

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Elaboración de Sopa Instantánea a Partir de Harina de Fréjol”

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previa a la Obtención del Título de:

INGENIEROS DE ALIMENTOS

Presentado por

MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ ECHEVERRÍA

HERMAN EDUARDO SÁNCHEZ SILVA

Guayaquil - Ecuador

2011

AGRADECIMIENTO

Al Dios todopoderoso, por mostrarme el camino y darme las fuerzas necesarias para lograr una importante meta académica.

A mis amados padres por ser mi apoyo en todo momento, fueron mi inspiración a lo largo de mi vida universitaria, a mi padre Eduardo Sánchez que me mostró con su ejemplo que los sueños se hacen realidad, a mi mami Vilma Silva por su trabajo incansable, y luchar por verme realizado profesionalmente. En mis hermanos encontré las fuerzas para seguir, donde destaco a mi hermana Elizabeth por siempre creer en mí,

también a mi ñaña Adriana, aunque estés lejos siempre fuiste mi motivadora en los momentos difíciles, a mis hermanos menores Gaby y Chelo por su gran cariño y alegría que transmiten. Menciono a mi amada Tita, por su paciencia a través de estos años de estudio, ahora esta ilusión se hizo realidad.

Al Ing. Vinicio Márquez por compartir sus conocimientos y ayudarme en los inicios de mi carrera. A Pedro y Calixto por ser amigos incondicionales. A mi compañero de tesis por su apoyo y perseverancia para realizar este sueño.

A la familia García Rodríguez por siempre haberme acogido en su hogar como parte de su familia. A los muchachos de Megacom por haberme dado su ayuda en mis largas investigaciones. A la Ing. Fabiola

Cornejo por compartir su tiempo y conocimientos, que junto a la Ing. Grace Vásquez hicieron posible que este proyecto se haga realidad.

SÁNCHEZ SILVA HERMAN EDUARDO

AGRADECIMIENTO

A DIOS Y A MIS PADRES, HERMANOS,
ESPOSA E HIJOS POR SU AMOR
INFINITO.

MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ ECHEVERRÍA

DEDICATORIA

AL DIOS TODOPODEROSO

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

A MIS AMIGOS

SÁNCHEZ SILVA HERMAN EDUARDO

DEDICATORIA

A TODOS AQUELLOS QUE SUEÑAN CON
EL TITULO DE LA ESPOL QUE NUNCA
DESPIERTEN COMO LO HICE YO.

MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ ECHEVERRÍA

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTORA DEL PROYECTO
DE GRADUACIÓN

Ing. Grace Vázquez V.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de este INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Miguel Ángel López Echeverría

Herman Eduardo Sánchez Silva

RESUMEN

El frejol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa de origen andino que forma parte del régimen alimenticio de las diferentes regiones del Ecuador, en donde se consume de forma integral. Dado a su alto potencial nutricional, es importante incrementar su consumo y diversificar su uso como ingrediente en el desarrollo de productos alimenticios.

El presente proyecto se enfoca en la elaboración de sopas instantáneas a partir de la harina de fréjol y, para ello, se cree necesario conocer las características físicoquímicas de la materia prima. Se elaborará, posteriormente, las isotermas de absorción de la leguminosa, que proporcionarán una aproximación a la cantidad de energía necesaria para su deshidratación. Luego se realizará el secado donde la temperatura y la velocidad del aire marcarán la forma, la calidad y el tiempo en que se llevará

a cabo este proceso. Como parte de esta investigación, también se prepararán diversas formulaciones para ser evaluadas en función de las características sensoriales (sabor, textura) y sus propiedades de rehidratación que nos darán las pautas de selección. Finalmente la estabilidad del producto terminado se analizará, a través del tiempo, bajo diferentes condiciones de almacenamiento como indicador de vida útil, también con su correspondiente isoterma de absorción.

