2,689

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla V- 5 Costo total

Sub-total	Costo (Bs)
Costo de materia prima y reactivo	273
Costos de los análisis fisicoquímicos	1402,5
Costo de los análisis microbiológicos	180
Costos energéticos	2,689
Costos del material de escritorio	1120
TOTAL	2598,189

Fuente: Elaboración propia, 2016

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Según todo lo descrito y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación se establecen las siguientes conclusiones:

- De las pruebas y análisis fisicoquímicos realizados a la materia prima zapallo criollo de especie “cucúrbita máxima” se determinaron los siguientes resultados expuestos en la tabla VI- 1:

Tabla VI- 1 Resultados de análisis fisicoquímicos de materia prima zapallo

Parámetros		Zapallo “Cucúrbita máxima”
Cenizas	(%)	0,60
Fibra	(%)	0,02
Materia grasa	(%)	0,11
Humedad	(%)	92,38
Hidratos de carbono	(%)	5,49
Proteína total (Nx6,25)	(%)	1,40

Fuente: Elaboración propia, 2016

Ó

Asimismo se determinó que el zapallo de especie cucúrbita máxima presenta las siguientes características físicas expuestas en la tabla VI-2:

Tabla VI- 2 Características físicas de la materia prima zapallo

Características	Cantidad
peso	6455,8g

diámetro	39cm
altura	33,2cm
porcentaje comestible	46,4%
porcentaje no comestible	53,60%

Fuente: Elaboración propia, 2016

De acuerdo al desarrollo experimental realizado se concluye que un zapallo semiduro presenta mejores ventajas en cuanto al color de pulpa y la facilidad de pelar la cáscara (epicarpio).

- Los resultados alcanzados en los análisis fisicoquímicos realizado a la harina de amaranto de especie “caudatus” se presentan en la tabla VI-3:

Tabla VI- 3 Resultados de los análisis fisicoquímicos de harina de amaranto

Parámetros		Harina de amaranto
Cenizas	(%)	2,11
Fibra	(%)	4,25
Materia grasa	(%)	7,52
Humedad	(%)	9,37
Hidratos de carbono	(%)	61,2
Proteína total (Nx6,25)	(%)	15,55

Fuente: Elaboración propia, 2016

Los valores obtenidos de humedad y proteína que presenta la harina de amaranto son cercanos a los resultados presentados en los datos bibliográficos. [**Julio Michael Salvador Carpio**; San Salvador, Diciembre de 2009].

El valor obtenido de humedad y proteína en la harina de amaranto se encuentra dentro de los límites permisibles de la norma Ecuatoriana la cual establece un valor del 14% de proteína y 13% de humedad. [**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA -NTE INEN 2646:2012**; grains and cereals amaranth grain-requirements and inspection; Quito – Ecuador; Instituto

Ecuatoriano de normalización].

De acuerdo a la metodología de análisis seguida para la cuantificación de aminoácido (lisina) presente en la harina de amaranto dio como resultado 0,542g lisina /100g harina amaranto, un resultado más bajo que el obtenido por la bibliografía consultada, en el cual obtuvo 0,8g lisina/100g de harina de amaranto con el cual se determinó un rendimiento del 67,7%.

- De acuerdo a un balance simple de materia realizado para determinar la proporción adecuada de mezcla de harina de zapallo con harina de amaranto en función a la proteína digerible que estas presentan, se definió que la mezcla adecuada es de 30% de harina de amaranto y 70% de harina de zapallo para mantener las propiedades que presenta la harina principal (zapallo) y enriquecerla en otros componentes, logrando una harina compuesta enriquecida en aminoácido y mejorada en la calidad de la proteína pero no la cantidad de la misma, manteniendo la esencia de la harina de zapallo.
- En función al análisis organoléptico realizado para definir las variables según el diseño factorial aplicado para la obtención de harina de zapallo que mejores atributos presenten al combinarse con la harina de amaranto y por ello se llega a la conclusión de que la harina de zapallo debe ser elaborada bajo las siguientes condiciones:

Temperatura:	60°C
Espesor:	1,5

- Los resultados alcanzados en los análisis fisicoquímicos realizados a la harina de zapallo se presentan en la siguiente tabla VI-4:

Tabla VI- 4 Resultados de análisis fisicoquímicos en la harina de zapallo

Parámetro		Harina de zapallo
Cenizas	(%)	10,17
Fibra	(%)	14,39
Materia grasa	(%)	4,08
Humedad	(%)	12,96
Hidratos de carbono	(%)	41,97
Proteína total (Nx6,25)	(%)	16,43

Fuente: Elaboración propia, 2016

Los resultados de humedad y proteína para la harina de zapallo son mayores que los obtenidos según los datos bibliográficos consultados [Villa Quisbert Adriana Fabiola, (2013)].

