

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



PRODUCCIÓN EXPERIMENTAL DE HARINA DE ARVEJA MADURA
DE LA COMUNIDAD SIVINGAL, PROVINCIA O´CONNOR DEL
DEPARTAMENTO DE TARIJA POR ESCALDADO AL VAPOR PARA
CONSUMO HUMANO

Por:

SILVIA EUGENIA TEJERINA DURAN

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

Diciembre de 2017

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aplicada “Producción experimental de harina de arveja madura de la comunidad Sivingal, provincia O’Connor del departamento de Tarija por escaldado al vapor para consumo humano” tiene por objetivo obtener harina de arveja a escala laboratorio, esto con el fin principal de romper las cadenas de la enzima lipoxigenasa, por cuanto se dará un valor agregado a la arveja madura, sobre la base a la preservación de los valores nutricionales que este contiene, como una nueva alternativa para las personas celiacas, para complemento en desayunos escolares, y como un aporte a la industria alimentaria y por ser un buen sustituto parcial de la harina de trigo.

El deshidratado de los granos maduros de arveja se lo realizó empleando un secador de bandejas con aire forzado en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo CEANID de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, a una temperatura de 60 °C, con un tamaño de grano de 6,3 mm de diámetro. Una vez realizado el deshidratado, el producto se sometió a un proceso de molienda en un molino de martillos a escala de laboratorio, obteniendo así harina de arveja.

Los productos se sometieron a una evaluación sensorial en base a la escala hedónica, aplicando a un panel conformado de docentes y alumnos de la carrera de Ingeniería Química, determinándose que la muestra más aceptada, corresponde a un producto que debe ser elaborado con un tiempo de 1 min y 30 segundos de escaldado y a una temperatura de deshidratado de 60 °C.

Posteriormente la harina de arveja obtenida en el proceso, fue tamizada para determinar el rango de granulometría, para esto se utilizó las mallas 0,5 mm y 0,25 mm. Un 94 % de harina de arveja presento un tamaño de 0,25 mm, que bien puede ser utilizada para cualquier tipo de repostería, ya que este rango de granulometría es similar al de la harina de trigo 000 común y 6 % presento un tamaño de 0,5 mm, similar a la harina de maíz, esta harina por la granulometría que presente es utilizada como espesante de sopas.

El producto obtenido para una mejor conservación fue envasado en bolsas de polietileno, para evitar que absorba humedad del ambiente y posteriormente se almacenaron en un lugar fresco y seco a temperatura ambiente.

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTE HISTÓRICO DE LA ARVEJA

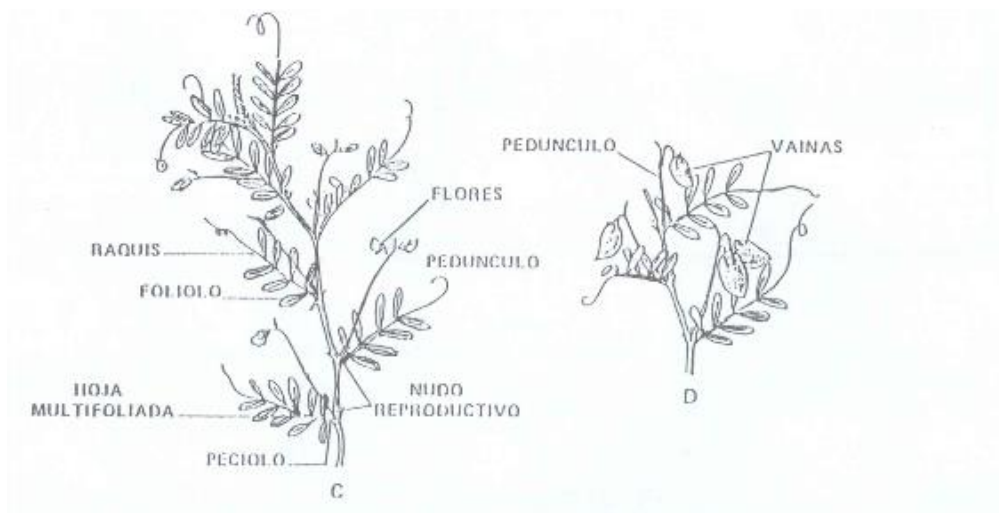
Familia: Fabasea (Leguminosa)

Nombre científico: *Pisum Sativum* L.

Etimología: La arveja, probablemente se originó en el sur oeste de Asia, habiéndose distribuido a través de las zonas templadas del mundo. La arveja es la cuarta leguminosa de grano con relación a la superficie de década en el mundo a estas especies, siendo superada, por el fréjol, el maní y el garbanzo. (**Hortalizas, verduras guisantes verdes guisante, arvejas, chicharos**)

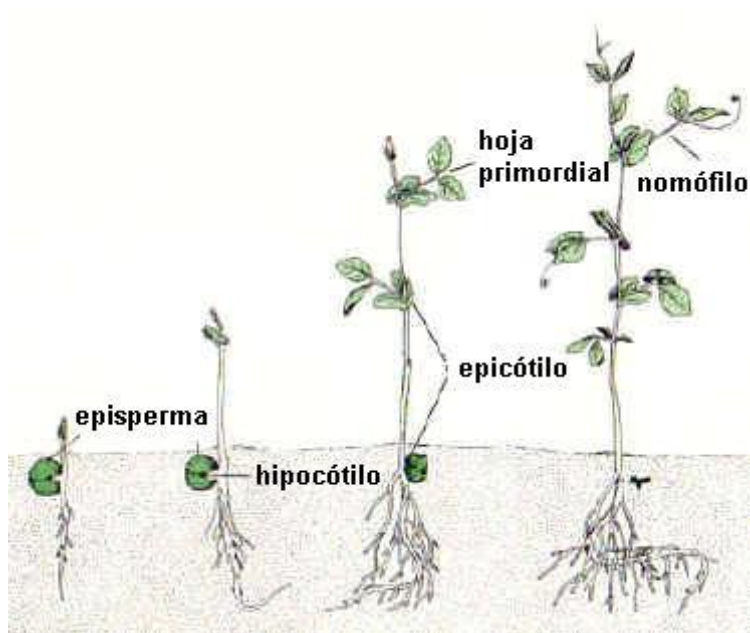
1.2 CARACTERIZACIÓN DE LA ARVEJA

Figura 1-1. Planta de arveja



Fuente: Estados sucesivos de la germinación hipógea de una semilla de *Pisumsativum*

Figura 1-2. Planta de arveja

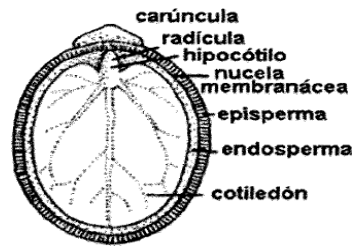


Fuente: Estados sucesivos de la germinación hipógea de una semilla de *Pisum sativum*.

El grano

El órgano de consumo tradicional de esta variedad es su semilla o grano inmaduro, constituida por el embrión y la testa que la protege. El embrión presenta dos cotiledones de gran tamaño, radícula, plúmula, hipo y epicótilo y primordios foliares. Los cotiledones reservan asimilados y al momento de la madurez fisiológica significan cerca del 90% de la masa de la semilla. Cerca de madurez fisiológica los granos presentan las características hortícolas deseadas en un producto de calidad: granos redondeados, casi del tamaño máximo del cultivar, de color verde intenso, firme y más o menos dulce.

Figura 1-3. Grano de arveja



Fuente: 2013. MariaGonzalez
Ana, Estructura de grano de arveja

1.3 USOS DE LA ARVEJA

Entre los principales usos de la arveja, destaca el consumo de su semilla inmadura, en la forma conocida de arveja verde. En este mismo estado, los granos pueden ser procesados para la obtención de conservas, en forma de producto enlatado o congelado. En algunos países, a través del cultivo de variedades especiales se consumen las vainas enteras inmaduras a semejanza de los porotos verdes.

El grano seco, que es la forma principal en que se utiliza la arveja, a nivel mundial, puede destinarse directamente para el consumo humano, comercializándose sus granos enteros o partidos, con o sin presencia de cutícula. El grano seco, a través de un proceso de rehidratación, también se usa en la industria conservera para enlatado. De esta misma forma es usado extensivamente para consumo animal, especialmente en Rusia y partes de Europa. **(Lenteja, arveja y chicharo).**

Tabla I-1. Usos de la arveja

USOS	DESCRIPCION
Usos agrícolas	La arveja es utilizada para alimento para forraje de animales
Usos en gastronomía	En la gastronomía del departamento de Tarija es muy utilizada para diferentes platos típicos. En harina para la elaboración de helados, snack, pastas.

Fuente: Elaboración propia.

1.4 HARINA

La harina (término proveniente del latín farina, que a su vez proviene de far y de farris, nombre antiguo del farro) es el polvo fino que se obtiene del cereal molido y de otros alimentos ricos en almidón. (**Alimentos ricos en carbohidratos. Derivados de cereales, Carranza Villanueva Patricia**).

Se puede obtener harina de distintos cereales. Aunque la más habitual es harina de trigo (cereal proveniente de Asia, elemento habitual en la elaboración del pan), también se hace harina de centeno, de cebada, de avena, de maíz (cereal proveniente del continente americano) o de arroz (cereal proveniente de Asia). Existen harinas de leguminosas (garbanzos, judías) e incluso en Australia se elaboran harinas a partir de semillas de varias especies de acacias (harina de acacia). (**Granería el Corralón**).

1.5 TIPOS DE HARINA

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 incorporada la totalidad del salvado del mismo.

Harinas acondicionadas. Son aquellas cuyas características organolépticas, plásticas, fermentativas, etc., 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 de fuerza. Son las harinas de extracción T-45 y T-55 exclusivamente extraídas de trigos especiales con un contenido en proteína de 11%.

Harinas especiales. Son aquellas obtenidas en procesos especiales de extracción; nos encontramos con los siguientes tipos: malteadas, dextrinadas, y preparadas.

Harinas de origen animal. Existen harinas de origen animal que se utilizan como aporte de proteínas, algunas de ellas obtenidas a partir de subproductos de la industria cárnica.

Harina de huesos

Harina de sangre

Harina de plumas o pelo y pezuñas

Harina de pescado

1.6 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA HARINA DE ARVEJA

Los guisantes son legumbres ricas en almidón y en fibra, también en proteína, vitamina A, vitamina B6, vitamina C, vitamina K, fósforo, magnesio, cobre, hierro, zinc y luteína (fitoquímico valioso para mantener una buena salud de la vista).

En peso seco los guisantes contiene aproximadamente una cuarta parte de proteína y otra cuarta parte de hidratos. En cuanto a su acción antioxidante podemos decir que los péptidos (cadenas de aminoácidos) del guisante tienen menor capacidad para neutralizar los radicales libres que el glutatión, pero mayor capacidad de que los metales en inhibir la oxidación del ácido linoleico. (**Granería el Corralón**).

1.7 USOS DE LA HARINA DE ARVEJA

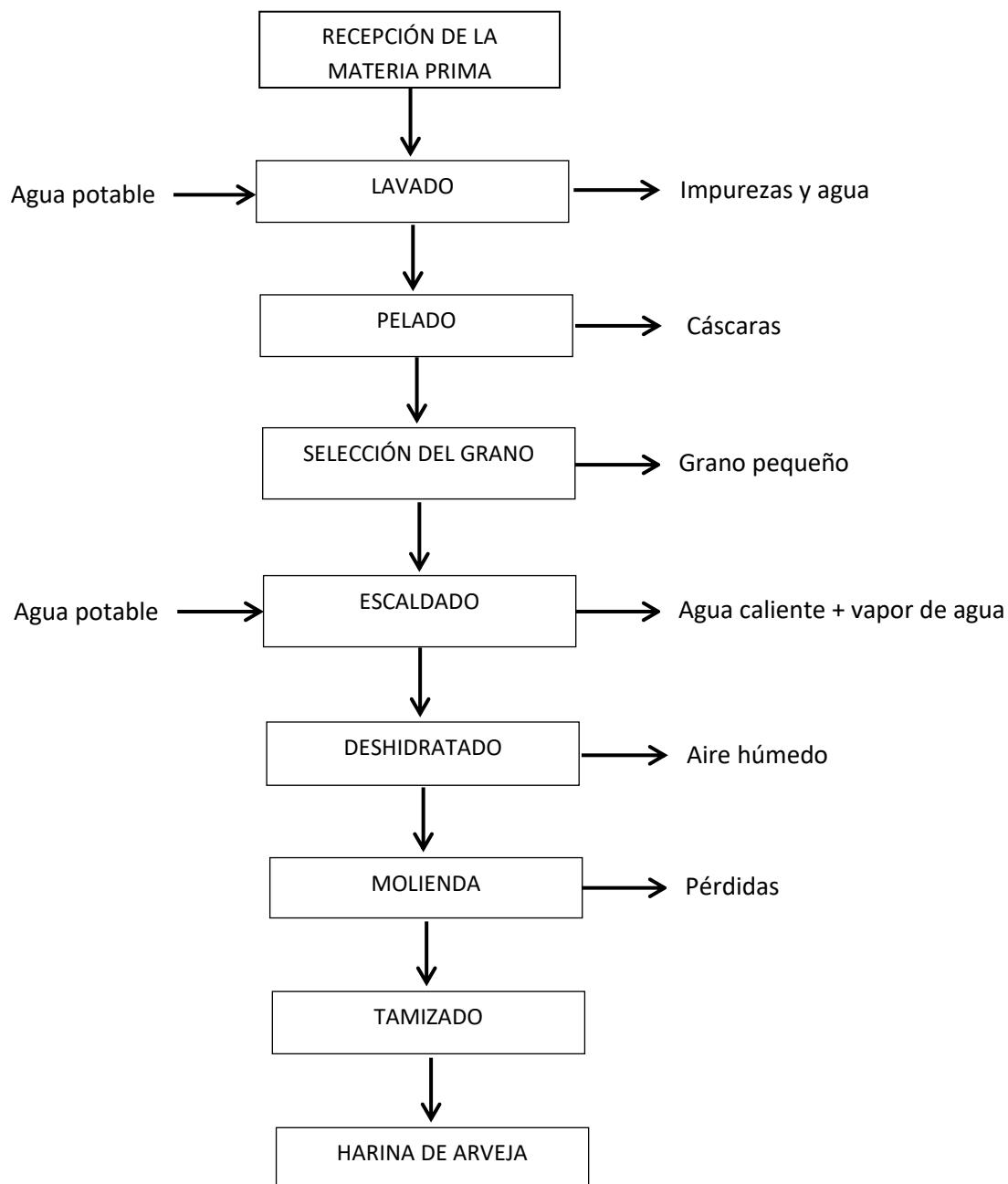
La harina de arveja es utilizada en gastronomía, sirve como ingrediente de sopas, coladas, cremas, tortillas, pan, etc.

Esta harina, sola o mezclada con otros ingredientes, puede utilizarse como insumo de

diferentes industrias alimenticias, para la elaboración de productos de panadería, pastas, batters, rebozadores, embutidos frescos y cocidos, snacks, sopas y salsas instantáneas, barras nutricionales, entre otros. (**Meval verde**).

1.8 PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA OBTENCIÓN DE LA HARINA DE ARVEJA

Figura 1-3. Diagrama de bloques



Fuente: Elaboración propia

Recepción de la materia prima

Primeramente se hará la recepción de la arveja madura.

Lavado

Una vez adquirida la materia prima se seleccionará las vainas secas y se eliminara las vainas que tengan algún defecto y las impurezas que estas traigan como ser hojas, palos, etc. para luego proceder al lavado de las mismas con agua fría.

Pelado

Después de la selección de la arveja se procederá al desvainado separando la parte comestible de la no comestible como es la cáscara. El pelado se efectuará a mano.

Selección del grano

Una vez desvainadas las arvejas se realizará la selección del grano maduro, lo cual se realiza de manera visual a partir de la apreciación de color y también determinando la humedad del grano y el tamaño del grano con un diámetro de 0,63 cm aproximadamente mediante un tamiz vibratorio.

Escaldado

El escaldado del grano de arveja se realizará por dos métodos; escaldado con agua y al vapor tomando en cuenta dos rangos de tiempo a la temperatura de 92 °C, para esto se debe tomar en cuenta que la severidad del proceso de escaldado debe ser limitada a fin de mantener el color, la textura, el sabor y aroma genuino, así como la calidad nutricional. Las condiciones de inactivación de lipoxigenasa han sido ampliamente estudiadas, ya que esta enzima se ha propuesto como indicadora del tiempo de escaldado por diversos autores.

Deshidratado

En este proceso las bandejas son ingresadas al secador donde la temperatura alcanzada será de 50 y 60 °C, para de esta manera disminuir la humedad de la legumbre a un 10 % o menos.

Molienda

Una vez alcanzada la humedad requerida para el grano, se procederá a moler hasta alcanzar la granulometría requerida, obteniendo de esta forma la harina.

Tamizado

La harina que se obtiene tiene diferentes tamaños de partícula, por lo que la totalidad del producto se debe hacer pasar por un tamiz para obtener las diferentes fracciones por separado. De esta forma se llega a obtener un producto de molido más fino.

1.9 METODOLOGÍA A SER EMPLEADA EN EL ESTUDIO

1.9.1 ESCALDADO

El escaldado es un método de conservación para alimentos que se realiza a altas temperaturas. Es importante mencionar que el escaldado no siempre se emplea como un método de conservación, generalmente se utiliza como una operación preliminar, que se realiza antes de aplicar el proceso específico, pero debido a lo que consigue, actúa como un método de conservación, de ahí la importancia de estudiarlo. El escaldado consiste en someter al alimento (materia prima) a alguno de los siguientes procesos, todo depende del alimento a tratar:

- a) **Escaldado con agua caliente:** Se somete el alimento a una inmersión en agua caliente a una temperatura de 85°C a 98°C. Esta forma es muy eficiente y uniforme, ya que el proceso se puede controlar adecuadamente. Las desventajas que presenta es el gran volumen de agua requerido y el riesgo de lixiviación (extracción) de algunas vitaminas y minerales importantes para la nutrición.
- b) **Escaldado por vapor:** Se expone el alimento al vapor vivo. Con este método los productos retienen su valor nutricional. Su mayor desventaja es que resulta menos eficiente, ya que requiere mayor tiempo para la inactivación de enzimas. Además, es más complicado controlar el tiempo y temperatura, ocasionando daños al producto.
- c) **Escaldado químico:** Se utiliza cuando los dos métodos anteriores provocan daños graves al alimento, como en el caso del higo o la fresa, ya que éstos son

muy delicados. Se realiza mediante la adición de un químico, utilizando compuestos como dióxido de azufre, sulfitos que reaccionan con compuestos fenólicos, inactivando enzimas.

Los objetivos del escaldado dependen del tipo de alimento; en general, se pueden mencionar los siguientes:

- Ayuda a la inhibición de la acción enzimática (peroxidasa y catalasa que producen oscurecimiento en el alimento), evitando las reacciones químicas y de oxidación del alimento. Contribuye a un producto de mayor calidad y valor nutricional.
- Expulsión de gases (O_2 y CO_2) generados por el proceso natural de respiración de los alimentos, consiguiendo un mejor vacío al momento de envasar.
- Suavización del alimento, logrando un producto más manejable para el proceso de envasado.
- Facilitación de operaciones preliminares como el pelado, cortado, extracción de pulpa, etc., de acuerdo al alimento que se aplique.
- Fijación del color natural de ciertos productos, dando una mejor apariencia para el consumidor.
- Remoción de sabores y olores no deseables de la materia prima, que pudieron adquirir durante el almacenamiento.
- Adición de limpieza al producto.
- Reduce el número de microorganismos contaminantes, principalmente mohos, levaduras y algunas bacterias que se encuentren en la superficie de los alimentos.

Por lo tanto, el escaldado contribuye al efecto conservador de operaciones posteriores, como la aplicación de métodos como la congelación, el deshidratado, el enlatado o la esterilización comercial, etc. El escaldado es más utilizado en el caso de frutas y hortalizas, aunque también se utiliza de forma similar en los crustáceos y aves para la limpieza y eliminación de partes no comestibles.

Tabla I-2 Ventajas y desventajas para la utilización del método

Proceso	Viabilidad	Ventajas	Desventajas
Escaldado con agua caliente	Viable	Requiere menos tiempo en la inactivación de enzimas.	Pérdida más rápida de nutrientes, olor, sabor y color. Más gasto de agua.
Escaldado por vapor	Viable	Conservación de nutrientes. Menos utilización de agua para el tratamiento	Requiere mayor tiempo en la inactivación de enzimas
Escaldado químico	No viable	Para alimentos de piel delicada o delgada.	No es adecuado para inactivación de enzimas en frutas o hortalizas de piel gruesa.

Fuente: Elaboración propia

1.9.1.2 MÉTODO SELECCIONADO PARA EL ESCALDADO DE LA ARVEJA

Debido a que la arveja requiere un tratamiento térmico para eliminar la enzima lipoxigenasa, así también necesita conservar sus nutrientes; uno de los más importantes es la proteína, además, necesita conservar sus propiedades organolépticas; se eligió el escaldado al vapor de agua, ya que este tratamiento no necesita gran cantidad de agua para el escaldado.

1.9.2 DESHIDRATADO

Es el proceso más utilizado para la conservación de alimentos. Este proceso ha sido

utilizado desde la prehistoria porque otorga una mayor vida en los productos.

Durante el proceso de deshidratación se elimina agua del alimento mediante evaporación por fuentes de calor solar o eléctrico y se alcanza una mayor protección microbiológica, así como el retraso de muchas reacciones indeseables.