Al término de este trabajo, se pretende obtener sopas instantáneas de fréjol con un alto contenido proteico, de fácil preparación, lo que se traducirá en un esfuerzo físico mínimo requerido en su reconstitución, una vez que se adicione agua o leche para su dilución y se someta a cocción.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
1. GENERALIDADES.....	3
1.1 Materia prima.....	3
1.1.1 Cultivos y Disponibilidad	3
1.1.2 Composición Química y Valor Nutricional	5
1.2 Proceso de Secado	6
1.3 Sopas instantáneas	12
1.3.1 Tipos y características.....	12

1.3.2 Ingredientes y especificaciones	13
1.3.3 Proceso de Elaboración	14
1.3.4 Principales Alteraciones	15
1.4 Rehidratación de polvos	15
CAPÍTULO 2.....	17
2. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA HARINA	17
2.1 Características de Materia Prima.....	17
2.2 Metodología de trabajo	19
2.2.1 Ensayos Físico-Químicos.....	19
2.2.2 Secado	22
2.3 Isotermas de Sorción	23
2.4 Proceso de secado	25
2.4.1 Curvas de secado	27
2.5 Caracterización de la harina	29
CAPÍTULO 3.....	32

3. OBTENCIÓN DE SOPAS INSTANTÁNEAS A BASE DE HARINA FRÉJOL (<i>Phaesolus Vulgaris</i>).....	32
3.1 Ingredientes	32
3.2 Formulaciones	34
3.2.1 Evaluación Sensorial.....	36
3.2.2 Aporte Nutricional y Energético.....	37
3.2.3 Rehidratación	39
3.3 Estabilidad	41
3.3.1 Determinación de humedad crítica.....	41
3.3.2 Elaboración de Isotherma del producto terminado.....	44
3.3.3 Calculo de Permeabilidad al vapor de agua en empaque	45
CAPÍTULO 4.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
APÉNDICES	50
BIBLIOGRAFÍA.....	61

ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
g	Gramo
g/ml	Gramo por mililitro
h	Hora
Kg	Kilogramos
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
ml	Mililitro
mm	Milímetro
min	Minuto
s	Segundo
µm	micrómetros
%	Por ciento

SIMBOLOGÍA

A	Área
b.h	base húmeda
Dpsup	Diámetro Superior
t	Tiempo
Δt	Diferencial de tiempo
Δx	Diferencial de Humedad libre
X	Humedad libre en gramos
Xt	Humedad en Base seca
X*	Humedad en equilibrio
Wi	Peso Inicial de la Muestra
Ws	Peso de sólidos secos
mi	Humedad inicial
me	Humedad de equilibrio
mc	Humedad crítica pH
pH	Potencial de Hidrógeno
HR	Humedad Relativa
aw	Actividad de agua
g	Gramos
s.s	Sólidos secos
Rc	Velocidad de Secado
Po	Presión de vapor
b	Pendiente de la isoterma

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cambio de peso durante un proceso de secado [9]	7
Figura 1.2 Contenido de humedad en función del tiempo de secado [9].	9
Figura 1.3 Curva de velocidad de secado [10].....	10
Figura 1.4 Diagrama de Flujo de elaboración de Sopa.....	14
Figura 2.1 Estado de madurez del fréjol	18
Figura.2.2 Equipos utilizados para medir pH y humedad.....	21
Figura. 2.3. Secador horizontal experimental	22
Figura 2.4. Isotherma de Desorción de fréjol a 25°C, presión a 1 atm.....	24
Figura 2.5 Humedad libre vs Tiempo	27
Figura 2.6 Velocidad de secado vs Humedad libre.....	28
Figura. 2.7 Equipo de tamizado	30
Fig. 3.1 Isotherma de adsorción de fréjol.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

VALOR NUTRICIONAL DEL FRÉJOL.....	6
Características Fisicoquímicos del fréjol.....	21
PARÁMETROS DE SECADO.....	23
DATOS PARA CURVA DE SECADO.....	26
Análisis de granulometría de la harina de fréjol.....	30
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS.....	31
FORMULAS 1, 2 PARA SOPA.....	34
COMPARACIÓN DE USO DEL ALMIDÓN Y FREJOL.....	35
DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN.....	36
INFORMACIÓN NUTRICIONAL.....	39
CAPACIDAD ABSORCIÓN DE H ₂ O y OT DE GELATINIZACIÓN.....	40
Contenido de Humedad para las pruebas de la determinación de Humedad crítica.....	42
CONSISTENCIA A 40°C.....	43
Datos para el cálculo de permeabilidad.....	46

INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país que tiene potencial para convertirse en productor de alimentos procesados, aprovechando la demanda de consumidores a nivel mundial están en busca de nuevos productos que sean nutritivos y de fácil preparación. El objetivo de este proyecto es desarrollar una sopa instantánea, de excelente condiciones sensoriales y realizar estudios de estabilidad para garantizar su adecuada conservación.

En este trabajo se utiliza el fréjol por ser un alimento autóctono que se emplea en diferentes platos tradicionales. El fréjol se distingue por su sabor agradable y alto valor proteico, por lo cual, se lo denomina como la “carne vegetal.