En cuanto al análisis microbiológico realizado a la harina de zapallo se obtuvo $8,0 \cdot 10^1$ ucf/g de coliformes totales y $2 \cdot 10^1$ ucf/g de mohos y levaduras.

- Según las propiedades fisicoquímicas obtenidas de la harina a partir de zapallo enriquecida con harina de amaranto, se obtuvieron los siguientes resultados presentados en la tabla VI-5:

Tabla VI- 5 Resultado de análisis fisicoquímico de la harina compuesta

Parámetro		Harina compuesta Zapallo-amaranto
Cenizas	(%)	7,82
Fibra	(%)	9,42
Materia grasa	(%)	5,38
Humedad	(%)	12,35
Hidratos de carbono	(%)	49,06
Proteína total (Nx6,25)	(%)	15,97

Fuente: Elaboración propia, 2016

- Según el análisis microbiológico realizado, se obtuvo $1,3 \cdot 10^2$ ucf/g de

coliformes totales y $4,0 \cdot 10^1$ ucf/g de mohos y levaduras; de acuerdo al análisis de aminoácido(lisina) realizado a la harina compuesta se obtuvo 0,187g Lisina/100g lo cual nos indica que la harina de zapallo aporta a la misma 0,034g lisina /70 g y la harina de amaranto aporta 0,163 g lisina/30g, Se obtuvo una proteína digerible en la harina compuesta de 8,8 g que también nos indica que la harina de zapallo subió en 2,5g de proteína digerible lo cual no es tan significativo pero mejoro la calidad de proteína de la harina de zapallo e implementó aminoácido lisina, que colabora en el crecimiento de niños y jóvenes ya que puede incrementar la producción de la hormona de crecimiento, en el desarrollo muscular, la absorción del calcio y en la producción de hormonas, enzimas y anticuerpos.

- Según el análisis sensorial realizado a un producto aplicado, en este caso “queque” elaborado a partir de harina de zapallo enriquecido con harina de amaranto, se obtuvo buenos resultados resaltando con más énfasis la aceptabilidad de los atributos de sabor ,color y seguidamente de olor, textura.
- Se puede concluir que el rendimiento de esta hortaliza (zapallo) como harina presenta un bajo rendimiento, habiendo la mayor pérdida de materia prima al deshidratar el zapallo en el proceso de secado con un 92,38%(agua).

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda abrir y cerrar el secador la menor cantidad de veces posible, para evitar las pérdidas de calor y la humidificación de la muestra, lo cual influye en los resultados del proceso de secado
- Se recomienda aplicar la cinética de secado determinada para el ensayo de temperatura 60°C y espesor 1,5mm, estableciendo las siguientes expresiones matemáticas para los dos periodos de secado:

Periodo antecrítico: $Y=1,9457+0,0605X$

Periodo Poscrítico: $Y=0,148+0,9079X$

- Se recomienda un estudio integral del zapallo, para aprovechar sus desperdicios u otros componentes, por ejemplo, de la cáscara, se podrían obtener sub-productos como frutas confitadas, de las semillas, dulces acaramelados o salados o también la extracción de carotenoides y emplearlos como colorantes naturales.
- Se sugiere habilitar en los laboratorios de la U.A.J.M.S, más estufas adecuadas para la realización de investigaciones aplicadas que tengan como objeto el análisis del proceso de secado.
- Se recomienda realizar pruebas de conservación de la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto con distintos tipos de envases para observar cuál de estos es el mejor para su conservación y así determinar su tiempo de vida útil.
- Se sugiere que se realice una investigación sobre la cuantificación de aminoácido (lisina) presente en la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto, por su considerable contenido de este compuesto en la harina de amaranto y tomando en cuenta que actualmente en los laboratorios de nuestro medio no se realiza esta determinación.
- El aprovechamiento de los subproductos de la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto puede proporcionar una fuente potencial de ingredientes funcionales, sobre todo de lisina y proteína de buena calidad.
- Investigar la utilización de la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto como insumo suplementario para productos alimenticios como producto balanceados, debido a sus beneficios nutricionales, ya que contribuyen a mejorar la calidad nutricional de los subproductos que la contengan.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Álvarez, M., et al (2006).** *Utilización de Productos Deshidratados de Remanentes de Banano (cáscara verde y madura, raquis y bráctea) en la Elaboración de Productos Alimenticios.* Trabajo de graduación (ingeniero agrónomo). Universidad Earth. Guácimo (Costa Rica).
2. **Arias, M., et al (2005).** *Plan de Desarrollo de Producto para la Harina de Banano.* Trabajo de investigación (licenciatura en mercadotecnia). Universidad Dr. José Matías Delgado, Facultad de Economía Dr. Santiago I. Barberena. La Libertad (Nueva San Salvador).
3. **Augstburger, F., et al (2001).** *BANANO*, en: *Agricultura Orgánica en el Trópico y Subtrópico*, 2da edición, 2001. Naturland e.V.
4. **Castañeda, Cl., (2013).** *Comparación de la escala hedónica de nueve puntos con la escala hedónica general de magnitud (gLMS) utilizada por personas de dos regiones de América Latina.* Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras.
5. **Colque, R., (2007).** *Obtención de Harina de Ajipa.* Investigación aplicada (ingeniería en alimentos). Universidad Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).
6. **Delgadillo, S. (1993).** *Obtención de jarabe glucosado por vía ácida a partir de plátano verde.* Proyecto de grado (ingeniería química). Universidad autónoma Gabriel Rene Moreno, Facultad de Ciencias y Tecnología. Santa Cruz de la Sierra (Bolivia).
7. **García, E., (2008)-** *Perfil de mercado harina de banano.* Área de investigación y desarrollo, AMPEX. Chiclayo-Lambayene, Perú.
8. **Guerrero, D., et al (2012).** *Diseño de la Línea Producción Harina, Puré y Deshidratado a Base de Banano Orgánico.* Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura.
9. **Herrera, C., (2012)-** *evaluación fisicoquímica y propiedades funcionales de la harina y almidón nativo de cambur variedad musa AAA subgrupo Cavendish.* Proyecto de Grado (Ingeniería Química). Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
10. **INE, (2009).** *Perfil de mercado del Banano.* Cochabamba (Bolivia).
11. **IBCE (2008).** *“producir y exportar con responsabilidad social, generando empleo”*, en: ¡Exportemos!, N° 24, 2008. Artes gráficas SAGITARIO S.R.L. La Paz-Bolivia.