Las principales variables que modulan la velocidad del movimiento del agua en el alimento son el tiempo y la temperatura. Conforme se incrementa la temperatura, la deshidratación se acelera, pero los atributos cualitativos iniciales del alimento cambiarán drásticamente. Por otro lado, la disminución de la temperatura de deshidratación alargará el tiempo de este proceso, pero el producto obtenido tendrá mejores atributos nutricionales, color, aroma, sabor y textura. Además de la temperatura y el tiempo de deshidratación, el incremento de la superficie de contacto del alimento con el fluido deshidratante también incrementará la velocidad de movimiento del agua desde el alimento hacia el exterior del mismo.

La deshidratación en los alimentos es el proceso de extracción del agua que contiene mediante la circulación de aire caliente, lo que detiene el crecimiento de enzimas y microorganismos que lo deterioran. Además, muchos microorganismos son destruidos cuando la temperatura llega a 60°C.

El objetivo de secar es preservar el alimento al disminuir su humedad hasta que el crecimiento microbiano de bacteria, levadura y moho, y las reacciones químicas por degradación enzimática se detengan y cesen de destruir el alimento durante su almacenaje. (Valdés, 2008).

1.9.2.1 MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL DESHIDRATADO DE ARVEJA

Para la selección del tipo de deshidratación se describen los cuatro principales tipos de deshidratación.

a) Deshidratación natural

Se produce cuando se expone el alimento a corrientes naturales de aire, en un clima con alta temperatura y bajos niveles de humedad. Tiene la desventaja que es lento y el contenido de humedad de los alimentos no se ve reducido a menos del 15%, por lo

que es más usado para frutas como ciruela, uva y durazno. Además, se requiere de un gran espacio y cuidados especiales, pues la fruta puede ser sujeta a contaminación por polvo, insectos o roedores. También es conveniente proteger la fruta de la lluvia y la humedad nocturna, razón por la que se tiende a secarla bajo techo.

b) Deshidratación con aire caliente forzado

El deshidratado con aire caliente es el método más común para secar productos alimenticios. En este método el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos. El incremento en la velocidad del aire y la turbulencia generada alrededor del alimento provoca una reducción de la tensión en la capa de difusión, causando la deshidratación eficiente. La deshidratación mediante este método depende de la velocidad y temperatura del aire empleado, es común el uso de altas temperaturas, lo cual representa su principal desventaja, puesto que causa cambios drásticos en el sabor, color, contenido de nutrientes, componentes aromáticos.

c) Deshidratación osmótica

La ósmosis se produce cuando un material está en contacto con una solución y permite el paso de algunas moléculas pero no de otras por medio de una membrana semipermeable.

La ósmosis tiene muchas aplicaciones; desde procesos medicinales hasta la desalinización de agua de mar. La deshidratación de alimentos por medio de ósmosis es un método de conservación que interesa mucho y es objeto de investigación en el área de tecnología de alimentos, pues al mismo tiempo que se inhibe el crecimiento microbiano mediante la disminución del contenido de agua, se utilizan temperaturas bajas que favorecen la conservación de las características organolépticas de los productos, lo que reduce también los costos de energía del proceso.

La presión requerida para evitar la ósmosis se conoce como presión osmótica. El proceso de deshidratación osmótica consiste en colocar los alimentos en una solución hipertónica (presión osmótica mayor con respecto al material) provocando que exista

una transferencia de masa como resultado de una diferencia de concentraciones, con un movimiento desde el lugar con alta concentración (solución) al lugar con baja concentración (el alimento) eliminando el agua de este último. Con la deshidratación osmótica se remueven cantidades significativas de agua y del mismo modo se impregna de soluto.

Debido a que algunos alimentos presentan una estructura molecular rígida que puede considerarse como una membrana semipermeable, al sumergir trozos de estos en una solución concentrada de sales o azúcares, puede producir ósmosis, pues existirá una transferencia de agua desde el alimento hasta la solución. Como existe mayor presión osmótica, a medida que se incremente la diferencia entre las concentraciones del jarabe y los trozos del alimento, ésta pierde un porcentaje de agua a distintas horas de inmersión. Además, no existe transferencia del soluto a través de la membrana en dirección inversa o la velocidad es muy lenta.

d) Deshidratación por liofilización o congelamiento

La liofilización es un proceso en el que se congela el producto y posteriormente se introduce en una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación. De esta manera se elimina el agua desde el estado sólido al gaseoso del ambiente sin pasar por el estado líquido. El proceso de liofilización consta de tres etapas: (I) congelación previa, se separa el agua de los componentes hidratados del producto, por la formación de cristales de hielo. (II) Sublimación de estos cristales que elimina el agua del seno del producto trabajando a presión y temperatura por debajo del punto triple y aportando el calor latente de sublimación. En esta etapa tiene lugar el liofilizador. (III) Evaporación o Desorción del agua que queda aún adsorbida en el interior de los productos.

A pesar de las muchas ventajas, el secado por congelación siempre ha sido reconocido como el proceso más costoso para la fabricación de un producto deshidratado.

1.9.2.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN.

En la siguiente tabla puede verse la elección del proceso seleccionado de acuerdo a los parámetros de calidad del producto y el equipamiento disponible:

Tabla I-3. Ventajas, desventajas y viabilidad de los distintos procesos de deshidratación.

Proceso	Viabilidad	Ventajas	Desventajas
Deshidratación natural	Es viable	<ul style="list-style-type: none"> - Bajos costos de operación. - Es ecológico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vulnerabilidad a contaminación, infestación por insectos y hongos. - Bajo rendimiento.
Deshidratación con aire caliente forzado	Es viable	<ul style="list-style-type: none"> - Buena calidad. - Costo de inversión óptima. - Mayor rendimiento. - Menor tiempo de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios drásticos en las propiedades organolépticas y nutricionales.
Deshidratación osmótica	Es viable	<ul style="list-style-type: none"> - No causa grandes cambios en las propiedades organolépticas y nutricionales. - Costo de inversión bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> - No tiene gran rendimiento. - Mayor tiempo de operación.
Deshidratado por liofilización o congelamiento	No es viable	<ul style="list-style-type: none"> - No causa grandes cambios en las propiedades organolépticas y dietéticas. - No necesita aditivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - La energía térmica facilita las reacciones químicas en el alimento que cambian su forma, gusto, olor o aspecto total. - Costo de inversión alto.

Fuente: Elaboración propia.

1.9.2.3 MÉTODO SELECCIONADO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE LA ARVEJA

El deshidratado de arveja no solo afecta el contenido de agua, se tiene el riesgo de

perder propiedades organolépticas y nutricionales; teniendo en cuenta esto y la accesibilidad de equipos en laboratorio y de acuerdo al análisis de la tabla anterior el método a emplear para el presente proyecto en la deshidratación para la obtención de harina de arveja será:

Deshidratación con aire caliente forzado: Se procederá al proceso de deshidratación con aire caliente forzado. Las principales variables dentro de este proceso de deshidratación son la temperatura y el tiempo de contacto entre la arveja y el aire caliente.

1.10 FUNDAMENTOS DE SECADO

El proceso de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas-sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación a la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor ejercida por la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa (**Contreras Velásquez, L. M., 2012**).

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos, que son:

- Transferencia de calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

1.10.1 TRANSFERENCIA DE CALOR

La transferencia de calor se define como la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas, ésta se produce predominantemente por conducción (en secadores indirectos en los cuales el material se seca a través de una pared) y por convección (en secadores directos donde el material es secado por una corriente que pasa a través del material) (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

1.10.1.1 CONVECCIÓN

El modelo para este fenómeno está dado por:

$$Q = h_c (T_s - T_\infty) \quad (1-1)$$

Q: flujo de calor por unidad de área (W/m^2)

h_c : coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m²·K)

T_s : temperatura de la superficie (K)

T_∞ : temperatura de la corriente libre (K)

1.10.1.2 CONDUCCIÓN

La ecuación que obedece a este modo de transferencia está dada por (Guachamín Velásquez, C.D., 2012):

$$Q = -k \cdot \frac{dT}{dx} \quad (1-2)$$

k : coeficiente de transferencia de calor por conducción (W/m·K)

dT/dx : gradiente de temperatura en la dirección x

1.10.2 TRANSFERENCIA DE MASA

La deshidratación trata de la aplicación de calor para evaporar agua y de la forma de extraer el vapor después de su separación de los tejidos vegetales. La aplicación de calor implica suministro de energía. Una corriente de aire es el medio más común para transferir calor al tejido que se deshidrata (Valdés, 2008).

Los dos aspectos más importantes de la transferencia de masa son:

- La transferencia del agua desde el interior hasta la superficie del material.
- La extracción del vapor de agua desde la superficie del material.

Con el objeto de asegurar una calidad óptima a un bajo costo la deshidratación debe ser relativamente rápida. Cuatro aspectos afectan la velocidad y el tiempo total de deshidratado (Valdés, 2008):

- Las características del producto, en particular el tamaño de sus partículas y su geometría.
- El arreglo geométrico de los productos con relación al medio calórico de transferencia.
- Las características físicas del medio que deshidrata.
- Las características del equipo deshidratador.

1.11 DEFINICIONES FUNDAMENTALES DEL DESHIDRATADO DE ALIMENTOS

Para expresar la cantidad de agua que contiene el sólido a deshidratar, es conveniente definir ciertos parámetros como: el contenido de humedad en base seca y el contenido

de humedad en base húmeda. Para ello se considera que el sólido está formado por una parte completamente seca llamada masa seca más una cierta cantidad de agua (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

- **Contenido de humedad:** Se usa el término humedad para describir la cantidad de agua que tienen los materiales o sustancias. Debido a que la mayoría de los materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, se establece (Martínez y Lira, 2010):

$$m_h = m_s + m_{H_2O} \quad (1-3)$$

m_h = Masa total (g)

m_s = Masa seca (g)

m_{H_2O} = Masa de agua (g)

El contenido de humedad se puede expresar en contenido de humedad en base seca y en contenido en humedad en base húmeda.

- **Contenido de humedad en base seca:** Es el cociente entre la masa de agua en el material y su masa (Martínez y Lira, 2010). Se define como:

$$X_s = \frac{m_{H_2O}}{m_s} = \frac{m_h + m_s}{m_s} \quad (1-4)$$

X_s : Humedad del material en base seca (fracción)

m_{H_2O} : Masa del agua contenida en el material (kg)

m_s : Masa seca del material (kg)

- **Contenido de humedad en base húmeda:** Es el cociente entre la masa de agua dentro del material y su masa total (Martínez y Lira, 2010). Se define como:

$$X_h = \frac{m_{H_2O}}{m_h} = \frac{m_h - m_s}{m_h} \quad (1-5)$$

X_h : contenido de humedad en base húmeda (fracción)

m_{H_2O} : masa del agua contenida en el material (Kg)

m_s : masa seca del material (Kg)

- **Humedad de equilibrio:** Es el contenido de agua en base seca que tiene el sólido cuando las presiones parciales del vapor contenido en el aire y del

líquido contenido en el sólido se igualan. Entonces se dice que el sólido y el aire están en equilibrio. Para una temperatura dada, la humedad en equilibrio del sólido depende de la humedad relativa que tenga el aire.

- **Humedad libre:** Es la humedad que puede perder un producto al estar expuesto a suficiente aire a condiciones estables, expresado como la diferencia entre la humedad en base seca y la humedad de equilibrio (Guachamín Velásquez, C. D., 2012).

$$X_L = X_S - X_E \quad (1-6)$$

X_L : humedad libre (fracción)

X_E : humedad de equilibrio (fracción)

- **Velocidad 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 (Ocon y Tojo, 1963).

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación (Ocon y Tojo, 1963).

$$W = \frac{SS}{A} \left(- \frac{dX}{dt} \right) \quad (1-7)$$

SS = Peso de sólido seco

A = Área de la superficie expuesta

W = Velocidad de secado

dX = Variación de la humedad en base seca

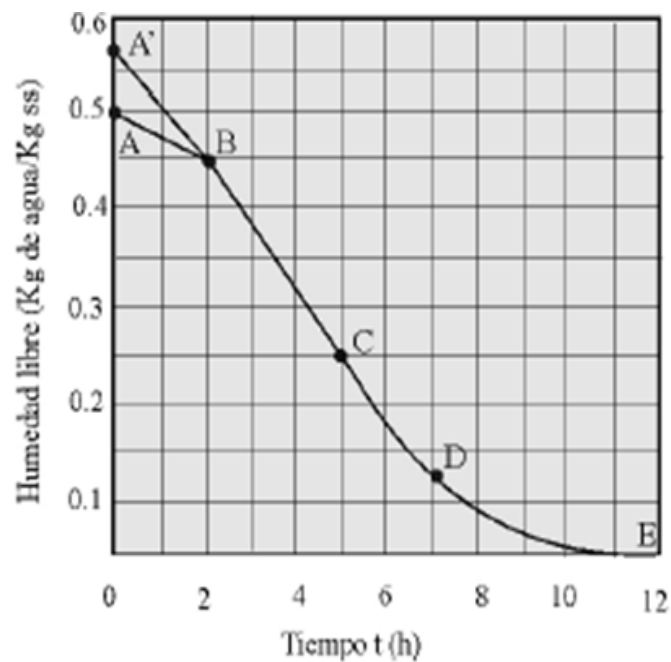
dt = Tiempo

1.12 CURVAS FUNDAMENTALES DE SECADO

Cuando un sólido se seca experimentalmente, casi siempre se obtienen datos que asocian el contenido de humedad con el tiempo. La figura 1-2 representa el caso general en que los sólidos húmedos pierden humedad, primero por evaporación desde la superficie saturada del sólido, después sigue un periodo de evaporación desde una superficie saturada que tiene una área que gradualmente va disminuyendo, y por

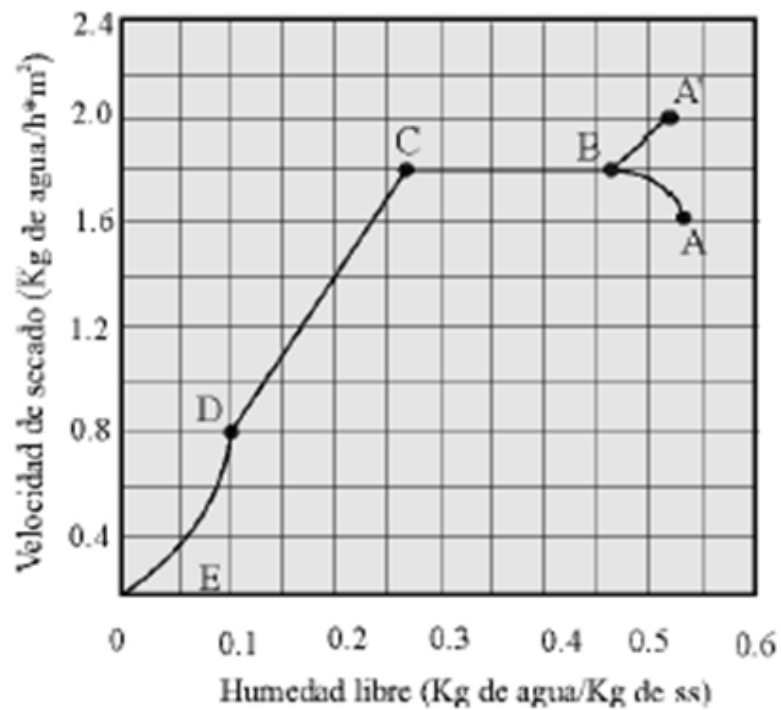
ultimo cuando el agua del interior del sólido se evapora. Esta curva indica que la velocidad de secado es función del tiempo o del contenido de humedad. Esta variación se ilustra con mayor claridad diferenciando gráfica o numéricamente la curva y haciendo una representación gráfica de la velocidad de secado en función del contenido de humedad, como se ilustra en la figura 1-3, o como velocidad de secado en función del tiempo como se ilustra en la figura 1-4. Estas curvas de velocidad demuestran que el secado no es un proceso suave y continuo en el cual existe un solo mecanismo que ejerza el control a lo largo de toda su duración (Perry y Green,1999).

Figura 1-4 Contenido de humedad en función del tiempo



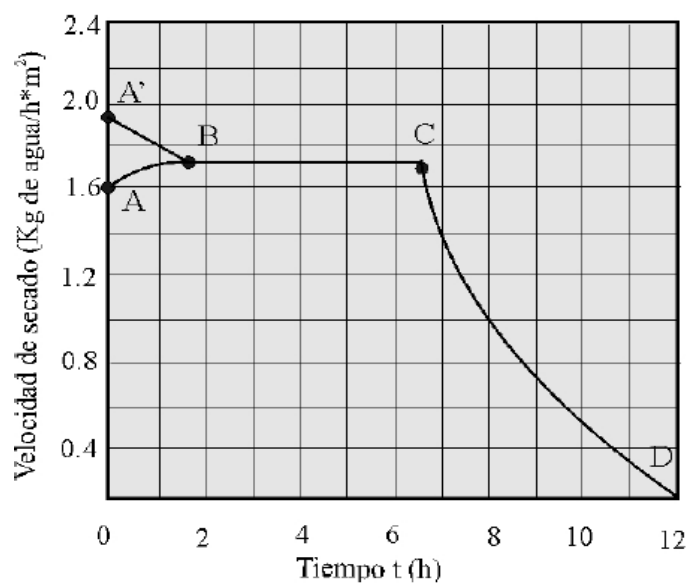
Fuente: Perry y Green, 1999

Figura 1-5 Velocidad de secado en función del contenido de humedad



Fuente: Perry y Green, 1999

Figura 1-6 Velocidad de secado en función del tiempo



Fuente: Perry y Green, 1999

1.13 DESCRIPCIÓN DE LAS CURVAS DE SECADO

Las curvas anteriores 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 tendrá al final y la velocidad de evaporación va en aumento; por el contrario, cuando el alimento está a una temperatura más elevada **A'**, la velocidad de evaporación disminuye hasta llegar al punto **B**, en el cual la temperatura de 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 (Geankoplis, 1998). La recta entre el punto **BC** tienen una pendiente y velocidad constante. Durante este periodo, la superficie del sólido está muy húmeda al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua, es agua libre y actúa como si el sólido no estuviera presente. La velocidad de evaporación con las condiciones establecidas para el proceso, es independiente del sólido y esencialmente igual a la velocidad que tendría una superficie líquida pura. Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior (Geankoplis, 1998).

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

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, y 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 aún así, el tiempo requerido puede ser largo (Geankoplis, 1998).

1.14 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE DESHIDRATADO

Los factores que a continuación se describen, tienen influencia en la deshidratación de los alimentos y pueden llegar a afectar el proceso de secado.

1.14.1 TEMPERATURA DE SECADO

La temperatura es un factor de aceleración y muy importante en el proceso de secado ya que cuanto más elevada sea la temperatura del ambiente que rodea a la fruta más intensa será la evaporación porque el aire podrá absorber más humedad.

En la práctica de secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración a la especie por ser un valor particular de cada producto que se vaya a someter al proceso (Flores, 2004).

Hay diferentes niveles de temperatura durante el proceso técnico de secado:

- a. Temperatura de bulbo seco.-** Es la temperatura del ambiente (ver anexo C-4), es medida por termómetros ordinarios (Flores, 2004).
- b. Temperatura del 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 (Flores, 2004). En el anexo C-5 se explica cómo se midió esta temperatura.

1.14.2 ÁREA DE SUPERFICIE

El alimento a deshidratar generalmente se subdivide en pequeñas piezas o capas delgadas a fin de acelerar la transmisión de calor y la transferencia de masa. La subdivisión acelera el secado por dos razones: primero, una mayor área de superficie proporciona más superficie en contacto con el medio de calentamiento y más superficie desde la cual se puede escapar la humedad. Segundo, las partículas más pequeñas o capas más delgadas reducen la distancia que el calor tiene que recorrer hasta el centro del alimento, y reducen la distancia que la humedad en el centro del alimento tiene que recorrer a fin de llegar a la superficie y salir o escapar (Flores, 2004).

El tiempo de secado de los alimentos puede ser más corto cuando el tamaño de las

piezas son pequeñas porque hay mayor área de superficie de contacto (Flores, 2004).

1.14.3 TIEMPO DE SECADO

Un valor promedio del tiempo de secado para frutas u hortalizas en secadores con aire forzado es de 3 a 12 horas, demostrando así el gran ahorro de tiempo de los secadores industriales frente al tiempo de secado de secadores de desorción natural que dura de 3 a 6 días (García Velásquez, A. S., 2009).

1.14.4 CARGA DE BANDEJAS

La carga de bandejas es muy importante; cuanto mayor sea la carga de las bandejas mayor será el tiempo de secado, una carga demasiado pequeña no es conveniente y una carga excesiva además de retraso en el tiempo de secado puede ser causa de una merma de calidad del producto, además de la posición del producto que debe ir de acuerdo al flujo de aire suministrado (Flores, 2004).

1.14.6 HUMEDAD FINAL EXIGIDA

La humedad final depende de la composición de cada fruta e incluso del destino de la misma. Este factor es importante porque determina el tiempo del proceso de secado (García Velásquez, A. S., 2009). El porcentaje de agua inicial en las frutas es de 80-90%. Según la norma ISO 7954 Microbiology of food la humedad final exigida debe ser menor al 12%.

1.14.7 FLUJO MÁSSICO O CAUDAL DE AIRE

El flujo másico o caudal del aire desecante se determina en función a la velocidad de evaporación del agua que contiene el material a las condiciones de secado; es necesario mantener en todo momento la humedad relativa en el interior del secador por debajo de 60% porque humedades superiores pueden activar y acelerar la acción enzimática propiciando el pardeamiento o amarronamiento del material afectando la calidad del producto final (García Velásquez, A. S., 2009).