Para lograr los objetivos propuestos de este proyecto, se realizó la caracterización de las materias primas y análisis físico-químicos correspondientes .Luego se obtuvo la curva de secado y su correspondiente

isoterma. Posteriormente se procedió a la obtención de la harina de fréjol con su respectiva caracterización. Además, se dio paso al desarrollo de la formulación, eligiéndose la adecuada a través del análisis sensorial, para finalmente determinar la estabilidad del producto.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1 Materia prima

1.1.1 Cultivos y Disponibilidad

El fréjol es un cultivo que aparte de su buen sabor aporta con una alta cantidad de nutrientes proteicos. Esta leguminosa procedente de una planta herbácea es conocida también como frijol, poroto, habichuela, judía entre otros [1].

Su nombre científico es *Phaseolus vulgaris* L. especie dicotiledónea, de la familia de las Fabáceas, que además posee sistemas de reproducción autógamas, crecen entre una altura de 45 a 50cm y prospera mejor en suelos fértiles, ligeramente ácidos

y con buena humedad. La planta requiere de altos insumos como fertilizantes, plaguicidas. Por otro lado, se caracteriza por su alta vulnerabilidad a las plagas y enfermedades y por su adaptación a diversos ecosistemas [1].

Cabe mencionar, que las siembras se realizan durante los meses de febrero a abril y de septiembre a noviembre en los valles, mientras que, para las estribaciones de la cordillera se las realiza en los meses de mayo a julio, por lo que de manera general se puede consumir fréjol durante casi todo el año.

De acuerdo a sus hábitos de crecimiento, se distinguen dos tipos: el voluble y el arbustivo. El primero, es sembrado junto al maíz suave de colores canario, rojo, bayo y mixtura, de grano grande o pequeño según la zona. El segundo tipo, son los arbustivos o de mata sembrados mayormente en monocultivo. Los colores más cultivados son rojo moteado, rosado moteado, negro y blanco.

Según el III Censo Agropecuario, en el Ecuador se cosechan 89.789 de las 105.127 hectáreas sembradas de fréjol seco; y 15.241 de las 16.464 hectáreas sembradas con fréjol verde o tierno [2].

Las superficies sembradas se localizan tanto en la Sierra como en la Costa. La producción de fréjol seco se concentra principalmente en las provincias de Imbabura, Azuay, Carchi y Loja; mientras que las provincias de Chimborazo, Guayas y Pichincha se registraron como las zonas más productoras de fréjol tierno [3].

Según el INIAP (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias) la variedad de fréjol voluble conocida como canario es la de mayor demanda, mientras que en las de tipo arbustivo, mayoritariamente sembrada es la denominada cargabello [4].

1.1.2 Composición Química y Valor Nutricional

Los principales componentes del fréjol son los carbohidratos. Una parte de estos son de digestión lenta y otros, fermentables en el intestino grueso. Estos últimos pueden ejercer efectos fisiológicos beneficiosos como controlar los niveles de colesterol y disminuir los factores de riesgo de cáncer de colon [5].

Las leguminosas tienen alto contenido de proteínas, ricas en Lisina, pero deficientes en aminoácidos azufrados (metionina y cisteína).

En cuanto a su contenido de vitaminas, los fréjoles son ricos en folatos que ayudan a reducir el riesgo de una enfermedad cardiovascular. Es significativo también el aporte de tiamina [6]. Además, contiene minerales como el calcio y magnesio como se muestra en la Tabla 1.1

TABLA 1.1
VALOR NUTRICIONAL DEL FRÉJOL

Compuesto	Unidad	Valor por 100gr
Agua	gr	11.9
Energía	Kcal	329
Carbohidratos	gr	58.33
Grasas	gr	0.45
Proteínas	gr	25.33
Fibra	gr	24.9
Cenizas	gr	4
Calcio	mg	131
Hierro	mg	8.7
Magnesio	mg	138
Fósforo	mg	406
Potasio	mg	1346
Sodio	mg	13
Zinc	mg	2.66
Tiamina	mg	0.399
Total de folato	mcg	393

FUENTE: USDA [7]

1.2 Proceso de Secado

El proceso de secado consiste en la remoción de un líquido de un material por la aplicación del calor, llevándose a cabo por evaporación y

no por procesos mecánicos. Este proceso se logra por la transferencia del líquido a un gas no saturado como aire. El objetivo del proceso de secado es detener o disminuir el crecimiento de microorganismo así como las reacciones químicas [8].