12. **Lomas, M., (2010).** *Introducción al Cálculo de los procesos tecnológicos de los alimentos.* ACRIBIA, S.A. Zaragoza (España).
13. **Lozada, A., et al (2013).** *Diseño de una Planta Deshidratadora de Banano Usando Secador de Gabinetes para la Producción de Harina.* Proyecto de Grado (ingeniero mecánico). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil (Ecuador).
14. **Méndez, A., (2010).** *Evaluación de la Extracción de Almidón del Banano Verde Producto de Desecho de las Industrias Bananeras y Evaluación de su función como Excipiente en la Formulación de Comprimidos.* Proyecto FODECYT. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala.
15. **Montgomery, D., (2004).** *Diseño y Análisis de Experimentos.* Limusa S.A. de México, D.F.
16. **Ordoñez, B., (2007).** *Elaboración de Harina de Camote.* Investigación aplicada (ingeniería en alimentos). Universidad Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).
17. **Pérez, E., et al (2009).** *Situación actual de las harinas de banano: Usos potenciales en la agroindustria nacional.* Producción Agropecuaria. Universidad Nacional Experimental Sur del Lago, Facultad de Ciencias. Venezuela.
18. **Rivera, E. N. (2012).** *Elaboración de vino de banana.* Proyecto de grado (Ingeniería en alimentos). Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).
19. **Rodríguez J., (2003).** *Procedimiento para la elaboración de harina de plátano como producto alimentario.*
20. **Romero, J., et al (2007).** *Estudio de la Influencia de Diferentes Procesos de Secado sobre algunas Propiedades Físicas de Rodajas de Banano.* Proyecto de grado (ingeniero de producción agroindustrial). Universidad de la Sabana, Facultad de Ingeniería de Producción Agroindustrial. Chía.
21. **Sánchez, Y., (2012).** *Obtención de Harina de Okara a Escala Laboratorio.* Proyecto de Grado (ingeniería química). Universidad Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología. Tarija (Bolivia).

22. **Santiago, L. (2005).** *Valor Nutritivo de Harina de Banano Verde*. Informe de tesis (nutricionista). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala (Guatemala).
23. **Singh, P., Heldman, D., (1984).** *Introducción a la Ingeniería de Alimentos, 2^a. ed.* ACRIBIA S.A. Zaragoza (España).
24. **Soto, V. (2010).** *Cuantificación de Almidón Total y de Almidón Resistente en Harina de Plátano Verde (Musa Cavendishii) y Banana Verde (Musa Paradisiaca), en: Revista Boliviana de Química, n° 2. Volumen 27. Diciembre de 2010.*
25. **Sucunuta, A., et al (2009).** *Diseño de una Planta Deshidratadora de Banano Usando Secador de Gabinetes para la Producción de Harina*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción. Guayaquil (Ecuador).
26. **Valenzuela, L., (2010).** *Estudio de pre-factibilidad para la implementación de una empresa dedicada a la producción y exportación de harina de banano orgánico a Estados Unidos*. Tesis (ingeniería industrial). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ingeniería Industrial. San Miguel (Perú).
27. **Valiente, A., (1994).** *Problemas de Balance de Materia y Energía en la Industria Alimentaria*. LIMUSA, S.A. de C.V. México D.F.