El pardeamiento es la aparición de coloración de pigmentos pardos o negros en frutas y vegetales, pudiendo realizarse en forma natural y/o transformación enzimática (Cheftel, 1970); se tienen los siguientes tipos de pardeamiento:

- **Pardeamiento no enzimático:** También se llama “reacción de Maillard”, caramelización o formación de melanoidinas; es un conjunto de reacciones muy complejas que conducen en diversos alimentos a la formación de pigmentos pardos o negros, así como a modificaciones favorables o no del olor y sabor (Cheftel, 1970).
- **Pardeamiento enzimático:** Se denomina pardeamiento enzimático a la transformación enzimática en sus primeras etapas de compuestos fenólicos en polímeros colorados, frecuentemente pardos o negros. Se observa en vegetales ricos en compuestos fenólicos, planteando problemas de coloraciones en algunas frutas y legumbres en particular cuando se alteran los tejidos o se dañan por golpes durante los procesos de: pelado, corte, triturado, congelación y deshidratación (Cheftel, 1970).

1.15 CLASIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN DE SECADO

De modo general, se puede clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua, en la práctica, se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad (Treybal, 1965).

Los equipos utilizados para secar se pueden clasificar también de acuerdo a cualquiera de estas categorías:

- a) Métodos de operación: Continuos o Discontinuos.
- b) Métodos de propiciar el calor necesario para la evaporación de la humedad:
En secaderos directos e indirectos
- c) Naturaleza de la sustancia a secar: Puede ser la sustancia un sólido rígido como la madera, un material flexible como el papel o la tela, un sólido granular como la masa de cristales, una pasta espesa o delgada o una solución. Es probable que la forma física de la sustancia y los distintos métodos de manipulación empleados, ejerzan la influencia más grande en el tipo de secadero a utilizar.

1.16 TIPOS DE SECADORES

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según sean por lotes o continuas. Estos términos pueden aplicarse específicamente desde el punto de vista del material que está secando.

En la tabla I-4 se detalla la clasificación de los equipos para el proceso de secado por calentamiento directo.

Tabla I-4 Tipos de secadores

Tipos de secador	Equipos discontinuos	Equipos continuos
Secaderos de calentamiento directo	-Secaderos de bandejas con corriente de aire. -Secaderos de cama fluidizada. -Secaderos con circulación a través del lecho sólido.	-Secaderos de túnel. -Secaderos neumáticos. -Secaderos ciclónicos. -Secaderos de cama chorreada. -Secaderos de cama vibratoria. -Secadero de cama fluidizada. -Secaderos sprays. -Secaderos de tipo turbina. -Secaderos rotatorios.

Fuente: Treybal, 1965

1.16.1 SECADORES DIRECTOS

La transferencia de calor para la desecación se logra por contacto directo entre los sólidos húmedos y los gases calientes. El líquido vaporizado se arrastra con el medio de desecación; es decir, con los gases calientes. Los secadores directos se llaman también secadores por convección (Pontiles, 2008).

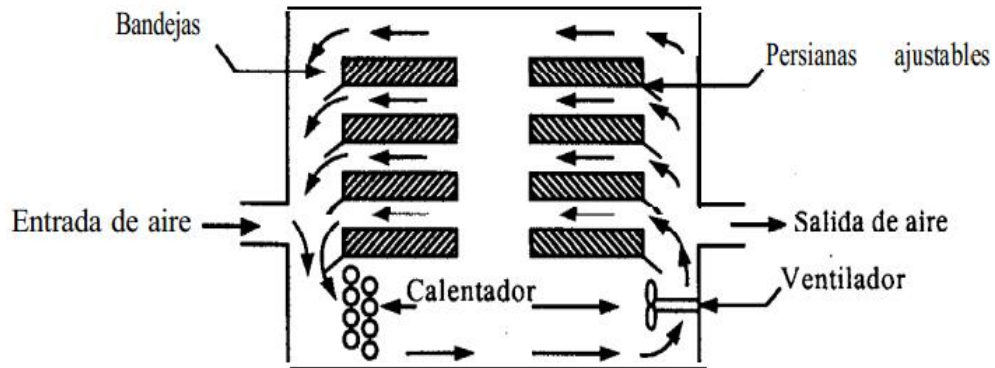
Por la accesibilidad del equipo en el laboratorio del CEANID, se utiliza un secador de bandejas con corriente de aire que es un equipo discontinuo de calentamiento directo.

1.16.1.1 SECADOR DE BANDEJAS O COMPARTIMIENTOS

Un secador de bandejas o compartimientos es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos se colocan en el grupo de bandejas en el caso de sólidos particulados o amontonados en pilas o en repisas, en el caso de objetos grandes. La transmisión de calor puede ser directa del gas a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de gas caliente, o indirecta, utilizando repisas o bases calentadas, serpentines de radiador o paredes refractarias en el interior de la cubierta (Perry, 1963).

En la figura 1-7 se muestra un secador de bandejas.

Figura1-7 Secador de bandejas



Fuente:C. J. Geankoplis, 1998

En este tipo de secador el producto a secar se dispone en bandejas u otros accesorios similares exponiéndolo a una corriente de aire caliente en un recinto cerrado. Las bandejas que contienen el producto a secar se sitúan en el interior de un armario o similar donde éste se seca al estar expuesto al aire caliente. El aire circula sobre la superficie del producto a relativamente alta velocidad para aumentar la eficacia de la transmisión de calor y de la transferencia de materia (Perry, 1963).

La principal ventaja del uso del secador de bandejas es que el grado de eliminación de la humedad puede llegar a ser muy alto, frente a, por ejemplo, el secado mecánico por compresión, que frecuentemente necesita de un posterior secado térmico (Durango, 2005).

La limpieza es fácil, reduciéndose a veces a lavar las bandejas fuera del secador, y en caso de necesidad, es fácil construirlas de materiales resistentes a la corrosión (Durango, 2005).

CAPÍTULO II
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO II

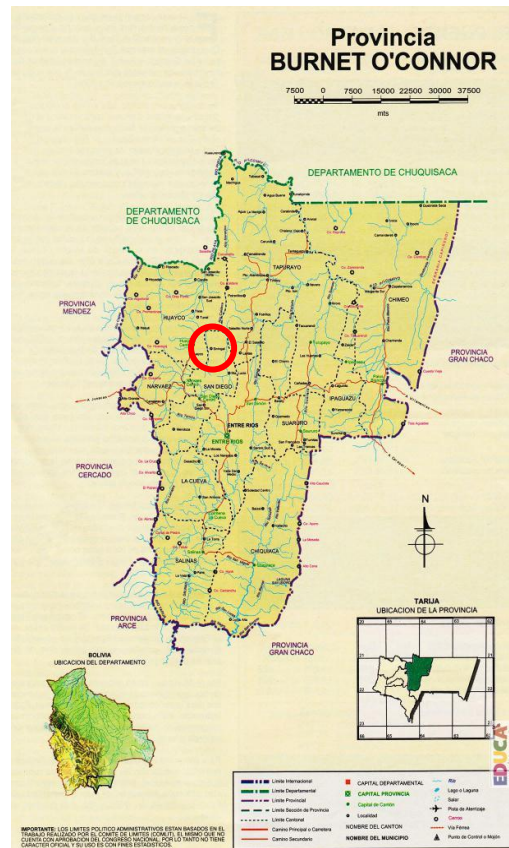
PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En la presente investigación la materia prima es el grano de arveja madura de las cuales se obtendrá la harina.

En el departamento de Tarija, específicamente en la comunidad Sivingal (Latitud: -21,5833, Longitud: -64,1667), perteneciente a la provincia O'Connor ubicada al noroestes de Entre Ríos, se cultiva arveja criolla, la cual crece en clima templado frío, es una planta baja de 0,5 a 0,7 m de altura, las vainas son de tamaño relativamente largo y granos grandes.

Figura 2-1 Ubicación de la comunidad Sivingal



Fuente: Ubicación de la provincia Burnet O'Connor.

La recolección de la materia prima se realizó por parte de la señora Victoria Jurado que vende el producto en el mercado Campesino, materia prima que proviene de la comunidad de Sivingal.

Taxonomía

En la tabla siguiente damos a conocer la clasificación taxonómica de la arveja:

Tabla II.1. Clasificación taxonómica de la arveja

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Subdivisión	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Órdenes	Corolinos
Orden	Rosales
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papilionoideae
Nombre científico	<i>Pisumsativum</i> L.
Variedad	Criolla
Nombre común	Arveja

Fuente: Acosta I., 2017 U. A. J. M. S.

El traslado de la materia prima se realizó en un vehículo particular desde el mercado campesino hasta el Centro de análisis, investigación y desarrollo (CEANID), ubicado dentro del Campus universitario de la Universidad Juan Misael Saracho.

2.2 ELABORACIÓN DE HARINA DE ARVEJA

Para obtener harina de arveja las pruebas se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), en el Laboratorio de Operaciones Unitarias perteneciente a la carrera de Ingeniería Química y en el Laboratorio de Química de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho, procediendo con lo siguiente:

2.2.1 Recepción de la Arveja

La materia prima tal como se mencionó en el acápite 2.1 la arveja es de la comunidad Sivingal, la cual posteriormente a su adquisición en el mercado campesino, es almacenada en el laboratorio CEANID para su posterior procesamiento. Procediendo a su lavado para quitar exceso de impurezas (tierra, hojas y otros), luego se realizó el pelado de las vainas de arvejas, obteniendo en grano maduro (revisar acápite 3.4), como siguiente paso se seleccionó los granos de arveja quitando los granos que tengan un tamaño menor a 0,63 cm y los granos dañados. Además, para la seleccionar la madurez del grano se tomó en cuenta la humedad del grano según se visualizó el tiempo en que el grano tardaba a tornarse en un color más amarillo. (Ver figura 2-2).

Figura 2-2 Arveja madura



Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Escaldado

Como se explicó en el inciso b) del acápite 1.9 el proceso de escaldado se realiza para la eliminación de la enzima lipoxigenasa que provoca un mal sabor en la harina de arveja. El proceso se realizó mediante vapor de agua por el tiempo de 1 min y 1 ½

min a una temperatura de 92 °C. (Ver figura 2-3).

Figura 2-3Proceso de escaldado



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Deshidratado

Primero se enciende la estufa y se ajusta la temperatura en vacío durante 20 a 30 min. sin carga a las condiciones de trabajo de acuerdo al diseño experimental a las temperaturas de 50 y 60°C (los rangos de temperatura se realizó de acuerdo a la información bibliográfica del trabajo de cinética de secado de *Pisum Sativum L.* y harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo) por un tiempo de 8 y 7 horas respectivamente, el cual opera a presión atmosférica y es discontinuo. Realizado el ajuste del equipo a las condiciones de trabajo, se dispersa de forma manual las muestras de los granos de arveja sobre las bandejas de 30 x 40 cm. de lado, se coloca una malla milimétrica con abertura de

mallas de 4 mm adicionales sobre las bandejas para evitar que los granos se caigan de las bandejas.

Se controla periódicamente cada 30 min. la variación de peso de las muestras de la pulpa utilizando una balanza electrónica, hasta obtener una variación de pérdida de peso constante.

La deshidratación se realiza con aire forzado que se sopla sobre las bandejas mediante un ventilador incorporado a la estufa; el ventilador está en la parte superior de la estufa por lo que se rota las bandejas para obtener un secado homogéneo; en la figura 2-3 se puede observar el esparcido de los granos de arveja en las bandejas.

Posteriormente, los granos de arveja secos se los deja en un desecador por el lapso de 24 horas, para pasar a la molienda.

Figura 2-4 Proceso de deshidratado



Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Molienda

Una vez obtenidos los granos de arveja deshidratados, se procede a una previa reducción de tamaño con la ayuda de un molino de discos, con la finalidad de facilitar el trabajo del molino de martillos y minimizar las pérdidas.

Después de reducir el tamaño de los granos de arveja en el molino de discos, los granos de arveja secos se ingresan a un molino eléctrico de martillos 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. (Ver figura 2-5)

Figura 2-5 Proceso de molienda



Fuente: Elaboración propia

2.2.5 Tamizado

Terminado el proceso de molido se procede al tamizado del producto, esto con la finalidad de poder clasificar la harina según el tamaño de la partícula.

El tamizado se realiza con la ayuda de un sistema de tamices con números de mallas de 0,5mm y 0,25mm, en el lapso de 6 minutos. (Ver figura 2-6).

Figura 2-6 Proceso de tamizado



Fuente: Elaboración propia

2.2.6 Envasado

El proceso de envasado se realiza colocando manualmente las muestras de harina de arveja en bolsas de polietileno de baja densidad con autocierre a fin de conservar las propiedades la harina obtenida. (Ver figura 2-7)

Figura 2-7 Proceso de tamizado



Fuente: Elaboracion propia

2.3 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas que se realizaron de la arveja madura se detallan en la tabla II-2.

Tabla II-2 Propiedades físicas de la arveja

Parámetros	Unidades
Densidad del grano	g/cm ³
Porción comestible	%
Porción no comestible	%

Fuente: Elaboración propia

2.4 ANÁLISIS A DETERMINAR

Los análisis a determinar tanto de la materia prima como del producto harina se detallan a continuación.

2.4.1 FISICOQUÍMICOS

En la tabla II-3 se muestran las técnicas utilizadas para la determinación de los análisis fisicoquímicos tanto para la materia prima como para la harina; dichos análisis se realizaron en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID.

Tabla II-3 Técnicas para la determinación de las propiedades fisicoquímicas

Indicadores	Unidades	Método
Azúcares totales	%	Volumétrico

Acidez (como H ₂ SO ₄)	%	NB 107:00
Cenizas	%	NB 39034:10
Fibra	%	Gravimétrico
Gluten húmedo	%	NB 106:00
Gluten seco	%	NB 106:00
Grasa	%	NB 313019:06
Hidratos de carbono	%	Cálculo
Humedad	%	NB 313019:05
Proteína total (Nx6.25)	%	NB/ISO8968-1:08
pH a (20°C)		NB 338006:09
Rancidez	NB 39023:09	pos/neg
Valor energético	%	Cálculo

Fuente: CEANID, 2017

2.4.2 MICROBIOLÓGICOS

El análisis microbiológico de alimentos no tiene carácter preventivo sino que simplemente es una inspección que permite valorar la carga microbiana. Por tanto, no se puede lograr un aumento de la calidad microbiológica mediante el análisis microbiológico sino que lo que hay que hacer es determinar en la Industria cuáles son los puntos de riesgo de contaminación o multiplicación microbiana y evitarlos siguiendo un código estricto de Buenas Prácticas de Elaboración y Distribución del alimento (BPE) (QuimiNet, 2011).

En la tabla II-4 se muestra las técnicas realizadas para la determinación de los análisis microbiológicos de la harina.

Tabla II-4 Técnicas para la determinación de las propiedades microbiológicas

Indicadores	Unidades	Normas
Coliformes totales	UFC/g	NB 32005:02
Coliformes fecales	UFC/g	NB 32005:02
Hongos y levaduras	UFC/g	NB 32005:03

Fuente: CEANID, 2017

2.4.3 SENSORIAL

La evaluación sensorial de los alimentos es una función primaria del hombre. Desde su infancia y de una forma consciente, acepta o rechaza los alimentos de acuerdo con el aspecto que experimenta al observarlos o digerirlos. Este aspecto fundamental de la calidad es el que incide directamente en la reacción del consumidor y es lo que se denomina calidad sensorial (Salvador y Col, 1991).

El análisis sensorial es una disciplina científica que se utiliza para medir, analizar e interpretar las características que tienen los alimentos que son percibidas a través de los sentidos de la vista, gusto, tacto y oído (Ureña-D`Arrigo, 1999).

Los test de evaluación sensorial se agrupan en dos categorías: métodos de respuesta objetiva y métodos de respuesta subjetiva (Antezana, 2001).

Métodos de respuesta objetiva: Este tipo de test está justificado en los casos en que no existen aparatos de medida que los pueda sustituir. Para este tipo de test es necesario jueces o panelistas que deben pasar por etapas de selección y entrenamiento en las técnicas de degustación del producto (Antezana, 2001).

Métodos de respuesta subjetiva: En este test se evalúa el nivel de satisfacción del consumidor respecto a las cantidades intrínsecas del producto. El juez no requiere entrenamiento previo y responde emocionalmente en la evaluación del producto (Antezana, 2001).

En el presente proyecto, el análisis sensorial se basó en el método de respuesta subjetiva y mediante pruebas de escala hedónica de nueve puntos (Anexo D) para cada prueba sensorial.

2.5 DETERMINACIÓN DEL pH

La inactividad de enzimas no deseadas como la lipoxigenasa depende del pH. Para las arvejas el tratamiento de escaldo no depende de mucho tiempo debido a que la lipoxigenasa es más sensible al calor y contribuye a mantener la calidad nutritiva y sensorial del producto. La actividad máxima de lipoxigenasa se presenta a pH 9; a valores menores a 6,5 no se detecta actividad. (fal864i)

2.6 DISEÑO FACTORIAL

En estadística, un experimento factorial completo es un experimento cuyo diseño consta de dos o más factores, cada uno de los cuales son distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todo los factores. Este tipo de experimentos permiten el estudio de efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable.

Para realizar la presente investigación se plantea un diseño factorial 2^k que corresponde a 2 variables y 2 niveles.

2.6.1 VARIABLES Y NIVELES DEL DISEÑO FACTORIAL

Tiempo de escaldado: Se refiere al tiempo que los granos de arveja estarán en contacto con el vapor de agua dentro de un recipiente con agua hirviendo, la cual es una variable que modifica la inactivación de la enzima lipoxigenasa que le da un mal sabor a la harina. La variable tendrá dos niveles 1 y 1:30 minutos de escaldado.

Temperatura de secado: Esta variable se refiere a la temperatura que trabajará el secador para reducir la humedad de la arveja; la variable tendrá dos niveles 50 °C y 60 °C de temperatura.

De lo cual se concluye que se trata de un diseño factorial 2^2 con dos repeticiones cada experimento.

Cálculo de número de experiencias a realizar:

$$N_{\text{exp}} = N_{\text{niveles}}^{N_{\text{factores}}} * \text{repetición}$$

$$N_{\text{exp}} = 2^2 * 2 = 8$$

De la ecuación realizada se concluye que el número de experimentos a realizar son 8 pruebas que se muestra en la tabla II-4

Tabla II-5 Esquema matricial para la obtención de harina de arveja

N° de	Variables	Repetición I	Repetición II
-------	-----------	--------------	---------------

Pruebas	Tiempo de escaldado (t)	Temperatura de secado (T)	(t)	(T)	(t)	(T)
1	-	-	-	-	-	-
2	+	-	+	-	+	-
3	-	+	-	+	-	+
4	+	+	+	+	+	+

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Para la caracterización de la materia prima, se tomó en cuenta las propiedades físicas y fisicoquímicas de la arveja.

3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ARVEJA

Para establecer las propiedades físicas de la arveja, como porción comestible, densidad, se tomaron diez muestras al azar y aleatoriamente.

3.2.1 MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

El promedio de los resultados es la suma de todos los valores observados dividiendo por el número de observaciones. Se tomó en cuenta la expresión matemática (4.1), citada por (Murillo, 1990).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Donde:

\bar{x} = Valor promedio de los resultados

x_1, x_n = Son los valores observados de las muestras

n = Número de observaciones (muestras)

3.2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ARVEJA MADURA

En la tabla III-1 se muestran las características de la arveja, obtenidas del peso de la materia prima.

Tabla III-1 Características físicas de la arveja madura

Muestra	Peso total	Peso comestible (g)	Porción comestible (%)	Peso no comestible (g)	Porción no comestible (%)
1	100	55,11	55,11	44,89	44,89
2	100	54,67	54,67	45,33	45,33
3	100	54,88	54,88	45,12	45,12
4	100	56,37	56,37	43,63	43,63
5	100	54,98	54,98	45,02	45,02
6	100	54,74	54,74	45,26	45,26
7	100	54,87	54,87	45,13	45,13
8	100	56,59	56,59	43,41	43,41
9	100	55,8	55,8	44,2	44,2
10	100	56,62	56,62	43,38	43,38
Promedio	100	55,463	55,463	44,537	44,537

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar, en la tabla III-1 se muestran los promedios de las propiedades físicas de la arveja empleada para el presente proyecto: se tiene el peso promedio de la parte comestible de la arveja (grano) que es 55,463 gramos en 100 gramos de muestra, que correspondería al 55,46 % comestible. El peso promedio de la parte no comestible (cáscara) en 100 gramos de muestra es de 44,537 gramos, entonces la porción no comestible sería del 44,54 %, lo que significa que debe ponerse atención en lo que corresponde a los residuos que se generan y las posibilidades de aprovechamiento.

3.2.3 DENSIDAD DEL GRANO DE ARVEJA

Para determinar la densidad del grano de arveja se hicieron 10 pruebas en el laboratorio de Operaciones Unitarias. Para determinar la densidad de los granos se pesó una cierta cantidad de granos y se sumergió en 30 ml de agua; los resultados se observan en la tabla III-2.

Tabla III-2 Densidad de la arveja madura

N°	Masa de arveja (g)	Volumen de agua (ml)	Volumen agua + arveja (ml)	Densidad (g/ml)
1	10,050	30	39	1,1167
2	10,097	30	39	1,1219
3	10,449	30	40	1,0449
4	10,063	30	39	1,1181
5	10,173	30	39	1,1303
6	10,094	30	39	1,1216
7	10,073	30	39	1,1192
8	10,058	30	39	1,1176
9	10,083	30	39	1,1203
10	10,098	30	39	1,1220
Media	10,1238	30	39,1	1,1125

Fuente: Elaboración propia

3.3 ANALISIS FISICOQUÍMICO DE LA ARVEJA

Posteriormente, se enviaron las muestras al Centro de Análisis de Investigación y desarrollo (CEANID) para que se pueda realizar los ensayos fisicoquímicos, los cuales se muestran en la tabla III-3. Los resultados obtenidos del análisis por el CEANID se pueden observar en el anexo A.