En los procesos de secado, los datos se expresan como la variación que experimenta el peso del producto que se está secando con el tiempo (figura 1.1); aunque a veces suelen expresarse en términos de velocidad de secado [9].

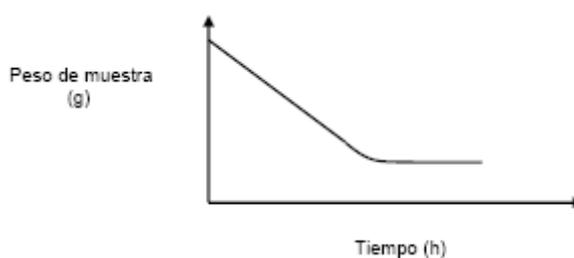


Figura 1.1 Cambio de peso durante un proceso de secado [9]

El contenido en humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos y se expresa como:

$$X_t = (W_t - F_s) / F_s \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

En la que W_t es el peso total de material en un tiempo determinado, siendo F_s el peso de los sólidos secos, y X_t es la humedad expresada como peso de agua/peso de sólido seco. En los procesos de secado una variable muy importante es la denominada contenido de humedad libre, X . El contenido de humedad libre se puede evaluar si se considera el contenido de humedad de equilibrio:

$$X = X_t - X_{eq} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

En la que X_{eq} es el contenido de humedad cuando se alcanza el equilibrio. Una típica curva de secado se obtiene al representar este contenido de humedad libre X frente al tiempo de secado t observar la figura 1.2.

La velocidad de secado R_s es proporcional al cambio del contenido de humedad en función del tiempo (t)

$$R_s \propto dX/dt \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Considerando la curva presentada en la figura 1.2, los valores individuales de dX/dt en función del tiempo, se pueden obtener a partir de la tangente trazada en la curva de X frente a t . Sustituyendo la condición de proporcionalidad en la ecuación 3 por F_s/A , la velocidad de secado se puede expresar como:

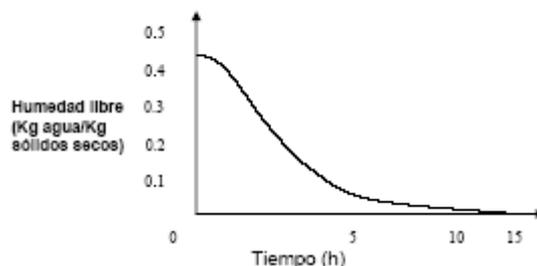


Figura 1.2 Contenido de humedad en función del tiempo de secado [9].

$$R_s = -(FS/A_1)(dX/dt) \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

Donde R es la velocidad de secado y A_1 es el área de la superficie donde tiene lugar el secado. Al representar R_s frente a t se obtiene una curva similar a la que se muestra en la figura 1.2.

El proceso de secado en un material puede describirse por una serie de etapas en las que la velocidad de secado juega un papel determinante. La figura 1.3 muestra una típica curva de velocidad de secado, en la que los puntos A y A' representan el inicio de secado para un material frío y caliente. El punto B representa la condición de temperatura de equilibrio de la superficie del producto. El tiempo transcurrido para pasar de A o A' a B suele ser bajo y a menudo se desprecia en los cálculos de tiempo de secado [9].

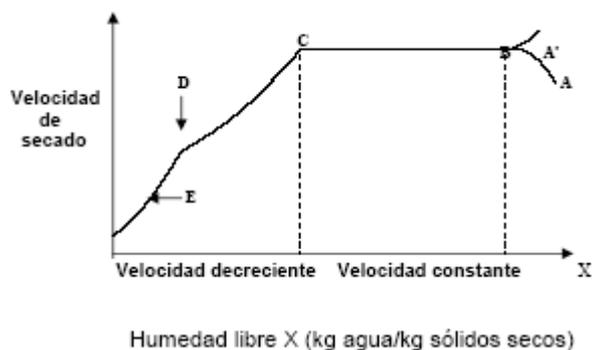


Figura 1.3 Curva de velocidad de secado [10].

El tramo de la curva B-C es conocido como periodo de velocidad constante de secado y está asociado a la eliminación del agua no ligada del producto, en el que el agua se comporta como si el sólido no estuviera presente. Al inicio la superficie del producto se encuentra muy húmeda, presentando una actividad de agua cercana a la unidad [9].