La muestra fue elegida al azar por ser la más representativa de varias unidades que se disponía.

Tabla III-3 Propiedades fisicoquímicas del grano de arveja madura

Componentes	Muestra Propia	
	Unidad	Resultado
Acidez (como H ₂ SO ₄)	%	0,17
Azúcares totales	%	2,69
Cenizas	%	1,46
Fibra	%	2,52
Materia grasa	%	0,67
Hidratos de carbono	%	27,55
Humedad	%	47,31
Proteína total (Nx6.25)	%	20,49
pH a 20 °C		6,48
Valor energético	Kcal/100 g	198,19

Fuente: CEANID, 2017

Se observa en la tabla III-3 los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del grano de arveja en el laboratorio CEANID.

3.4 MADUREZ Y TAMAÑO DEL GRANO DE ARVEJA

La arveja es cosechada cuando alcanza su madurez comercial antes de haber alcanzado su madurez fisiológica. Es decir, que son consumidos todavía inmaduros, las arvejas llegan a alcanzar la madurez en lapsos cosecha, cuando están en el mercado.

Figura 3-1 Etapa de desarrollo de la arveja

SEMANAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ETAPAS DE DESARROLLO															
	GERMINACIÓN	EMERGENCIA	DESARROLLO DE HOJAS Y FORMACIÓN DE BROTES LATERALES			APARICIÓN DE ÓRGANO FLORAL	FLORACIÓN	FORMACIÓN DE FRUTO		LLENADO DE SEMILLA		MADUREZ DE CONSUMO	MADURACIÓN DE FRUTOS Y SEMILLAS		COSECHA DE SEMILLA

Fuente: Etapa de desarrollo de la arveja. 2014

Como se observa en la figura 3-1 la arveja desde su germinación hasta su maduración de consumo o comercialización tarda tres meses en crecer; luego de la cosecha se esperó tres semanas para que estas alcanzaran la madurez adecuada del amarillo común del grano de arveja con el cual se trabajó; también se determinó la humedad del grano mediante un secador infrarrojo, donde se hizo cinco mediciones en tres semanas.

La primera medición de humedad se la realizó la primera semana, el día que se compró la arveja, la segunda medición se realizó la segunda semana, haciendo dos mediciones y la tercera semana se realizó dos mediciones. Los resultados de las mediciones se muestran en la tabla III-4.

Tabla III-4 Resultados de humedad del grano de arveja

Medición	Semana	% Humedad del grano
1	Primera	65,763
2	Segunda	57,205
3	Segunda	53,425
4	Tercera	50,832
5	Tercera	47,31

Fuente: Elaboración propia.

El tamaño del grano de arveja se realizó tomando en cuenta 200 g de muestra, para luego pasar esa muestra por medio de una serie de tamices de los diámetros siguientes: 9,5 mm, 6,3 mm, 1,18 mm.

Luego con los datos obtenidos se hizo un promedio siguiendo la expresión matemática 4.1. En la tabla III-5 se muestra los resultados obtenidos.

Tabla III-5 Resultados del tamaño del grano de arveja

N°	9,5 mm	6,3 mm	1,18 mm
1	0	199,25	0,75
2	0	199,235	0,765
3	0	199,23	0,77
4	0	199,25	0,75
5	0	199,24	0,76
Promedio	0	199,241	0,759

Fuente: Elaboración propia

3.5 DETERMINACION DEL TIEMPO DE ESCALDADO PARA LA ELIMINACIÓN DE LA ENZIMA LIPOXIGENAZA

Como se explicó en el acápite 1.9.1 para inactivar la enzima lipoxigenasa que tienen los granos de arveja, se sometió a un tratamiento de escaldado. De acuerdo al diseño experimental, se tomó en cuenta el tiempo de escaldado y la temperatura de secado, que se detallan a continuación:

MUESTRA A: Tiempo de escaldado de 1 min (t_1) y temperatura de secado de 50°C (T_1).

MUESTRA B: Tiempo de escaldado de 1 min (t_1) y temperatura de secado de 60°C (T_2).

MUESTRA C: Tiempo de escaldado de 1,5 min (t_2) y temperatura de secado de 60°C (T_2).

MUESTRA D: Tiempo de escaldado de 1,5 min (t_2) y temperatura de secado de 50°C (T_1).

Teniendo las diferentes muestras se realizó la molienda para obtener la harina de arveja de grano maduro, para luego de realizar el tamizado, con la harina que se obtuvo se hizo la determinación del pH de la harina y también para reforzar los datos obtenidos se hizo la evaluación sensorial de la harina para así poder determinar qué parámetros de escaldado y secado se tendrá en cuenta para la realización del proyecto.

3.5 PÉRDIDA DE PESO DURANTE EL DESHIDRATADO DEL GRANO DE ARVEJA

Para la medición de pérdida de peso de los granos de arveja en el proceso de deshidratado, se procedió de la siguiente manera:

- Se registró el peso en intervalos de 30 min de tiempo; cada 30 minutos se sacaba las muestras del secador para llevar a una balanza y registrar el peso.
- Las variables controlables según el diseño experimental fueron: tiempo de escaldado 1 min y 1,5 min y temperatura de secado 50-60 °C.
- El tamaño de los granos de arveja fue de 0,63 cm.
- El secador consta de dos bandejas, de 30x40 cm cada una, el área de la bandeja fue cubierta en su totalidad por las muestras.
- La disposición de la muestra en la bandeja (Ver anexo F) es muy importante para obtener un producto deshidratado homogéneo y de buena calidad.
- Al momento de poner la muestra en las bandejas se utilizó guantes estériles y espátula para repartir la muestra de forma uniforme y no contaminarla, también se debe tener cuidado de colocar rápidamente la muestra en las bandejas para evitar la exposición de la misma a la atmósfera y evitar que adquiera humedad del medio ambiente. Se seca la muestra hasta un peso constante para generar las curvas de secado.

En la tabla III-6 se muestra los datos de la pérdida de peso de las pruebas a 50 y 60°C a un minuto de escaldado.

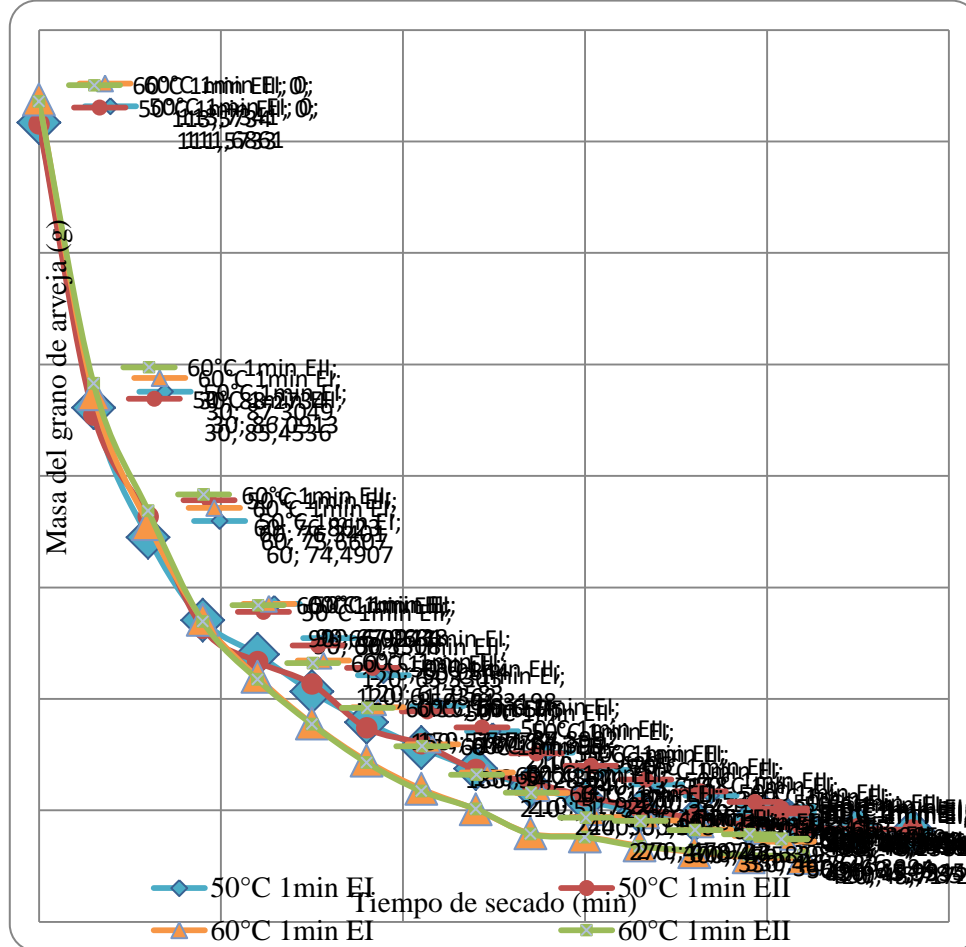
Tabla III-6 Pérdida de peso del grano de arveja a 50 y 60°C de secado y 1 min de escaldado

Tiempo (min)	T 50°C		T 60°C	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
	1 min	1 min	1 min	1 min
0	111,6861	111,5733	113,7341	114,7734
30	86,0913	85,4536	87,3049	88,2734
60	74,4907	76,3401	75,6607	76,8623
90	67,0438	66,3308	67,0631	66,9277
120	63,9844	63,3305	61,9583	61,7362
150	60,6575	61,3198	57,7784	57,7187
180	57,8992	57,395	54,4357	54,2833
210	55,6295	55,9671	51,9269	51,7324
240	53,7168	53,656	50,083	50,1183
270	52,1501	52,5305	47,9266	47,8723
300	50,8709	51,2935	47,6308	47,5839
330	49,8663	50,2195	46,8276	46,7623
360	49,1069	49,2905	46,245	46,3894
390	48,823	48,7066	45,785	45,9945
420	48,5454	48,429	45,7172	45,9334
450	48,3718	48,3554		
480	48,1582	48,2418		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-6 se observa la pérdida de peso del grano de arveja durante el deshidratado a temperaturas de 50 y 60°C usando un tamaño de 0,63 cm a un minuto de escaldado, se realizaron dos repeticiones, el tiempo que tardó en secar el grano a temperatura de 50°C es de 480 minutos y de 60°C es de 420 minutos. En la gráfica 3-1 se muestra la variación del peso en el proceso de deshidratado con las temperaturas de 50 y 60°C a un minuto de escaldado

Gráfica 3-1 Pérdida de peso del grano de arveja a 50 y 60°C



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-1 se muestra la variación del peso en el secado del grano de arveja con las temperaturas de 50 y 60°C a un minuto de escaldado; se puede observar que las curvas de 50 y 60°C al inicio del secado disminuyen casi linealmente con el tiempo por lo que la velocidad de secado permanece constante, lo que significa que se está eliminando el agua libre que se encuentra en la muestra que es el exceso de humedad en la superficie de los granos de arveja y la más fácil de eliminar. Las curvas de 60°C van alcanzando mayor pendiente proporcionando así mayor velocidad de secado que las curvas de 50°C, por lo que mientras mayor sea la temperatura, se tendrá mayor velocidad de secado en menor tiempo.

En la tabla III-7 se observa la pérdida de peso del grano de arveja a 50 y 60°C a un

minuto y 30 segundos de escaldado.

Tabla III-7 Pérdida de peso en el secado del grano de arveja a 50 y 60°C a 1,5 minuto de escaldado

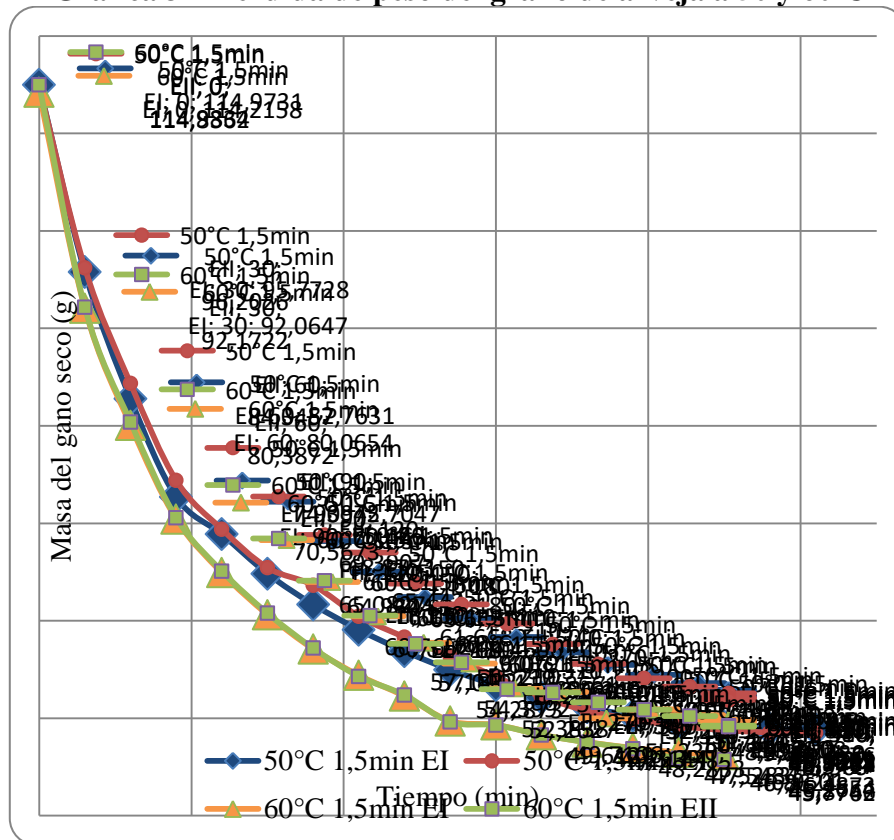
Tiempo (min)	50°C		60°C	
	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)	Ensayo I (g)	Ensayo II (g)
	1,5 min	1,5 min	1,5 min	1,5 min
0	114,9731	114,8362	114,2158	114,9834
30	95,7728	96,2026	92,0647	92,1722
60	82,7631	84,3457	80,0654	80,3872
90	72,7047	74,3945	70,443	70,5673
120	68,8753	69,3907	64,9304	65,0827
150	64,8203	65,442	60,6277	60,7652
180	61,6688	63,6435	57,0994	57,1832
210	59,0791	60,4606	54,3992	54,2873
240	56,8661	58,316	52,2627	52,3838
270	54,9726	56,3407	49,7106	49,6129
300	53,4057	54,2412	49,3144	49,2939
330	52,1171	52,206	48,294	48,2833
360	51,1147	50,7516	47,5434	47,5283
390	50,2508	49,8877	46,9501	46,8697
420	49,5576	49,1945	46,4873	46,6621
450	49,1393	48,8762	46,2654	46,4232
480	48,9048	48,6417		
510	48,8721	48,509		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-7 se observa la pérdida de peso del sólido durante el secado a diferentes temperaturas fijadas de acuerdo a lo definido en el diseño factorial, usando un tamaño de grano de 0,63 cm aproximadamente, con temperaturas de 50 y 60°C a un minuto y medio de escaldado, se realizaron dos repeticiones. El tiempo de secado a 60°C es de 450 minutos mientras que a 50°C el tiempo de secado es de 510 minutos.

En la gráfica 3-2 se muestra la variación del peso en el secado con las temperaturas de 50 y 60°C a un minuto y medio de escaldado.

Gráfica 3-2 Pérdida de peso del grano de arveja a 50 y 60°C



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-2 se puede observar que las curvas de 50 y 60°C al inicio del secado disminuyen casi linealmente con el tiempo por lo que la velocidad de secado permanece constante, lo que significa que se está eliminando el agua libre que se encuentra en la muestra; las curvas de 60°C tienen mayor velocidad de secado debido a que su pendiente es mayor que las curvas de 50°C.

3.6 PORCENTAJE DE HUMEDAD EN BASE HÚMEDA DEL GRANO DE ARVEJA

La humedad en base húmeda de un material como porcentaje del peso del sólido húmedo, de acuerdo a la ecuación (3-1) citada por Martínez y Lira, (2010) es:

$$X_h = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad (3-1)$$

Para el cálculo de la humedad del grano de arveja se reordenó la ecuación (3-1) multiplicando por 100 para sacar el porcentaje de humedad.

$$\text{Porcentaje de humedad} = X_h = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad (3-2)$$

Donde:

m_s = Masa del sólido seco

m_h = Masa inicial

Por ejemplo: Para $T = 50^\circ\text{C}$ y $t_e = 1 \text{ min}$

$m_s = 48,1582 \text{ g}$

$m_h = 111,6861 \text{ g}$

$$X = \frac{111,6861 - 48,1582}{111,6861} * 100\% = 56,8808 \%$$

Este cálculo de porcentaje de humedad nos indica la humedad inicial de la muestra al inicio del secado y la humedad que tiene al final del mismo.

En la tabla III-7 se observa el porcentaje de humedad de las primeras cuatro muestras según el diseño experimental.

Tabla III-8 Porcentaje de la humedad del grano de arveja

	T=50°C	T=60°C	T=50°C	T=60°C
Tiempo	1 min		1,5 min	
(min)	H (%)	H (%)	H (%)	H (%)
0	56,8808	59,8034	57,4926	59,4930
30	44,0615	47,6350	48,9708	49,7469
60	35,3501	39,5760	40,9494	42,2155
90	28,1690	31,8296	32,7800	34,3222
120	24,7345	26,2130	29,0426	28,7462
150	20,6064	20,8749	24,6037	23,6893
180	16,8241	16,0161	20,7507	18,9739
210	13,4305	11,9585	17,2768	14,9521
240	10,3480	8,7171	14,0576	11,4753
270	7,6546	4,6100	11,0973	6,9305
300	5,3325	4,0176	8,4890	6,1828
330	3,4254	2,3713	6,2264	4,2005
360	1,9319	1,1413	4,3874	2,6881
390	1,3617	0,1481	2,7436	1,4584
420	0,7976	0,0000	1,3832	0,4773
450	0,4416		0,5438	0,0000
480	0,0000		0,0669	
510			0,0000	

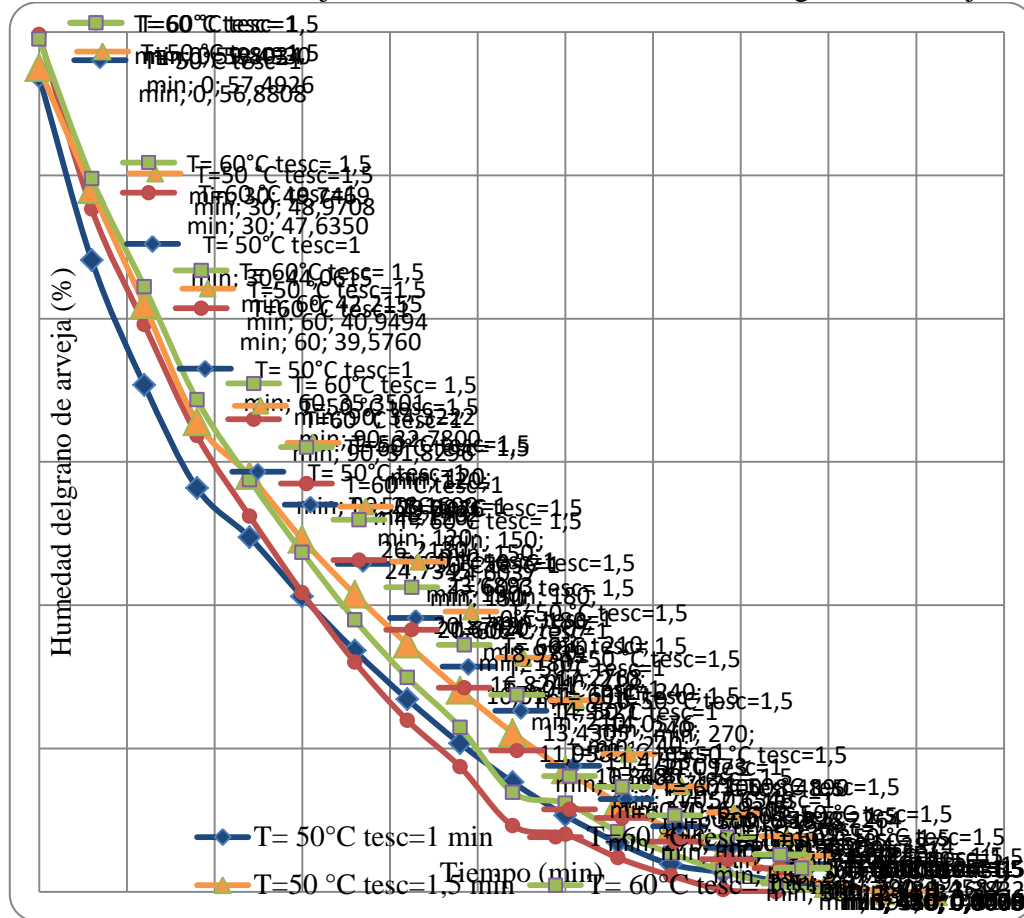
Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-8 se observa los porcentajes de humedad del grano de arveja; al inicio el secado es más rápido porque hay mayor humedad en la superficie, por lo tanto, hay un mayor fenómeno difusional de la humedad; pero a medida que se va secando el grano de arveja la remoción del agua se vuelve relativamente pequeña porque hay un encostramiento del grano; por lo tanto, es más difícil el secado hacia la parte interna del grano de arveja; conforme se va secando la muestra, esta tiende a alcanzar un equilibrio.

Con los datos de la tabla III-8 se obtiene la gráfica 3-3 donde se observa el porcentaje de

la humedad del grano de arveja

Gráfica 3-3 Porcentaje de humedad durante el secado del grano de arveja



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-3 se observa que la humedad de la muestra de los granos de arveja va disminuyendo conforme la muestra se va secando hasta alcanzar el equilibrio donde ya no se puede perder más humedad porque ya se llegó a una humedad de equilibrio, donde la temperatura del secador y de las muestras es igual.

3.7 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA

El cálculo de la humedad en base seca se determina en base a los resultados obtenidos en el laboratorio de la pérdida de humedad de peso del grano de arveja y según la ecuación (3-3) citada por Martínez y Lira, (2010):

$$X_S = \frac{m_h - m_s}{m_s} \tag{3-3}$$

Por ejemplo:

Para $T = 50^{\circ}\text{C}$ y $t = 1$ min, se tiene:

$m_h = 111,6861$ g para un $t = 0$

$m_s = 48,1582$ g para un $t = 480$ min

$$X_s = \frac{111,6861 - 48,1582}{48,1582} = 1,3192 \text{ gH}_2\text{O/gSS}$$

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

$$X_s = 1,3192 \text{ gH}_2\text{O/gSS} * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right) * \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}\right) = 1,3192 \text{ kgH}_2\text{O/kgSS}$$

Para sacar la humedad en base seca se utilizan los mismos datos en la ecuación (3-3) ya que nos da el mismo resultado si trabajamos con gramos o kilogramos, pero la ecuación (3-3) esta expresada en kilogramos para realizar la cinética de secado.

En la tabla III-8 se expresa la humedad en base seca en $\text{kgH}_2\text{O/kgSS}$.

Tabla III-9 Contenido de humedad en base seca

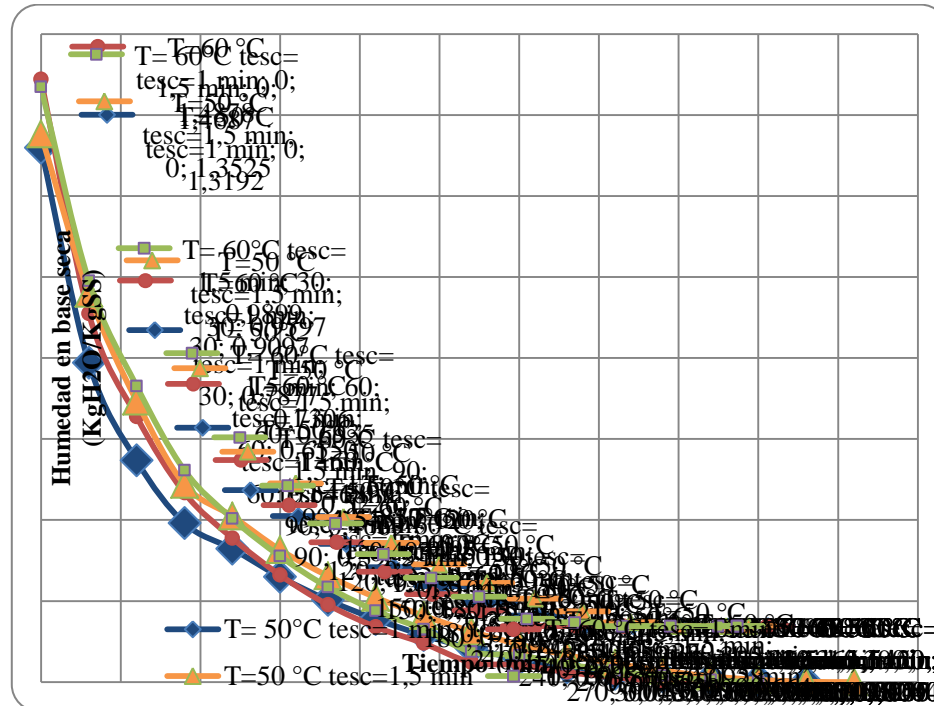
	$T=50^{\circ}\text{C}$	$T=60^{\circ}\text{C}$	$T=50^{\circ}\text{C}$	$T=60^{\circ}\text{C}$

Tiempo (min)	1 min		1,5 min	
	X _s (KgH ₂ O/ KgSS)	X _s (KgH ₂ O/ KgSS)	X _s (KgH ₂ O/ KgSS)	X _s (KgH ₂ O/ KgSS)
0	1,3192	1,4878	1,3525	1,4687
30	0,7877	0,9097	0,9597	0,9899
60	0,5468	0,6550	0,6935	0,7306
90	0,3922	0,4669	0,4877	0,5226
120	0,3286	0,3553	0,4093	0,4034
150	0,2595	0,2638	0,3263	0,3104
180	0,2023	0,1907	0,2618	0,2342
210	0,1551	0,1358	0,2089	0,1758
240	0,1154	0,0955	0,1636	0,1296
270	0,0829	0,0483	0,1248	0,0745
300	0,0563	0,0419	0,0928	0,0659
330	0,0355	0,0243	0,0664	0,0438
360	0,0197	0,0115	0,0459	0,0276
390	0,0138	0,0015	0,0282	0,0148
420	0,0080	0,0000	0,0140	0,0048
450	0,0044		0,0055	0,0000
480	0,0000		0,0007	
510			0,0000	

Fuente: Elaboración propia

Con los datos calculados de la tabla III-9, de acuerdo al orden del diseño experimental, se procede a graficar las curvas de la humedad en base seca como se observa en la gráfica 3-4.

Gráfica 3-4 Humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-4 se muestra la humedad en base seca en la etapa de secado del grano de arveja de las primeras cuatro pruebas según el diseño experimental; se puede observar que las pruebas de 60°C tienen mayor velocidad de secado que las pruebas de 50°C por lo que se alcanza en menor tiempo la humedad de equilibrio; por el contrario, las pruebas de 50°C tienen una menor velocidad de secado que las pruebas de 60°C; la diferencia es de una hora.

En la tabla III-9 se muestra la humedad en base seca de las muestras de arveja con mediciones en intervalos de tiempo de 30 minutos.

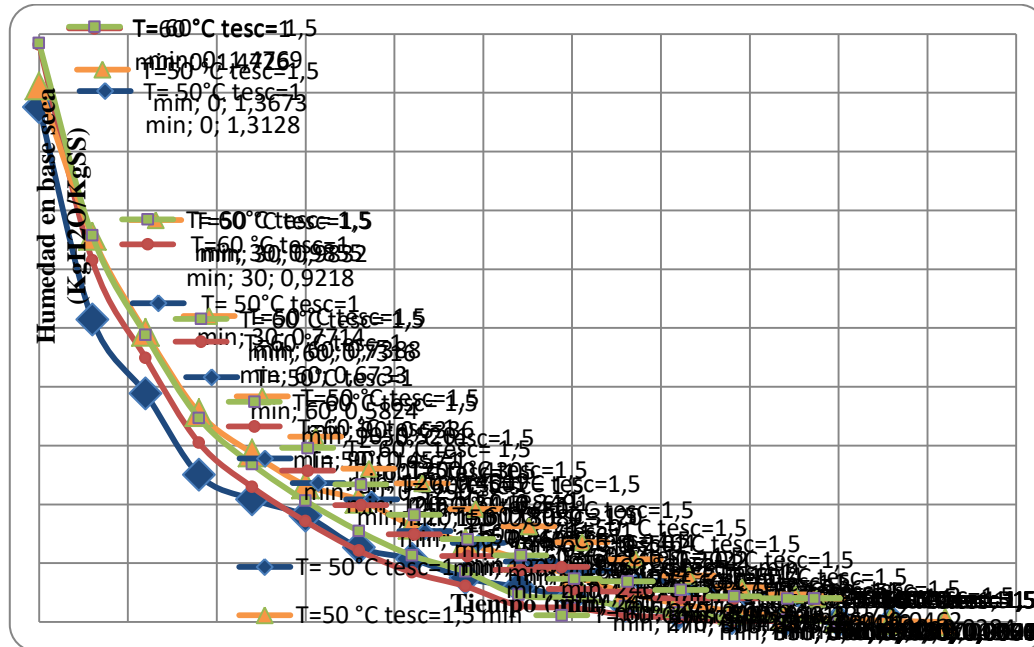
Tabla III-10 Contenido de humedad en base seca

Tiempo (min)	T=50°C	T=60°C	T=50°C	T=60°C
	1 min	1 min	1,5 min	1,5 min
	X(KgH ₂ O/ KgSS)	X(KgH ₂ O/ KgSS)	X(KgH ₂ O/ KgSS)	X(KgH ₂ O/ KgSS)
0	1,3128	1,4987	1,3673	1,4769
30	0,7714	0,9218	0,9832	0,9855
60	0,5824	0,6733	0,7388	0,7316
90	0,3750	0,4571	0,5336	0,5201
120	0,3128	0,3440	0,4305	0,4019
150	0,2711	0,2566	0,3491	0,3089
180	0,1897	0,1818	0,3120	0,2318
210	0,1601	0,1262	0,2464	0,1694
240	0,1122	0,0911	0,2022	0,1284
270	0,0889	0,0422	0,1614	0,0687
300	0,0633	0,0359	0,1182	0,0618
330	0,0410	0,0180	0,0762	0,0401
360	0,0217	0,0099	0,0462	0,0238
390	0,0096	0,0013	0,0284	0,0096
420	0,0039	0,0000	0,0141	0,0051
450	0,0024		0,0076	0,0000
480	0,0000		0,0027	
510			0,0000	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-10 podemos observar los datos de la humedad en base seca de acuerdo al orden del diseño factorial; se procede a graficar las curvas de la humedad en base seca, como se observa en la gráfica 3-5.

Gráfica 3-5 Humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3-5 se muestra la humedad en base seca en el secado del grano de arveja con las cuatro pruebas de repetición según el diseño experimental; se puede observar que las pruebas de 60°C tienen mayor velocidad de secado que las pruebas de 50°C por lo que se alcanza en menor tiempo la humedad de equilibrio; por el contrario, las pruebas de 50°C tienen una menor velocidad de secado que las pruebas de 60°C; la diferencia es de una hora.

3.8 EVALUACIÓN SENSORIAL PARA ESTABLECER EL TIEMPO DE ESCALDADO Y TEMPERATURA DE SECADO

El análisis sensorial, se lo realizó mediante un panel de 15 jueces no entrenados, docentes y estudiantes de la Carrera de Ingeniería Química, quienes calificaron el grado de satisfacción de las diferentes muestras que se presentaron. Las muestras seguían los siguientes parámetros de tiempo de escaldado y temperatura de secado expresados en la siguiente tabla:

Tabla III-11 Tiempo de escaldado y temperatura de secado

Parámetros	Prueba A	Prueba B	Prueba C	Prueba D	Prueba E
Tiempo de escaldado	1 min	1,5 min	1 min	1,5 min	Natural
Temperatura de secado	50 °C	50 °C	60 °C	60 °C	Natural

El modelo de test de preferencia para la aceptabilidad se puede ver en el anexo D.; la prueba de preferencia se evaluó mediante el método de escala hedónica de nueve puntos donde se calificaron los siguientes atributos: sabor, color, olor y textura, en la cual cada juez eligió entre las siguientes opciones y puntajes:

Cuadro III-1 Escala hedónica para la evaluación sensorial de los atributos sabor, color, olor y textura

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

Fuente: elaboración propia, 2017

La evaluación se realizó de forma individual con el objeto de no ejercer influencia sobre los demás. Las pruebas se realizaron en la sala de docentes de ingeniería química, se les explico de antemano las características generales de la evaluación.

La evaluación se realizó el mismo día para todos los panelistas; concluida la misma

se tabularon los resultados (Ver anexo D).

A continuación expondremos los resultados obtenidos:

A. Evaluación sensorial del atributo sabor

En la tabla III-10 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo sabor en las distintas muestras de harina de arveja, realizadas por los 15 jueces.

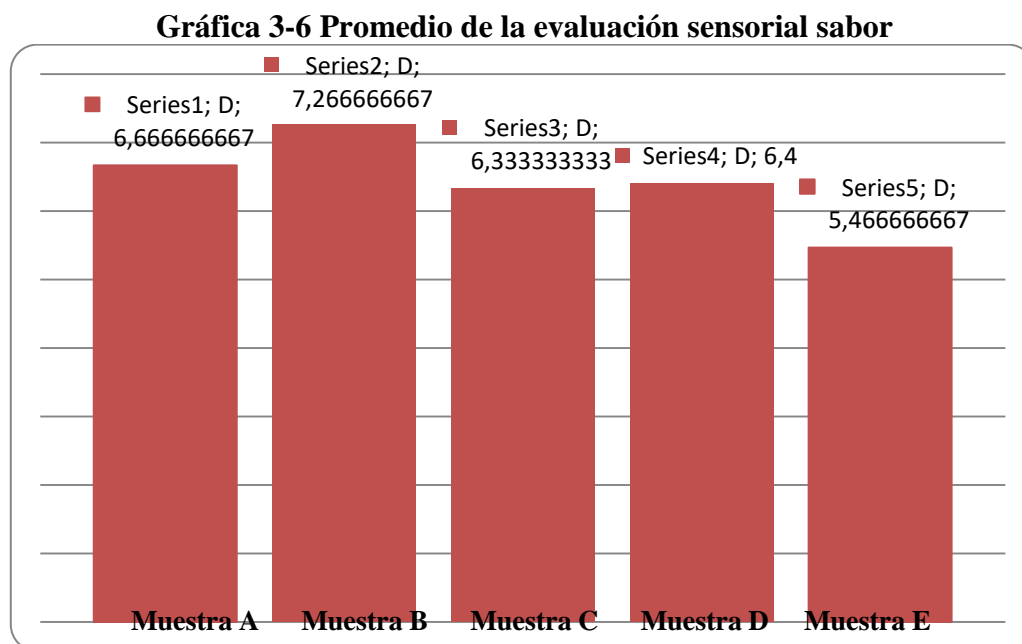
Tabla III-12 Evaluación sensorial del atributo sabor

Jueces	Muestras				
	A	B	C	D	E
1	8	8	7	7	6
2	5	9	8	9	5
3	6	7	4	4	4
4	6	7	6	5	5
5	6	8	6	6	6
6	8	9	8	7	6
7	7	8	2	3	3
8	8	6	6	5	5
9	6	7	8	8	5
10	6	7	5	7	6
11	7	7	7	7	5
12	7	8	9	8	7
13	7	4	7	7	6
14	7	8	6	7	7
15	6	6	6	6	6
Total	100	109	95	96	82
Promedio	6,6667	7,26667	6,3333	6,4	5,4667

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-12 se puede observar que la muestra B tiene mayor puntuación promedio en comparación con las otras muestras; por lo que se concluye que en el atributo sabor de la muestra B tienen mayor aceptación en comparación con las muestras A, C, D y E.

En la gráfica 3-6 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo sabor.



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 3-6 que la muestra B tiene mayor puntuación promedio de sabor en comparación con las muestras A, C, D y E.

Según los resultados obtenidos se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo sabor, es la muestra B la cual tiene un promedio de 7,27 sobre una puntuación de 1 a 9.

B. Evaluación sensorial del atributo color

En la tabla III-13 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo color en las distintas muestras de harina de arveja realizadas por los 15 jueces.

Tabla III-13 Evaluación sensorial del atributo color

Jueces	Muestras				
	A	B	C	D	E
1	7	8	7	8	7
2	7	6	6	6	6

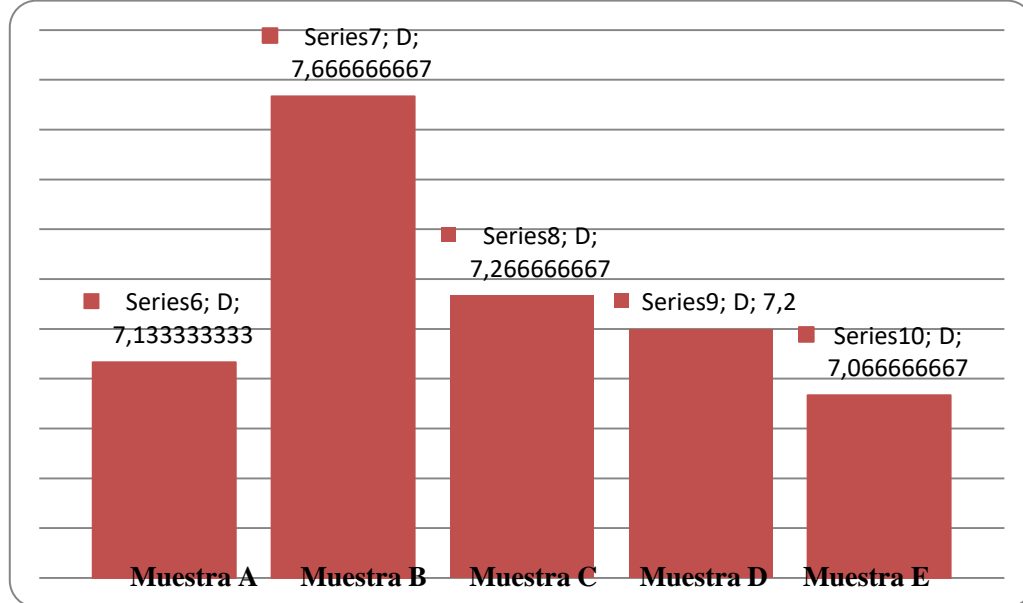
3	7	7	7	7	7
4	6	7	7	7	8
5	8	8	7	7	7
6	8	9	8	7	7
7	6	7	6	8	7
8	7	8	7	6	6
9	6	8	9	6	6
10	7	7	5	6	6
11	8	8	7	8	8
12	8	8	8	7	7
13	9	9	9	9	8
14	8	8	8	8	8
15	5	7	8	8	8
Total	107	115	109	108	106
Promedio	7,1333	7,6667	7,2667	7,2	7,0667

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-13 se puede observar que la muestra B tiene mayor puntuación promedio en comparación con las otras muestras; por lo que se concluye que el atributo color de la muestra B tienen mayor aceptación en comparación con las muestras A, C, D y E.

En la gráfica 3-7 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo color.

Gráfica 3-7 Promedio de la evaluación sensorial color



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 3-7 que la muestra B tiene mayor puntuación promedio de olor en comparación con las muestras A, C, D y E.

Según los resultados obtenidos se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo color, es la muestra B la cual tiene un promedio de 7,67 sobre una puntuación de 1 a 9.

C. Evaluación sensorial del atributo olor

En la tabla III-14 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo color en las distintas muestras de harina de arveja, realizadas por los 15 jueces.

Tabla III-14 Evaluación sensorial del atributo olor

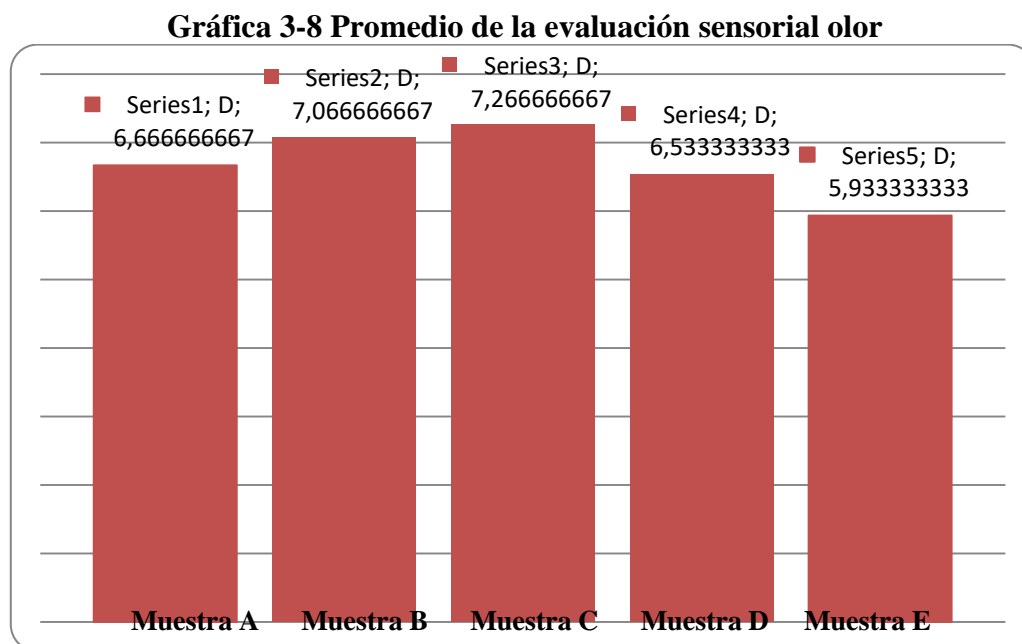
Jueces	Muestras
--------	----------

	A	B	C	D	E
1	7	8	8	8	5
2	5	6	8	4	4
3	7	5	5	4	4
4	7	7	7	7	6
5	7	8	7	7	5
6	8	8	8	7	7
7	7	7	7	7	7
8	6	7	7	6	6
9	7	9	8	7	7
10	5	5	6	6	6
11	7	7	7	7	7
12	8	8	8	8	6
13	5	7	8	5	5
14	8	7	8	8	7
15	6	7	7	7	7
Total	100	106	109	98	89
Promedio	6,6667	7,0667	7,2667	6,5333	5,9333

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-14 se puede observar que la muestra C tiene mayor puntuación promedio en comparación con las otras muestras; por lo que se concluye que el atributo olor de la muestra C tienen mayor aceptación en comparación con las muestras A, B, D y E.

En la gráfica 3-8 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo olor.



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 3-8 que la muestra C tiene mayor puntuación promedio de olor en comparación con las muestras A, B, D y E.