En los sólidos porosos el agua eliminada en la superficie es compensada por el flujo de agua desde el interior del sólido. El periodo de velocidad constante continúa mientras que el agua evaporada en la superficie puede ser compensada por la que se encuentra en el interior. La temperatura en la superficie se corresponde aproximadamente a la de bulbo húmedo. En general, la velocidad de secado se determina por condiciones externas de temperatura, humedad y velocidad de aire [9].

El periodo de velocidad decreciente se da cuando la velocidad de secado ya no se mantiene constante y empieza a disminuir. Además, la actividad de agua en la superficie se hace menor que la unidad. En este caso la velocidad de secado está gobernada por el flujo interno del agua y vapor. El punto C de la figura 4 representa el inicio del periodo de velocidad decreciente. En este punto no hay suficiente agua en la superficie para mantener el valor uno de actividad de agua.

El periodo de velocidad decreciente se puede dividir en dos etapas. La primera de ellas se da cuando los puntos húmedos en la superficie disminuyen continuamente hasta que la superficie está seca completamente (punto D), mientras que la segunda etapa del periodo de velocidad de secado decreciente se inicia en el punto D, cuando la superficie está completamente seca, y el plano de evaporación se traslada al interior del sólido. El calor requerido para eliminar la humedad es transferido a través del sólido en la corriente de aire que va hacia la superficie. A veces no existen diferencias remarcables entre el primer y segundo periodo de velocidad decreciente [9].

1.3 Sopas instantáneas

1.3.1 Tipos y características

Las sopas y cremas se clasifican de acuerdo con su forma de presentación en:

a) Sopas o cremas deshidratadas, instantáneas

Son productos que no requieren cocción y para su ingestión sólo requieren la adición de agua de acuerdo con las instrucciones para su uso.

b) Sopas o cremas condensadas o concentradas

Hacen referencia a productos líquidos, semilíquidos o pastosos que después de la adición de agua, producen preparaciones alimenticias.

c) Sopas o cremas deshidratadas

Hacen referencia a productos secos que después de su reconstitución y cocción, de acuerdo con las instrucciones para su uso, producen preparaciones alimenticias.

d) Sopas o cremas listas para consumo

Son productos que no necesitan cocción y para su ingestión solo se requiere de calentamiento, si está indicado en las instrucciones de uso.

1.3.2 Ingredientes y especificaciones

Según la NTC (Norma Técnica Colombiana) define las sopas y cremas como: productos elaborados a base de mezclas de cereales y sus derivados, leguminosas, verduras, pastas, carnes en general incluyendo las de aves, pescados y mariscos, leche y sus derivados, y/o ingredientes característicos de su nombre (vegetales, especias, condimentos), con la adición o no de condimentos y/o sustancias saborizantes, grasas comestibles, cloruro de sodio, especias y sus extractos naturales o destilados u otros productos alimenticios que mejoran su sabor, y aditivos tales como los que se encuentran permitidos, o por la reconstitución y cocción de una mezcla equivalente de ingredientes, de acuerdo con las instrucciones para su uso [11].

Las especificaciones que deben cumplir las sopas y cremas permite máximo 14.0 g de sodio por litro de producto preparado, también las que son elaboradas con base en granos de cereales

y leguminosas secos, se permite un contenido de humedad hasta de 11% m/m [11].

1.3.3 Proceso de Elaboración

La figura 1.4 muestra el diagrama de flujo de elaboración de sopa de fréjol



SOPA DE FRÉJOL

Figura 1.4 Diagrama de Flujo de elaboración de Sopa

1.3.4 Principales Alteraciones

Las características con mayor sensibilidad a los cambios en estos productos proteicos y con presencia de grasas, son: rancidez, acidez, color y viscosidad, de ahí la necesidad de conocer hasta que grado las alteraciones limitan el consumo del producto. Las propiedades reológicas se revisten de importancia al incidir directamente en los aspectos sensoriales de la población a la que va. Debido a que este tipo de producto, atraviesa por el proceso de secado por aire caliente, la temperatura del aire influye no sólo en el tiempo de secado, sino en las reacciones degradativas que afectan las propiedades organolépticas y el valor nutricional de los mismos.

1.4 Rehidratación de polvos

Algunos alimentos deshidratados enteros, en trozos o pulverizados, deben ser rehidratados para su consumo o uso posterior en diferentes procesos. Es por ello, que el estudio de la transferencia de materia ocurrida durante el fenómeno de rehidratación es importante, por ejemplo, para el caso de la leche en polvo. Ésta no solo debe disolverse rápidamente, sino que también se debe formar una solución uniforme de características parecidas en lo posible a la leche fresca [12].