Según los resultados obtenidos se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo olor, es la muestra C la cual tiene un promedio de 7,27 sobre una puntuación de 1 a 9.

D. Evaluación sensorial del atributo textura

En la tabla III-15 se muestra los resultados de la evaluación sensorial del atributo textura en las distintas muestras de harina de arveja, realizadas por los 15 jueces.

Tabla III-15 Evaluación sensorial del atributo textura

Jueces	Muestras
--------	----------

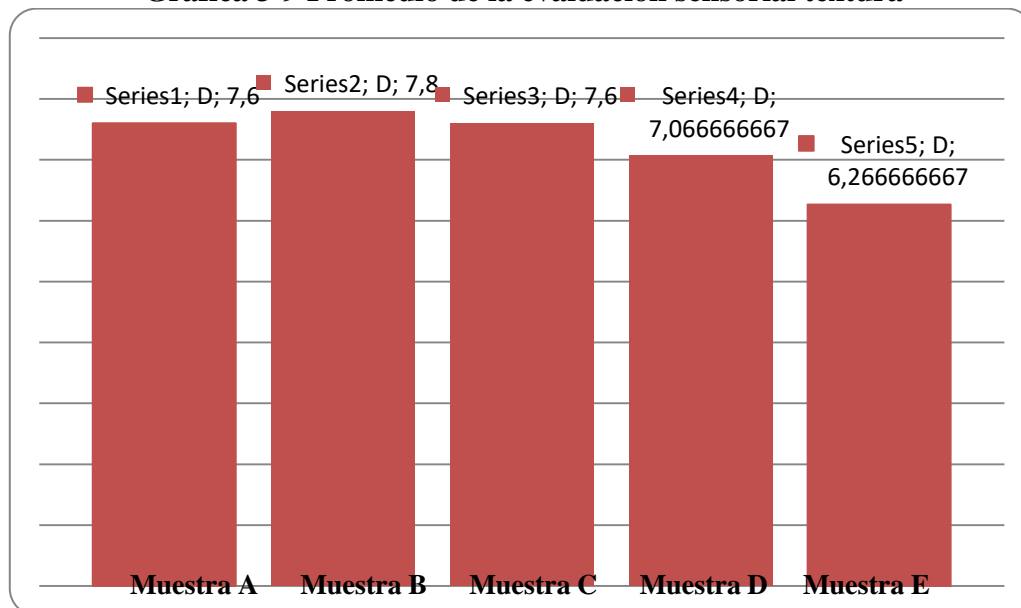
	A	B	C	D	E
1	8	8	8	8	6
2	6	7	5	2	2
3	8	8	8	8	5
4	7	7	7	7	7
5	7	7	7	7	7
6	8	8	9	7	6
7	7	8	7	7	7
8	8	8	7	7	7
9	9	9	9	8	6
10	5	6	5	6	6
11	8	8	8	8	8
12	8	9	8	7	7
13	9	9	9	9	7
14	9	9	9	9	7
15	7	6	8	6	6
Total	114	117	114	106	94
Promedio	7,6	7,8	7,6	7,0667	6,2667

Fuente: Elaboración propia

En la tabla III-15 se puede observar que la muestra B tiene mayor puntuación promedio en comparación con las otras muestras; por lo que se concluye que el atributo textura de la muestra B tienen mayor aceptación en comparación con las muestras A, C, D y E.

En la gráfica 3-9 se muestra los resultados promedio de la evaluación sensorial para el atributo textura.

Gráfica 3-9 Promedio de la evaluación sensorial textura



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica 3-9 que la muestra B tiene mayor puntuación promedio de textura en comparación con las muestras A, C, D y E.

Según los resultados obtenidos se concluye que la muestra más aceptada, en cuanto al atributo textura, es la muestra B la cual tiene un promedio de 7,8 sobre una puntuación de 1 a 9.

3.9 ANALISIS ESTADISTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

El diseño factorial, se realizó con el propósito de establecer los factores que tienen mayor influencia en el proceso de pre tratamiento para obtener harina de arveja. Asimismo se utilizó el diseño factorial 2*2 y se realizó una tabla matricial (Ver tabla II-1); tomando en cuenta las variables tiempo de escaldado (1 min y 1,5 min) y la temperatura de secado (50 °C y 60 °C), siendo la variable respuesta el pH de cada muestra.

En la tabla III-15 se muestra los resultados de la variable respuesta “pH” obtenidos de las pruebas experimentales realizadas en laboratorio en base a las variables planteadas en el diseño experimental.

Tabla III-16 Valores experimentales de tiempo de escaldado y temperatura de secado

	Nº Experimentos	Tiempo de escaldado min (x_1)	Temperatura de secado (x_2)	pH (y_i)
Repetición 1	1	1	50	6,79
	2	1,5	50	6,5
	3	1	60	6,45
	4	1,5	60	6,33
Repetición 2	5	1	50	6,78
	6	1,5	50	6,52
	7	1	60	6,46
	8	1,5	60	6,34

Fuente: Elaboración propia

Los valores experimentales de la tabla III-16 se sometieron a un análisis estadístico ANOVA, utilizando el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 17,0, el mismo que permite un tratamiento integrado de todas las fases del análisis de datos, obteniendo de esta manera resultados más representativos y confiables.

Con el análisis estadístico se determina influencia de los factores tiempo de escaldado y temperatura de secado y sus interacciones sobre la variable respuesta pH. A continuación, en la tabla III-17, se muestra los resultados del análisis de varianza para la variable dependiente o variable respuesta pH (datos extraídos del ANEXO E).

Tabla III-17 Análisis de varianza para la variable respuesta pH

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,218 ^a	3	0,073	828,714	0,000

Interacción	340,214	1	340,214	3888155,571	0,000
Tiempo	0,078	1	0,078	891,571	0,000
Temperatura	0,128	1	0,128	1457,286	0,000
Tiempo*Temperatura	0,012	1	0,012	137,286	0,000
Error	0,000	4	8,750E-5		
Total	340,432	8			
Total corregida	0,218	7			

a. R cuadrado= 0,998 (R cuadrado corregida= 0,997)

A partir de este análisis es posible señalar a las variables más significativas con una confianza del 95% , es decir, variables que poseen una de significación menor al 5 % (0,05). Para el presente caso las variables significativas están constituidas por la concentración y tiempo con un valor de 0,000 %

Análisis de Regresión

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

Tabla III-18 ANOVA

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	0,218	3	0,073		
Residual	0,000	4	0,000	828,714	0,000 ^a
Total	0,218	7			

a. Variables predictoras: (constante), tiempTemp, Temperatura, Tiempo

b. Variable dependiente: pH

Tabla III-19 Coeficientes

Modelo	Coeficientes no estandarizados	Coeficientes tipificados	T	sig	Intervalos de confianza de 95,0 % para B

	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
(constante)	10,535	0,186		56,560	0,000	10,018	11,052
Tiempo	-2,100	0,146	-3,181	-14,372	0,000	-2,506	-1,694
Temperatura	-0,064	0,003	-1,939	-18,976	0,000	-0,073	-0,055
tiemTemp	0,031	0,003	2,847	11,717	0,000	0,024	0,038

a. Variable dependiente: pH

Por lo tanto, a partir de los coeficientes proporcionados en la tabla III-19, la ecuación matemática de la regresión es la siguiente:

$$\text{pH} = 10,535 - 2,100 * \text{Tiempo} - 0,064 * \text{Temperatura} + 0,031 * \text{tiemTemp}$$

A partir de esta ecuación es posible establecer que el pH depende significativamente del tiempo de escaldado y la temperatura de secado, como se verificó también en las pruebas organolépticas que la harina de arveja obtenida que tuvo mayor aceptación es la que corresponde a un pH de 6,45.

3.10 SECADO

a) Pérdida de peso durante el secado del grano de arveja

El secado se realizó en una estufa con aire forzado que consta de dos bandejas, las cuales fueron esterilizadas previamente. Para la prueba se realizó el control con 513,4 g de masa; se colocaron las arvejas uniformemente en las bandejas evitando no contaminarla, también se debe tener cuidado de colocar rápidamente la muestra en las bandejas para evitar la exposición de la misma a la atmósfera, para evitar que adquiera humedad del medio ambiente. Se seca la muestra hasta peso constante para generar la curva de secado.

Para registrar la pérdida de peso de los granos de arveja, los datos se registraron con intervalos de 30 minutos.

En la tabla III-20 se observa la pérdida de peso de los granos de arveja durante su secado a condiciones de temperatura de 60 °C, con un tamaño máximo de grano 0,6 mm y a un tiempo de escaldado de 1 min, con mediciones en intervalos de tiempo de 30 minutos.

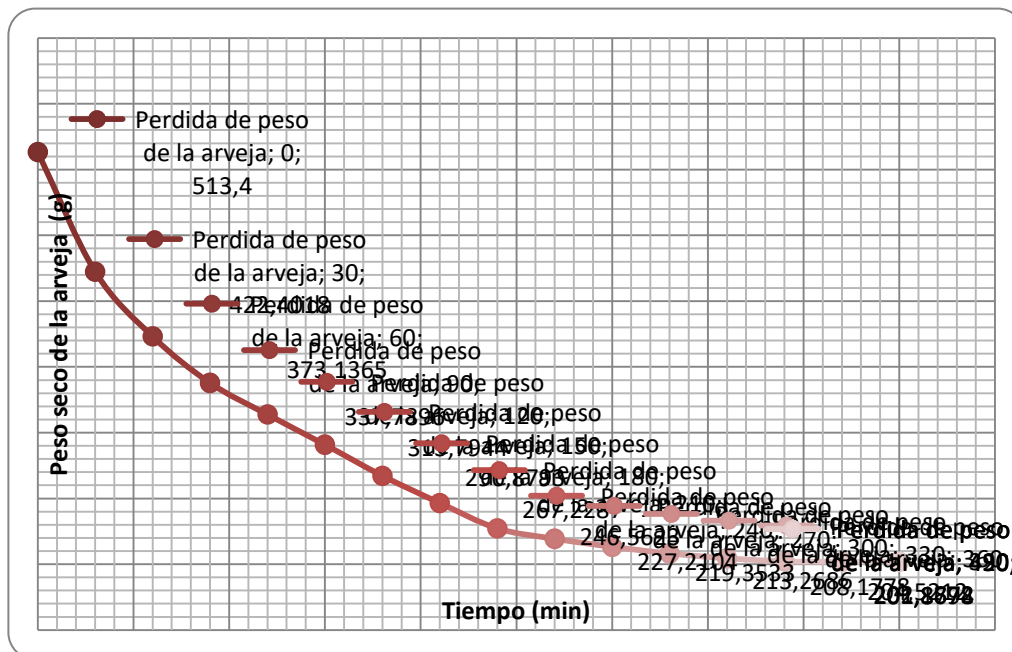
Tabla III-20 Pérdida de peso en el secado del grano de arveja

Tiempo (min)	Peso seco (g)
0	513,4
30	422,4018
60	373,1365
90	337,7896
120	313,7944
150	290,8793
180	267,2287
210	246,5623
240	227,2104
270	219,3533
300	213,2686
330	208,1778
360	204,5212
390	202,1872
420	201,8774
480	201,8698

Fuente: Elaboración propia

El Grafico 3-10 muestra la curva obtenida en base a estos resultados.

Grafico 3-10 Pérdida de peso del grano de arveja



Fuente: Elaboración propia

En la figura se puede apreciar que en la primera etapa del secado, considerada desde el inicio hasta el minuto 60 aproximadamente, es la etapa de calentamiento inicial del sólido. En esta etapa se calienta y elimina el agua libre que se encuentra en la muestra.

b) Determinación del contenido de humedad

La expresión matemática citada por Contreras, (2005), se ordenó para realizar el cálculo del contenido de humedad en base seca; se obtiene la siguiente ecuación:

$$X = \frac{m_i - m_{SS}}{m_{SS}} \quad (3-4)$$

Donde:

X_s = Humedad en base seca, (g H₂O/kg sólido seco).

m_i = masa de muestra de arveja, (g).

m_{SS} = masa de sólido seco de arveja, (g).

para realizar los cálculos del contenido de humedad en base seca, se consideró el contenido de humedad de la materia prima. La masa de sólido seco se puede estimar a través de la ecuación (3-5)

$$m_{SS} = m_i - m_i(X_{m_i}^{H_2O}) \quad (3-5)$$

Se utilizó los datos de la tabla III-16 donde se presenta los resultados de pérdida de peso en el secado de los granos de arveja a condiciones de temperatura de 60 °C, tamaño máximo de 0,6 cm de diámetro, y a un tiempo de escaldado de un minuto, y se reemplazó los datos en la ecuación (3-5) para obtener la cantidad de humedad en base seca.

En la tabla III-21 podemos observar la variación del contenido de humedad en base seca del grano de arveja, en función del tiempo medido en intervalos de 30 minutos.

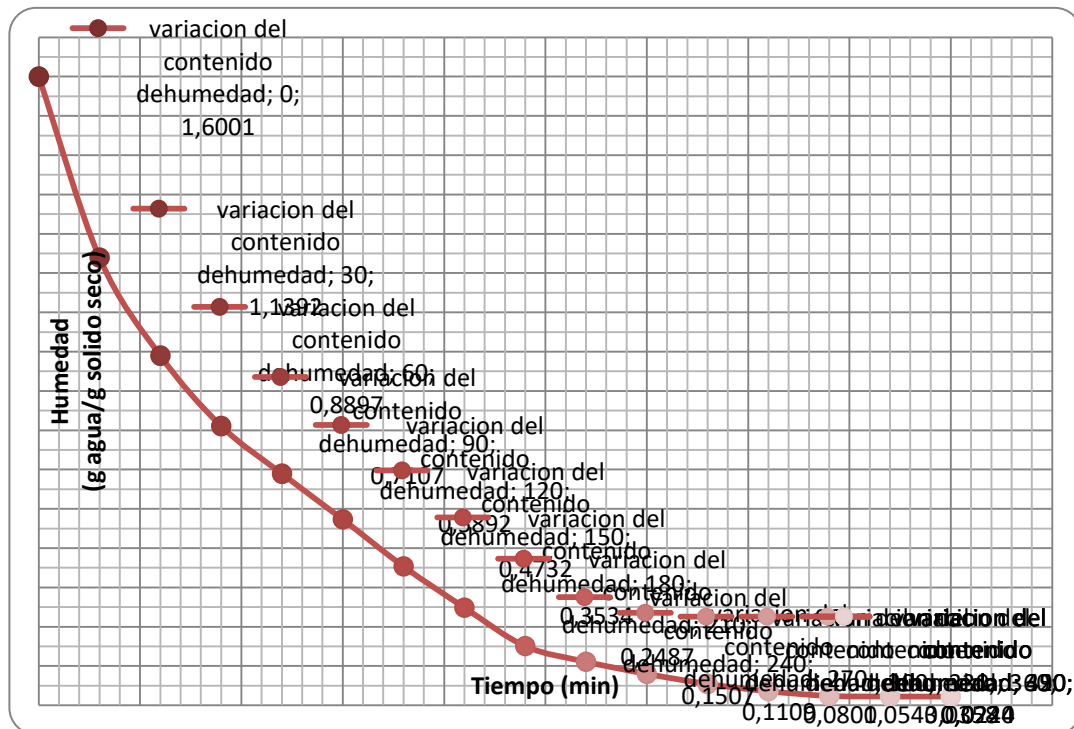
Tabla III-21 Variación del contenido de humedad en base seca

Tiempo (min)	Peso seco (g)	Humedad (kgH ₂ O/kgSS)
0	513,4	1,6001
30	422,4018	1,1392
60	373,1365	0,8897
90	337,7896	0,7107
120	313,7944	0,5892
150	290,8793	0,4732
180	267,2287	0,3534
210	246,5623	0,2487
240	227,2104	0,1507
270	219,3533	0,1109
300	213,2686	0,0801
330	208,1778	0,0543
360	204,5212	0,0358
390	202,1872	0,0240
420	201,8774	0,0224
450	201,8698	0,0224

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3-8 se muestra los resultados de la variación de contenido de humedad en base seca en las condiciones arriba mencionadas y extrayendo los datos de la tabla III-20

Gráfico 3-11 Variación de contenido de humedad en base seca



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura, el comportamiento en la variación de la humedad es muy similar al comportamiento de pérdida de peso.

c) Determinación de la cinética de secado

Se define la velocidad de secado como la pérdida de humedad del sólido húmedo por 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 constantes con el tiempo (Ocon y Tojo, 1963).

$$W = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right) \quad (3-6)$$

Donde:

SS = Peso de sólido seco (kg)

A = Área de la superficie expuesta (m²)

W = Velocidad de secado (kg/m²*h)

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

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

Método de tres puntos

Para determinar la velocidad de secado en base a los datos de humedad base seca Vs. Tiempo, que son obtenidos en las experiencias de laboratorio, se utilizó el método de los tres puntos, el mismo que sirve para encontrar la pendiente o velocidad en cada uno de los puntos observados.

Uno de los métodos diferenciales para calcular la pendiente es el de los tres puntos:

$$Y'_0 = \frac{-3Y_0 + 4Y_1 - Y_2}{2h} \quad (3-7)$$

$$Y'_1 = \frac{-Y_0 + Y_2}{2h} \quad (3-8)$$

$$Y'_2 = \frac{Y_0 - 4Y_1 + 3Y_2}{2h} \quad (3-9)$$

Donde:

Y₀, Y₁, Y₂ = Humedad en base seca especificada en las tablas.

h = Intervalo de tiempo, entre los puntos del tiempo h = 0,5 h

Con los datos de la humedad en base seca se reemplazan las ecuaciones (3-7), (3-8) y (3-9) para hallar las pendientes, aplicando el método de los tres puntos, a un intervalo de tiempo de 0,5 horas (Ver anexo F).

En la tabla III-22 se puede observar los resultados del método de los tres puntos para calcular la velocidad de secado.

Tabla III-22 Datos para la velocidad de secado

Tiempo (horas)	Peso Kg	X (KgH ₂ O/KgSS)	(-dX/dt)	$w = \frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right)$
0	0,513	1,6001	1,1331	1,9062
0,5	0,422	1,1392	0,5695	0,9581
1	0,373	0,8897	0,4155	0,6990
1,5	0,338	0,7107	0,2680	0,4509
2	0,314	0,5892	0,2284	0,3842
2,5	0,291	0,4732	0,2266	0,3813
3	0,267	0,3534	0,1198	0,2015
3,5	0,247	0,2487	0,1047	0,1761
4	0,227	0,1507	0,0933	0,1569
4,5	0,219	0,1109	0,0667	0,1122
5	0,213	0,0801	0,0527	0,0886
5,5	0,208	0,0543	0,0451	0,0759
6	0,205	0,0358	0,0318	0,0536
6,5	0,202	0,0240	0,0144	0,0242
7	0,202	0,0224	0,0016	0,0026

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, las pendientes deben correlacionarse con la variación de la humedad, linealizando la ecuación potencial planteada (3-4), de la siguiente forma:

$$\ln -\frac{dX}{dt} = \ln k + n \ln X \quad (3-10)$$

$$y = a + bX \quad (3-11)$$

Donde:

$$n=b \quad K = e^a$$

En la tabla III-23 se puede observar el logaritmo natural del contenido de humedad en base seca y de la velocidad de secado.

Tabla III-23 Velocidad de secado

Tiempo (horas)	X (KgH ₂ O/KgSS)	(-dX/dt)	W = $\frac{SS}{A} \left(-\frac{dX}{dt} \right)$	Ln (X)	Ln (W)
0	1,6001	1,1331	1,9062	0,4701	0,6451
0,5	1,1392	0,5695	0,9581	0,1304	-0,0428
1	0,8897	0,4155	0,6990	-0,1168	-0,3581
1,5	0,7107	0,2070	0,3482	-0,3415	-1,0550
2	0,5892	0,2070	0,3482	-0,5290	-1,0550
2,5	0,4732	0,2266	0,3813	-0,7483	-0,9642
3	0,3534	0,1198	0,2015	-1,0402	-1,6019
3,5	0,2487	0,1047	0,1761	-1,3915	-1,7368
4	0,1507	0,0933	0,1569	-1,8924	-1,8519
4,5	0,1109	0,0667	0,1122	-2,1990	-2,1879
5	0,0801	0,0527	0,0886	-2,5245	-2,4238
5,5	0,0543	0,0903	0,1519	-2,9130	-1,8848
6	0,0358	0,0637	0,1071	-3,3300	-2,2339
6,5	0,0240	0,0288	0,0484	-3,7308	-3,0285
7	0,0224	0,0016	0,0026	-3,7985	-5,9372

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla III-23 y de acuerdo a la ecuación (3-11) linealizando se obtiene los valores de a y b.

$$a = -0,1461 \quad b = 1,054$$

Donde:

$$n = b = 1,054$$

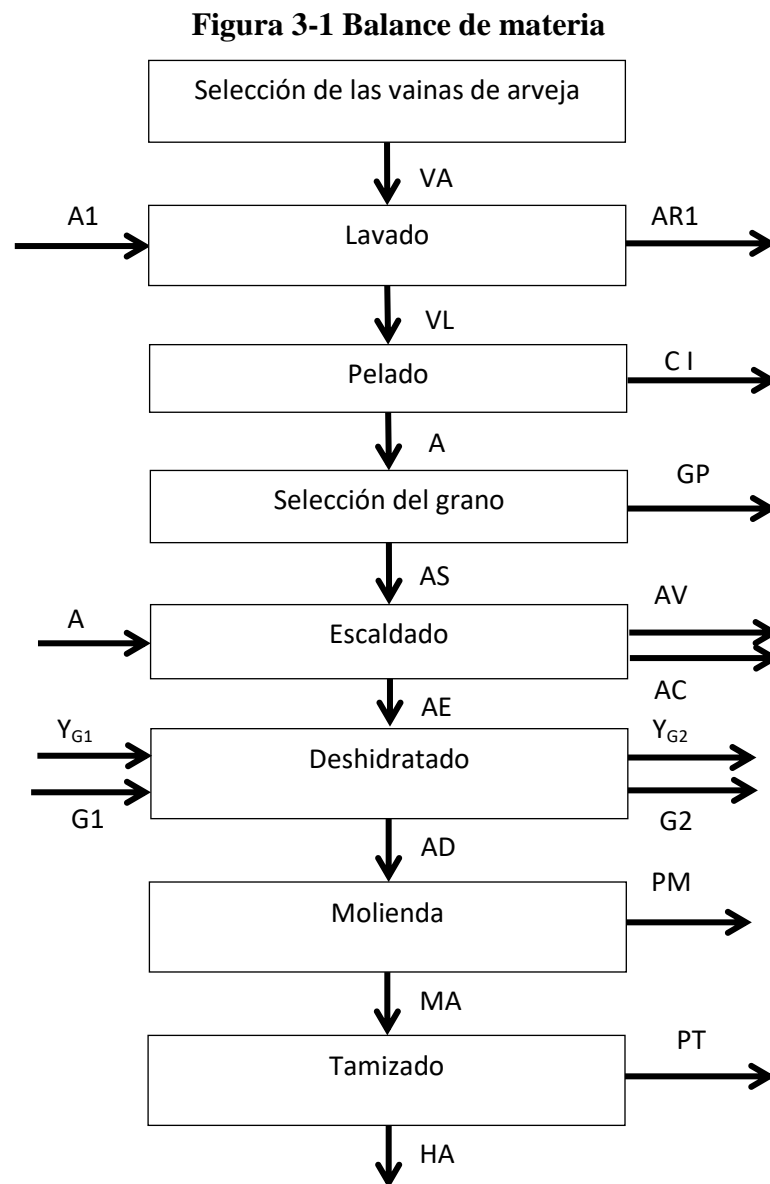
$$k = e^a = e^{-0,1461} = 0,8641$$

Con estos datos obtenemos la siguiente ecuación de la velocidad de secado:

$$W = \frac{SS}{a} (-dX/dt) = 1,054 X^{0,8641} \quad (3-12)$$

3.11 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE HARINA DE ARVEJA

El balance de materia para el proceso de obtención de harina de arveja aplicando aire caliente, se realizó tomando en cuenta el siguiente diagrama de bloques representado en la figura 3-1.



Fuente: Elaboración propia

Donde:

VA= Vaina de arveja seleccionada (g)

A₁= Agua para lavado (ml)

AR= Agua residual (ml)

VL= Vaina de arveja limpia (g)

CI= Cáscara e impurezas (g)

AM= Arveja madura (g)

GP= Grano pequeño (g)

AS= Arveja seleccionada (g)

A₂= Agua para escaldado (ml)

AV= Agua evaporada (ml)

AC= Agua caliente (ml)

AE= Arveja escaldada (g)

G₁= Cantidad de aire a la entrada del proceso (m³/h)

G₂ = Cantidad de aire a la salida del proceso (m³/h)

AD = Arveja deshidratado (g)

MA = Arveja molida (g)

PM = Perdidas en el molino (g)

HA 1 = Harina de arveja con tamaño de 0,5 mm (g)

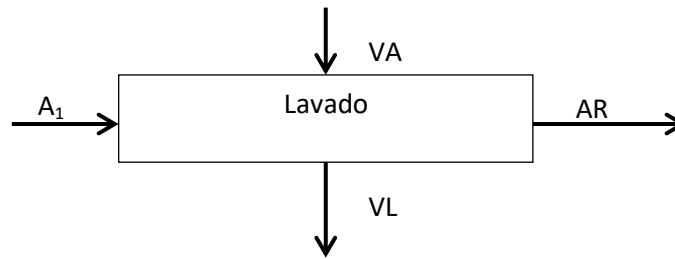
HA 2 = Harina de arveja con tamaño de 0,25 mm (g)

PT = Pérdidas en el Tamizado (g)

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE LAVADO DE LA VAINA DE ARVEJA

La figura 3. 2, muestra el balance de materia en el proceso de lavado de la vaina de arveja el cual se realizó en base a 1kg de vaina de arveja madura con una humedad de 64,090 % (dato obtenido por el secador infrarrojo), se midió 5000 ml de agua destilada para realizar el lavado, después del lavado se obtuvieron las vainas limpias y agua residual que pesó 4988 g.

Figura 3-2 Balance de materia en el lavado



Balance global de materia para el lavado

$$VA + A_1 = VL + AR \quad (3-12)$$

Donde:

$$VA = 1000 \text{ g}$$

$$A_1 = 5000 \text{ ml}$$

$$AR = 4988 \text{ g}$$

Para calcular la cantidad de masa del agua se considera la densidad del agua a 20°C (Valiente, 1994): $\rho = 998,20 \text{ Kg/m}^3$

Se calcula la masa del agua de acuerdo a la expresión matemática citada por Valiente (1994):

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow m = \rho \cdot v \quad (3-13)$$

$$\rho = 998,20 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{lt}} * \frac{1\text{lt}}{1000\text{ml}} * \frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} = 0,9982 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

Reemplazando datos en la ecuación (3-13) tenemos:

$$v = A_1 = 5000\text{ml}$$

$$m = 0,9982 \text{ g/ml} * 5000\text{ml}$$

$$m = 4991\text{g}$$

Entonces tenemos que:

$$m = A_1 = 4991 \text{ g}$$

Despejando la ecuación (3-12) tenemos:

$$VL = VA + A_1 - AR \quad (3-14)$$

$$VL = (1000 + 4991 - 4988) \text{ g}$$

$$VL = 1002,9946 \text{ g de vaina de arveja lavada para el proceso}$$

Balance parcial en el lavado de la vaina de arveja del sólido seco

$$VAX_{VA}^{SS} + A_1 X_{A1}^{SS} = VLX_{VL}^{SS} + ARX_{AR}^{SS} \quad (3-15)$$

$$VAX_{VA}^{SS} = VLX_{VL}^{SS} \quad (3-16)$$

Donde:

$$X_{VA}^{SS} = 0,3591$$

Calculando considerando la cantidad de agua que tiene la vaina de arveja madura natural.

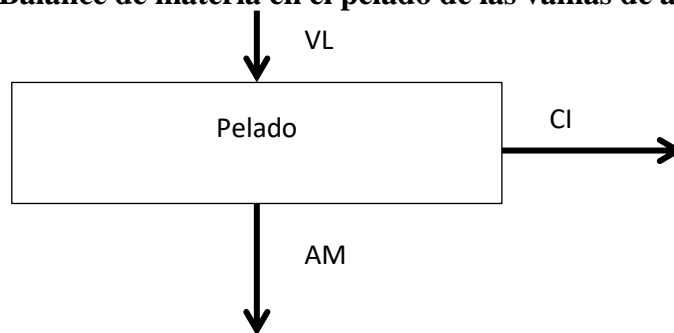
$$X_{VL}^{SS} = \frac{VAX_{VA}^{SS}}{VL} = \frac{1000 * 0,3591}{1002,9946}$$

$$X_{VL}^{SS} = 0,358$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PELADO DE LAS VAINAS DE ARVEJA MADURA

La figura 3-3, muestra el balance de materia en el proceso de desvainado de los granos de arveja madura. Ingresaron 1002,9946 g de vainas previamente lavadas, la fracción de sólido seco de 0,358; después del pelado se pesó las cáscaras y se obtuvo un peso de 432,5 g. La humedad del grano maduro lo determinó el CEANID, dando un porcentaje de humedad de 47,31%.

Figura 3-3 Balance de materia en el pelado de las vainas de arveja madura

**Balance global de materia para el pelado de las vainas de arveja**

$$VL = AM + CI \quad (3-17)$$

Donde:

$$VL = 1002,9946 \text{ g}$$

$$CI = 432,5 \text{ g}$$

Despejando AM de la ecuación 3-17 tenemos:

$$AM = VL - CI \quad (3-18)$$

$$AM = (1002,995 - 432,5) \text{ g}$$

AM = 570,49 g de granos de arveja madura

Balance parcial de materia para la porción comestible de la arveja madura en el proceso de pelado

$$VLX_{VL}^{PC} = AMX_{AM}^{PC} + CIX_{CI}^{PC} \quad (3-19)$$

Despejando la fracción de porción comestible de la arveja madura, de la ecuación 3-19 tenemos

$$X_{VL}^{PC} = \frac{AMX_{AM}^{PC}}{VL} \quad (3-20)$$

$$X_{VL}^{PC} = \frac{570,49 \text{ g} * 1}{1002,995 \text{ g}}$$

$$X_{VL}^{PC} = 0,57$$

Balance parcial de materia para la porción no comestible de la arveja madura en el proceso de pelado

$$VLX_{VL}^{PNC} = AMX_{AM}^{PNC} + CIX_{CI}^{PNC} \quad (3-21)$$

Despejando la fracción de porción no comestible de la arveja madura de la ecuación 3-19 tenemos

$$X_{VL}^{PNC} = \frac{CIX_{CI}^{PNC}}{VL} \quad (3-22)$$

$$X_{VL}^{PNC} = \frac{432,5 \text{ g} * 1}{1002,995 \text{ g}}$$

$$X_{VL}^{PNC} = 0,43$$

Balance parcial para el pelado de la arveja sólido seco

$$VLX_{VL}^{SS} = AMX_{AM}^{SS} + CIX_{CI}^{SS} \quad (3-23)$$

Despejando la fracción de sólido seco de la cáscara de arveja madura de la ecuación 3-23, tenemos:

$$X_{CI}^{SS} = \frac{VLX_{VL}^{SS} - AMX_{AM}^{SS}}{CI}$$

Datos

$$X_{VL}^{SS} = 0,358$$

Como la humedad del grano de arveja maduro es 47,31 %, para obtener la fracción de solido seco realizamos la operación siguiente

$$X_{AM}^{SS} = \frac{(100 - 47,31)\%}{100\%} = 0,53$$

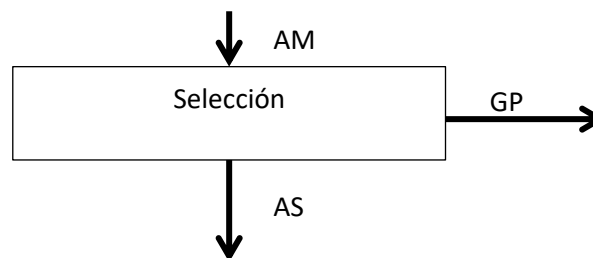
$$X_{CI}^{SS} = \frac{1002,9946g * 0,358 - 570,49g * 0,53}{432,5g}$$

$$X_{CI}^{SS} = 0,13$$

BALANCE DE MATERIA EN LA SELECCIÓN DEL GRANO

La figura 3-4, muestra el balance de materia en el proceso de selección del grano Después del desvainado se obtuvo 570,49 g de grano maduro; la fracción de sólido seco del grano maduro es de 0,5269; la cantidad de grano seleccionado se calcula a continuación.

Figura 3-4 Balance de materia en el proceso de selección del grano de arveja madura



Balance global de materia para la selección del grano

$$AM = AS + GP \quad (3-24)$$

Donde:

$$AM = 570,49 \text{ g}$$

$$GP = 8,56 \text{ g}$$

$$AS = AM - GP$$

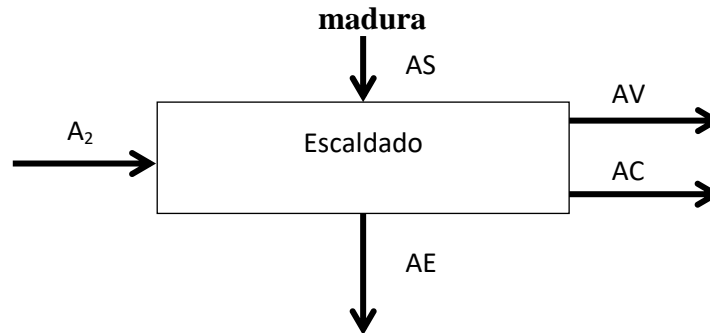
$$AS = (570,49 - 8,56) \text{ g}$$

$$AS = 561,93 \text{ g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL ESCALDADO

En la figura 3-5, muestra el balance de materia en el proceso de escaldado del grano de arveja madura, después de haber seleccionado el grano maduro se obtuvo 561,93 g.

Figura 3-5 Balance de materia en el proceso de escaldado del grano de arveja madura



Balance general de materia para el escaldado

$$AS + A_2 = AE + AV + AC \quad (3-23)$$

Donde:

$$AS = 561,93 \text{ g}$$

$$A_2 = 2000 \text{ ml}$$

$$AC = 1812,2072 \text{ g}$$

Entonces tenemos que el volumen de agua para el escaldado es:

$$v = 2000 \text{ ml} \left(\frac{1 \text{ lt}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} \right) = 0,002 \text{ m}^3$$

Para calcular la cantidad de masa del agua para el escaldado se considera la densidad del agua a 20°C (Valiente, 1994) con una $\rho = 998,20 \text{ Kg/m}^3$ y con la ecuación (3-13) se calcula la masa de agua para el escaldado

$$m = \rho * v = 998,20 \text{ Kg/m}^3 * 0,002 \text{ m}^3$$

$$m = 2,396 \text{ Kg} \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) = 1996,4 \text{ g} = A_2$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada se utilizó la siguiente ecuación citada por Ocon-Tojo, 1978:

$$\Delta W = W_i - W_f \quad (3-24)$$

Dónde:

$W_i = A_2 =$ Cantidad de agua inicial

$W_f = AC =$ Cantidad de agua final

$\Delta W = AV =$ Cantidad de agua evaporada

Reordenando la ecuación (3-15) tenemos:

$$AV = A_2 - AC \quad (3-16)$$

$AV = 1996,4 \text{ g} - 1812,2072 \text{ g} = 184,1928 \text{ g}$ de agua evaporada en el escaldado

$$AV = (184,1928 - 78,6702) \text{ g} = 105,5226 \text{ g}$$

$$AE = AS + A_2 - AV - AC$$

$$AE = (561,93 + 1996,4 - 105,5226 - 1812,207) \text{ g}$$

$$AE = 640,6002 \text{ g}$$

Balance parcial en el escaldado de las muestras de arveja sólido seco

$$ASX_{MS}^{SS} + A_2X_{A_2}^{SS} + A_3X_{A_3}^{SS} = AEX_{ME}^{SS} + AVX_{AV}^{SS} + ACX_{AC1}^{SS} + AFX_{AF}^{SS} \quad (3-24)$$

$$ASX_{AS}^{SS} = AEX_{AE}^{SS} \quad (3-25)$$

La fracción de sólido seco del grano de arveja madura es:

% Humedad del grano de arveja madura es 47,31%, si dividimos entre 100, será 0,4731 de fracción de agua en el grano maduro, la fracción de sólido seco será 0,5269

$$X_{AE}^{SS} = \frac{ASX_{AS}^{SS}}{AE} = \frac{561,93 \text{ g} * 0,5269}{640,6002 \text{ g}}$$

$$X_{AE}^{SS} = 0,4622$$

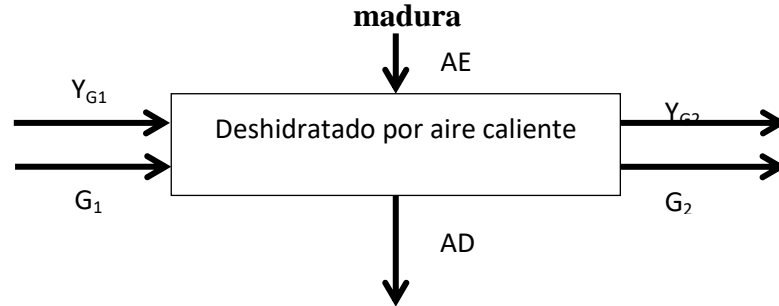
Reordenando para sacar el porcentaje tenemos:

$$\% = 0,4622 * 100\% = 46,22\%$$

BALANCE DE MATERIA EN EL DESHIDRATADO DE LA ARVEJA

En la figura 3-6, muestra el balance de materia en el proceso de deshidratado del grano de arveja madura, después de haber escaldado el grano maduro se obtuvo 640,60 g.

Figura 3-6 Balance de materia en el proceso de deshidratado del grano de arveja madura



Balance general de materia para el proceso de deshidratación

$$G_1 + AE = G_2 + AD \quad (3-26)$$

Donde:

$$AE = 640,60 \text{ g}$$

$$AD = 329,265 \text{ g}$$

Balance parcial en base seca en el proceso de deshidratación

$$G_1 Y_{G1} + AEX_{AE} = G_2 Y_{G2} + ADX_{AD} \quad (3-27)$$

Considerando un sistema abierto

$$G_1 = G_2 = G \quad (3-28)$$

$$AE = AD = S \text{ (Cantidad del producto seco (g))}$$

Reordenando la ecuación (3-27) tenemos:

$$G_1 Y_{G1} + SX_{AE} = G_2 Y_{G2} + SX_{AD} \quad (3-29)$$

$$SX_{AE} - SX_{AD} = G_2 Y_{G2} - G_1 Y_{G1} \quad (3-30)$$

$$S(X_{AE} - X_{AD}) = G(Y_{G2} - Y_{G1}) \quad (3-31)$$

La tabla III-24 muestra los resultados obtenidos de las propiedades psicométricas del aire de entrada y salida de la estufa en base a las temperaturas de bulbo seco (Tbs) y la temperatura del bulbo húmedo (Tbh) las cuales se obtienen utilizando la carta psicométrica (ver anexo G) según las condiciones de presión 610 mmHg y altura 2000 msnm de la ciudad de Tarija.

Tabla III-24 Propiedades psicométricas del aire en la estufa

Propiedades	Aire entrada	Aire salida
T _{bs} (°C)	45	46
T _{bh} (°C)	24	25
HR (%)	21	22
Y (Kg agua / Kg aire)	0.0155	0.0175
H (Kcal/ Kg)	5.27	5.37
V _e (m ³ /kg)	0.835	0.89

Fuente: Elaboración propia

Donde:

HR= Humedad relativa (%)

Y = Humedad absoluta (Kg agua/Kg aire)

H = Entalpia (Kjoul/Kg)

V_e = Volumen específico (m³/kg)

Se calcula la cantidad de sólido seco del alimento tomando en cuenta la siguiente expresión matemática citada por Valiente, (1994):

$$S = S_1 (1 - W_{AS_1}^{H_2O}) \quad (3-32)$$

Donde:

S = Cantidad de producto seco (g)

S₁ = Cantidad de alimento húmedo (g)

$W_{S_1}^{H_2O}$ = Fracción del contenido de humedad del alimento (0,4731) dato extraído del

ANEXO A

Reordenando la ecuación (3-32), en función del bloque de deshidratación tenemos:

$$S = AE (1 - W_{MS_1}^{H_2O}) \quad (3-33)$$

$$S = 640,60 \text{ g} (1 - 0,4731) = 337,5322 \text{ g}$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada en el secador, se utiliza la siguiente expresión matemática citada por Valiente (1994):

$$WE = S (W_2 - W_1) \quad (3-34)$$

Donde:

WE = Cantidad de agua evaporada (g)

W_2 = Contenido de humedad en base seca de la arveja (g agua/g sólido seco)

W_1 = Contenido de humedad en base seca del producto deshidratado (g agua/g sólido seco)

Reordenamos la ecuación (3-39) en función del contenido de humedad en base seca de la arveja; tenemos:

$$WE = S (X_{AE} - X_{AD}) \quad (3-35)$$

Donde:

$$X_{AE} = 1,6001 \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

$$X_{AD} = 0,0224 \text{ (g agua/g sólido seco)}$$

$$WE = 337,5322g (1,6001 - 0,0224)$$

$$WE = 532,5246 \text{ g}$$

Despejando G de la ecuación (3-31), se calcula la cantidad del caudal de aire utilizado, tomándose en cuenta el tiempo de secado de los granos de arveja.

$$G = \frac{S(X_{AE} - X_{AD})}{(Y_{G2} - Y_{G1})} \quad (3-36)$$

$$G = \frac{337,5322g (1,6001 - 0,0224)g}{0,0175 - 0,0155} = 266262,3 \text{ g aire seco}$$

$$G = \frac{266262,3 \text{ g aire seco}}{7 \text{ h}} = 38037,47 \text{ g aire seco/h}$$

Para calcular la cantidad de caudal del aire se tomó en cuenta la expresión matemática citada por Valiente (1994); el volumen del aire a la salida de la estufa es $0,89 \text{ m}^3 / \text{Kg} = 0,00089 \text{ m}^3 / \text{g}$ dato extraído de la tabla III-20.

$$G_2 = G * V_e \quad (3-37)$$

$$G_2 = 38037,47 \text{ g/h} * (0,00089 \text{ m}^3 / \text{g}) = 33,85335 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Para calcular el caudal másico de aire caliente a la salida de la estufa, se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática:

$$m_{\text{aire}} = \frac{WE}{(Y_2 - Y_1)t_s} \quad (3-38)$$

Donde:

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

WE = Cantidad de agua evaporada en el proceso de deshidratado (Kg)

Y_2 = Cantidad de humedad absoluta a la salida de la secador (Kg agua/Kg aire seco)

Y_1 = Cantidad de humedad a la entrada del secador (Kg agua/Kg aire seco)

t_s = Tiempo de deshidratado de la arveja

Reemplazamos datos en la ecuación (3-43) tenemos:

$$m_{\text{aire}} = \frac{532,5246 \text{ g}}{(0,0175 - 0,0155)7\text{h}} = 38037,47 \text{ g/h} = 38,03747 \text{ Kg/h}$$

Para calcular la velocidad de aire en la entrada del secador, se tomó en cuenta la siguiente expresión matemática:

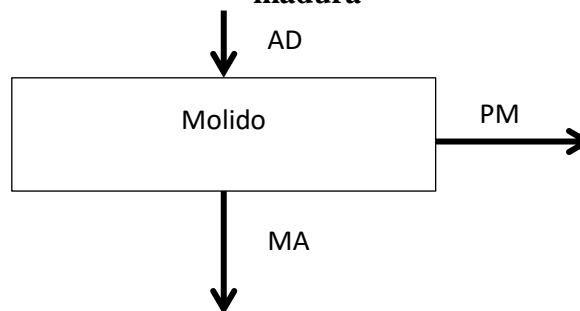
$$G_1 = m_{\text{aire}} * V_e \quad (3-39)$$

$$G_1 = 38,03747 \text{ Kg/h} * 0,835\text{m}^3/\text{Kg} = 31,76129\text{m}^3/\text{h}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MOLIDO

La figura 3-7, muestra el balance de materia en el proceso de molido del grano de arveja madura; después de haber deshidratado el grano maduro se obtuvo 337,5322 g.

Figura 3-7 Balance de materia en el proceso de molido del grano de arveja madura



Balance global de materia para el molido del grano

$$AD = MA + PM \quad (3-40)$$

Donde:

$$AD = 337,5322 \text{ g}$$

$$MA = 332,4693 \text{ g}$$

Despejando PM de la ecuación (3-40) tenemos:

$$PM = AD - MA \quad (3-41)$$

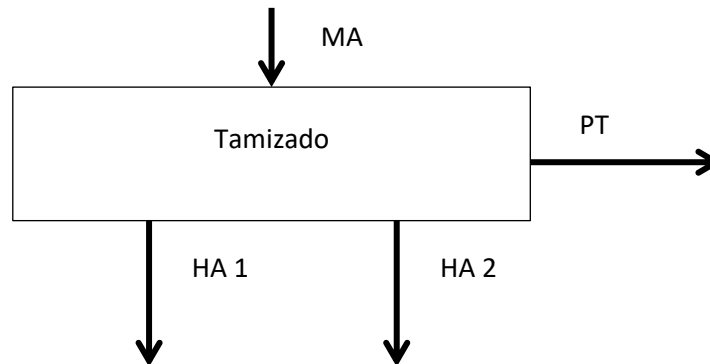
$$PM = (337,5322 - 332,4693) \text{ g}$$

$$PM = 5,063 \text{ g}$$

BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE TAMIZADO

La figura 3-8, muestra el balance de materia en el proceso de tamizado del grano de arveja madura; después de haber molido el grano maduro se obtuvo 332,4693 g.

Figura 3-8 Balance de materia en el proceso de tamizado de la harina de arveja madura



Balance global de materia para la selección del tamizado de la harina

$$MA = HA\ 1 + HA\ 2 + PT \quad (3-42)$$

Donde:

$$MA = 332,4693\ g$$

Donde

$$HA = 325,820\ g$$

$$HA1 = 19,549\ g \text{ (harina de arveja con tamaño de } 0,5\text{mm).}$$

$$HA2 = 306,271\ g \text{ (harina de arveja con tamaño de } 0,25\ \text{mm).}$$

Despejando PT de la ecuación (3-42)

$$PT = HA - HA1 + HA2 \quad (3-43)$$

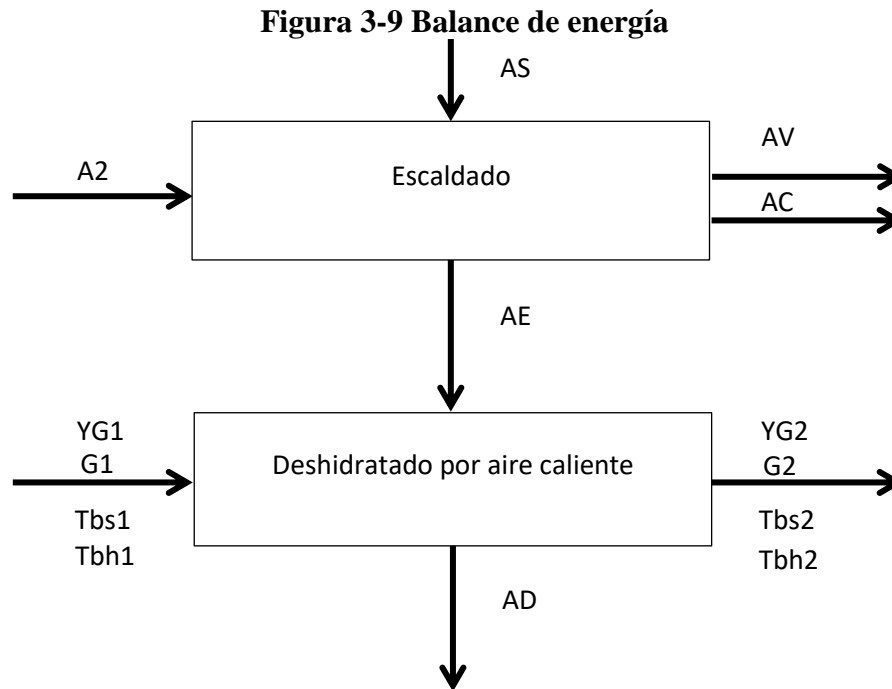
$$PT = 325,820\ g - (19,549\ g + 306,271\ g)$$

$$PT = 6,649\ g$$

3.12 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE LA HARINA DE

ARVEJA

El balance de energía para el proceso de la harina de arveja, se realizó tomando en cuenta el siguiente diagrama de bloques representado en la figura 3-9.



Fuente: Elaboración propia

Donde:

AS= Arveja seleccionada (g)

A2= Agua para escaldado (ml)

A3= Agua para enfriado (ml)

AV= Agua evaporada

AC= Agua caliente (g)

AF= Agua fría (g)

AE = Arveja escaldada (g)

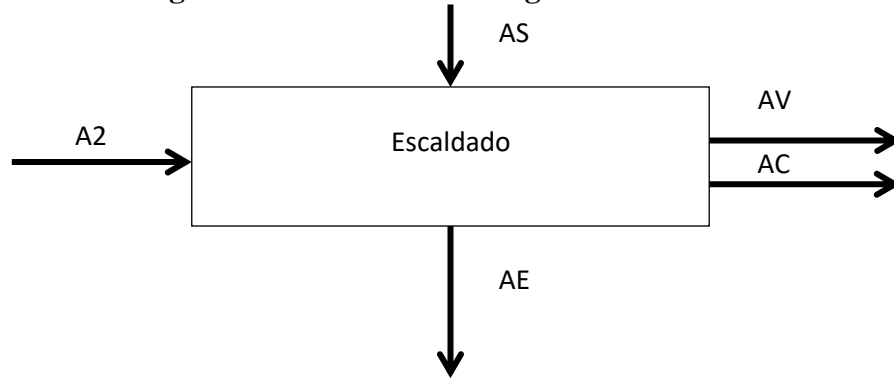
G1= Cantidad de aire caliente (g)

G2= Cantidad de aire húmedo (g)

AD= Arveja deshidratada (g)

BALANCE DE ENERGÍA EN EL ESCALDADO

Figura 3-10 Balance de energía en el escaldado



Para determinar la cantidad de calor requerido durante el escaldado se tomó en cuenta la siguiente ecuación citada por (Lomas, 2002):

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T + \lambda V \quad (3-44)$$

Considerando un sistema abierto, tenemos la siguiente ecuación citada (Lomas, 2002):

$$Q_{\text{GANADO}} + Q_{\text{CEDIDO}} = 0 \quad (3-45)$$

$$Q_{\text{GANADO}} = - Q_{\text{CEDIDO}} \quad (3-46)$$

Desarrollando la ecuación (3-44) en función de los elementos que intervienen en el proceso de tratamiento térmico (recipientes de aluminio y muestras de los granos de arveja), tenemos la siguiente ecuación:

$$Q_E = m_a C_{p_a} \Delta T_a + m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} \Delta T_{H_2O} + m_{AL} C_{p_{AL}} \Delta T_{AL} + m_{H_2O} \lambda_{H_2O} \quad (3-47)$$

Donde:

$$m_a = \text{masa de los granos de arveja} = 581,93 \text{ g} = 0,58193 \text{ Kg}$$

$$C_{p_a} = \text{Calor específico del grano de arveja} = 0,00329 \text{ kJ/kg K (Alvarado, 2001)}$$

$$T_{fa} = \text{Temperatura final del grano de arveja} = 70^\circ\text{C} + 273,15 = 343,15 \text{ K}$$

$$T_{ia} = \text{Temperatura inicial del grano de arveja} = 23^\circ\text{C} + 273,15 = 296,15 \text{ K}$$

$$m_{H_2O} = \text{Masa del agua} = 1996,4 \text{ g} = 1,9964 \text{ Kg}$$

$$C_{p_{H_2O}} = \text{Calor específico del agua} = 4,18 \text{ kJ/kg K (Lewis, 1993)}$$

$$T_{f_{\text{agua}}} = \text{Temperatura final del agua} = 92^\circ\text{C} + 273,15 \text{ K} = 365,15 \text{ K}$$

$$T_{i_{H_2O}} = \text{Temperatura inicial del agua} = 23^\circ\text{C} + 273,15 = 296,15 \text{ K}$$

m_{Al} = Masa del recipiente de aluminio = 0.637 kg

C_{pAl} = Capacidad calorífica del aluminio = 896 kJ/kg·K (Sing y Helmand, 1997)

λ_{H_2O} = Calor latente del agua = 2278 kJ/kg (Lomas, 2010)

Q_E = Calor para el escaldado (Kcal)

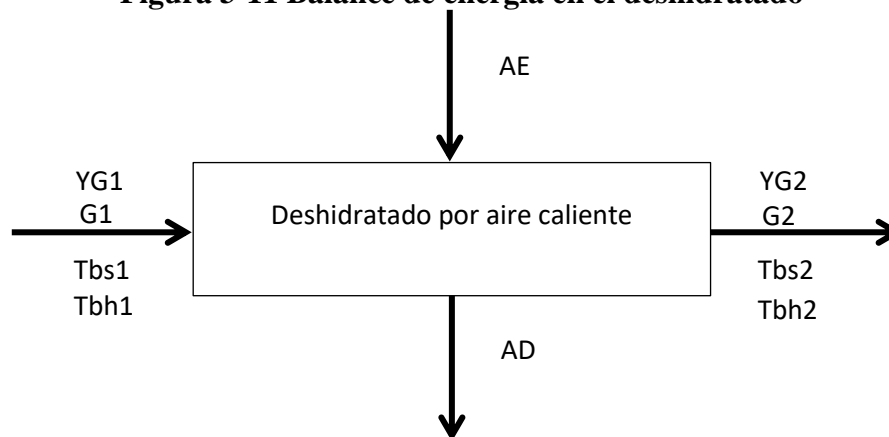
Reemplazando datos en la ecuación (3-47) tenemos:

$$Q_E = m_a C_{p_a} \Delta T_a + m_{H_2O} C_{p_{H_2O}} \Delta T_{H_2O} + m_{Al} C_{p_{Al}} \Delta T_{Al} + m_{H_2O} \lambda_{H_2O}$$

$$Q_E = 0,5619 \text{ Kg} * 0.00329 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K} * (343.15 - 296.15) \text{ K} + 1,9964 \text{ Kg} * 4.18 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K} * (366.15 - 296.15) \text{ K} + 0.637 \text{ Kg} * 896 \text{ kJ/Kg} \cdot \text{K} * (366.15 - 296.15) \text{ K} + 1,9964 \text{ Kg} * 2278 \text{ kJ/Kg} = 41237,85 \text{ kJ} = 9849,492 \text{ Kcal}$$

BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN

Figura 3-11 Balance de energía en el deshidratado



Para la determinación de la cantidad de calor que se requiere para el deshidratado de la arveja se utiliza la expresión matemática citada por Valiente (1994):

$$Q_{vap} = m_{aire} * C_{p_{aire}} * \Delta T \quad (3-49)$$

Donde:

m_{aire} = Caudal másico del aire = 34,360 Kg/h

$C_{p_{aire}}$ = Calor específico del aire (Kcal/Kg °C)

ΔT = Variación de temperatura (°C)

Q_{vap} = Cantidad de calor por evaporización

La ecuación (3-49) también puede ser expresada como:

$$\Delta H = Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} * c_{p\text{aire}} * \Delta T \quad (3-50)$$

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

La expresión matemática (3-50), citada por Valiente (1994) se puede expresar como una función del cambio de entalpías iniciales y finales (tabla III-20) del aire en la estufa:

$$Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} * c_{p\text{aire}} * \Delta T = m_{\text{aire}} * (H^{\circ}_{\text{final}} - H^{\circ}_{\text{inicial}}) \quad (3-51)$$

$$Q_{\text{vap}} = 34,360 \text{ Kg/h} * (5,37 - 5,27) \text{ Kcal/Kg} * 7\text{h}$$

$$Q_{\text{vap}} = 3,436 \text{ Kcal/Kg}$$

La cantidad de calor requerido para la deshidratación del grano de arveja es:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{vap}} + Q_{\text{E}} \quad (3-54)$$

$$Q_{\text{total}} = (3174,864 + 9849,492) \text{ Kcal} = 1302,36 \text{ Kcal}$$

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los ensayos y los resultados obtenidos en el proyecto de investigación “Harina de arveja madura de la comunidad Sivingal” se establecen las siguientes conclusiones.

- En base a las condiciones propuestas para el proceso de producción en el diseño experimental, se obtuvo harina a partir de arveja madura.
- Los resultados promedio de las propiedades físicas de la arveja son:
Porción comestible y no comestible

Peso comestible en 100 gramos de muestra (g)	Porción comestible en 100 g de muestra (%)	Peso no comestible en 100 g de muestra (g)	Porción no comestible en 100 g de muestra (%)
55,463	55,463	44,537	44,537

Densidad de la arveja

Masa de arveja (g)	Volumen de agua (ml)	Volumen agua + arveja (ml)	Densidad (g/ml)
10,1238	30	39,1	1,1125

- Los resultados adquiridos en el análisis fisicoquímico realizados en el CEANID de la arveja madura de la comunidad Sivingal, son los siguientes:

Componentes	Resultado
Acidez (como H ₂ SO ₄)	0,17 %
Azúcares totales	2,69 %
Cenizas	1,46 %
Fibra	2,52 %
Materia grasa	0,67 %
Hidratos de carbono	27,55 %
Humedad	47,31 %
Proteína total (Nx6.25)	20,49 %
pH a 20 °C	6,48
Valor energético	198,19

- Según el análisis de varianza que se realizó en el diseño factorial 2*2 en el proceso de escaldado y deshidratado, los factores de tiempo de escaldado y temperatura de secado son significativos para un nivel de confianza de 95 %. El pH depende de tiempo de

escaldado y la temperatura.

- Las variables que se determinaron para las condiciones de operación en el proceso, son las obtenidas de acuerdo al diseño factorial; así también, con ayuda de un análisis sensorial se estableció que el tiempo de escaldado es de un min y la temperatura de secado de 60 °C, son las que mostraron más aceptación por los jueces.
- De acuerdo al balance de materia y energía en el proceso de obtención de harina de arveja madura, se determinó que de 1000 g de arveja madura se obtiene 306,271g de harina de arveja. La energía en forma de calor requerida para este proceso es de 1302,36 Kcal.
- La harina obtenida se clasificó en dos mallas N° 0,5 y 0,25 mm, el 94 % de la harina obtenida presenta una granulometría de 0,25 mm, el 6 % restante tiene una granulometría de 0,5 mm.
- Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos de la harina de arveja madura realizados en el CEANID, son los siguientes:

Parámetros	Resultado
Acidez (como H ₂ SO ₄)	1,17 %
Azúcares totales	3,433 %
Cenizas	2,81 %
Fibra	1,81 %
Gluten humedo	0 %
Gluten seco	0 %
Grasa	1,5 %
Hidratos de carbono	60,56 %
Humedad	10,06 %
Proteína total (Nx6.25)	23,20 %
pH a 20 °C	6,47
Rancidez	Negativo
Valor energético	348,54 Kcal/100 g

- Los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la harina de arveja criolla realizados en el CEANID, son los siguientes:

Parámetro	Resultado
Coliformes totales	< 10 (*) UFC/g
Coliformes fecales	< 10 (*)UFC/g

Mohos y levaduras	$4,0 * 10^1$ UFC/g
-------------------	--------------------

- La evaluación sensorial de aplicación de la harina realizada al producto final “harina de arveja madura” presentó resultados favorables, siendo el preferido la “tarta” (50 % harina de arveja y 50 % de harina trigo); en segundo lugar está la “pizza” (50% harina de arveja y 50 % harina de trigo) y por último, la pasta (30 % harina de arveja y 50 % harina de trigo).
- Se concluyó que la harina de arveja obtenida experimentalmente, puede ser utilizada para la elaboración de diversos productos culinarios, obteniendo productos de calidad, agrado al público y sobre todo muy nutritivos.

4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar trabajos de investigación a nivel experimental sobre la aplicación de la harina de arveja en el área de panificación y para uso culinario; además, debido a que no contiene gluten puede ser utilizada para celíacos.
- Implementar productos hechos de harina de arveja en el desayuno escolar, canastas alimentarias para personas de la tercera edad y mujeres en estado de gestación, e incentivar al consumo de estos productos a deportistas, por sus elevados contenidos de fibra y proteína.
- Realizar estudios a la cáscara de arveja, para implementar en la harina del grano, o también para suplemento alimenticio de animales ya que posee propiedades nutritivas similares al grano.
- Implementar el laboratorio de Operaciones Unitarias de la U. A. J. M. S., de equipos como secadores de aire forzado, molino de martillos o cereales, para la realización de investigaciones futuras.

Bibliografía

1. **Rita María Godoy Gaitán (noviembre 2010)**. Análisis químico, evaluación sensorial y valor proteico de una galleta de harina de trigo (*Triticum Aestivum*) y harina de arveja dulce (*Pisum Sativum*). Fecha de consulta 15 de junio de 2016.
2. **Infojardin**. Guisantes verdes, Guisante, Arveja, Arvejas, Chícharo, Chícharos. Fecha de consulta 28 de junio 2016.
3. **Carranza, V., Patricia**. Alimentos ricos en carbohidratos. Derivados de cereales. Fecha de consulta 20 de junio de 2016.
4. **Granería el Corralón. (2015)**. Alimentos Bio, sin gluten y malagueños. Fecha de consulta 20 de junio de 2016.
5. **Meval verde. (2016)**. Harina de guisantes. Fecha de consulta 20 de junio de 2016.
6. **Valiente, A., (1994)**. Problemas de Balance de Materia y Energia en la Industria Alimentaria. LIMUSA, S.A. de C.V. México D.F.
7. **Smith, M. J., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., (2005)**. *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. Editorial McGraw Hill Book Company Inc., septima edición México D. F.
8. **Cengel, Y. A., Boles, M. A., K., (2004)** *Termodinamica* Hill Book Company Inc., segunda edición México D. F.
9. **Precio de Harina de Arveja Goya**. Harina Goya. Fecha de consulta 22 de agosto de 2017.
10. **Precio de Harina de Arveja WARMI**. Harina de arveja Warmi. Fecha de consulta 22 de agosto de 2017.
11. **Tabla peruanas de composición de alimentos**. Tabla de alimentos. Fecha de consulta 18 de junio de 2016
12. **Depósitos de documentos de la FAO**. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Fecha de consulta 18 de junio de 2016.
13. **Ficha técnica**. Productos frescos y verduras. Fecha de consulta 19 de junio de 2016.
14. **Control de calidad de los alimentos**. Fecha de consulta de 18 de junio de 2016
15. **González, D., Enrique, D**. Operaciones culturales, recolección, almacenamiento y envasado de productos.. fecha de consulta 22 de agosto de 2017

16. **Alasino, María Celia; Sabbag, Nora Guadalupe; Costa, Silvia Claudia; Andrich, Oscar Daniel; de la Torre, María Adela; Sánchez, Hugo Diego. (2008)**-Panificación con harina de arvejas (*Pisumsativum*) previamente sometidas a inactivación enzimática / Inactivated pea flour (*Pisumsativum*) in bread making.
17. **Alasino, María, C.** El Litoral | Información General Miércoles 27.01.2010Elaboran panes más nutritivos con harina de arveja.
18. **Becerra, R., Carolina A.**Estudio Experimental de la Desactivación de la Enzima Peroxidasa Durante el Proceso de Escaldado de Papas (*Solanumtuberosum*) y el Almacenamiento a -18°C.
19. **López, M, Neil, M.** Influencia de la concentración Enzimática inicial en la cinética de desactivación térmica de Peroxidasa comercial.
20. **Morales, B., E., F.; Chandia, V., E.; Cisneros, Z., L.**Thermal Inactivation Kinetics of Peroxidase and Lipoxygenase from Broccoli, Green Asparagus and Carrots
21. **Lopez, P., Heberth.**"Estudio de las características reológicas de la mezcla de harina de trigo (*Triticumaestivum*), con harina de cebada (*Hordeumvulgare*) y arveja (*Pesiumsativum*) para la elaboración de pan de molde integral"
22. **Alasino, María, C.; Osella, Carlos, A.; de la Torre, María, A.; Sánchez, Hugo, D.**Efecto de Oxidantes y Emulsionantes sobre la Calidad del Pan elaborado con incorporación de Harina de Arvejas (*Pisumsativum*) inactivadas Enzimáticamente.
23. **Bolsas de plástico.** <https://www.embalajesterra.com/blog/bolsas-de-polietileno-propiedades-usos/>