Hay dos tipos de factores que influyen sobre el proceso de rehidratación:

- Factores extrínsecos
- Factores intrínsecos

En cuanto al primero, se puede encontrar que el pre tratamiento al secado, el método de secado, la temperatura y velocidad de secado además de la temperatura de almacenamiento marcan una tendencia en el comportamiento de los alimentos en el proceso de rehidratación. De acuerdo a lo que tiene que ver con los agentes internos, se puede mencionar el líquido de rehidratación, la temperatura de la solución y las características del producto [12].

Dentro del fenómeno de la rehidratación existen tres procesos simultáneos: a) La absorción del agua dentro del material deshidratado, b) La lixiviación de solutos y c) El hinchamiento del material, donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño o volumen inicial [12].

CAPÍTULO 2

2. PROCESO DE OBTENCIÓN DE LA HARINA

2.1 Características de Materia Prima

En el presente trabajo se utilizó como materia prima el fréjol de la variedad Imbabello (INIAP 411) cuya principal característica es la coloración rojo moteado. En el laboratorio, la semilla fue sacada de sus respectivas vainas, donde se procedió a pesar los desperdicios y la leguminosa con un rendimiento de $56.81\% \pm 3$.

Con las semillas se realizó una papilla, la misma que se utilizó para los diferentes análisis descritos más adelante. Para la elaboración de la harina se trabajó con las semillas cuyo grado de maduración que oscile entre el segundo (4675 U) y tercero (500 U). Esto se determinó comparando la coloración externa de las semillas del fréjol con la cartilla

de colores Pantone Matching System. Todo este proceso se realizó debido a que el estado de maduración del grano se relaciona con su coloración externa, como se puede apreciar en la (Figura 2.1).



Figura 2.1 Estado de madurez del fréjol

Dentro del grupo de las leguminosas y el fréjol en particular presenta una digestibilidad más baja que otras proteínas de origen vegetal, debido a una serie de componentes calificados como factores anti nutricionales que producen graves trastornos gastro-intestinales. Estos pueden clasificarse como termolábiles y termoestables. Los factores termolábiles incluyen: los oligosacáridos, taninos y fitatos. Entre los factores termoestables se encuentran las lectinas e inhibidores de tripsina. El remojo previo y la ebullición prolongada constituyen el mejor método para disminuir estos trastornos, quedando solo la hemicelulosa de la fibra que puede intervenir también como causante de flatulencias [13].

2.2 Metodología de trabajo

Tanto a la materia prima como al producto terminado, se le aplicaron los respectivos análisis con la finalidad de obtener un producto que cumpla con las características físico-químicas y organolépticas requeridas por los consumidores. Luego, se realizó la elaboración de la isoterma, para conocer las condiciones en que se llevaría a cabo el proceso de secado, para finalmente efectuar el análisis granulométrico.

2.2.1 Ensayos Físico-Químicos

Una vez obtenida la semilla se procedió a determinar su humedad, aw, cenizas, % acidez titulable y pH. Cada uno de estos aspectos se realizaron por triplicado. También se determinaron grasas, carbohidratos y proteínas en el producto terminado haciendo uso de los siguientes métodos:

a. Determinación de Humedad y Aw:

Se empleó el Método AOAC 934.01 para determinar la humedad inicial del fréjol. Este método utiliza una balanza de determinación de humedad equipado con una luz infrarroja, donde se lee directamente el contenido de humedad. Para medir la actividad de agua, se empleó el equipo Aqualab Water Activity meter.

b. CENIZAS

El contenido de cenizas en la muestra se lo obtuvo de acuerdo a las especificaciones AOAC 22.018 para la determinación de la materia insoluble. La determinación de cenizas se define como el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento.

c. % Acidez titulable

Se realizó de acuerdo al procedimiento de la AOAC 942.15 (2000). Los resultados se evaluaron utilizando la media y expresados como % de acidez en base al ácido oleico.

d. Variación de pH

Se realizó de manera directa a través del método de la AOAC 994.18 (1995), utilizando un potenciómetro de electrodo, previamente calibrado, a temperatura ambiente. En la tabla 2 se presenta los resultados físico-químicos del fréjol.

Tabla 2
Características Físico-químicas del
fréjol

Características Físico-químicas	
pH	6.96
Acidez	0.42
% Humedad	54.42
Aw	0.981
Cenizas	3,8

Elaborado por: Herman Sánchez y Miguel López, 2010

En la figura 2.2 se muestran algunos de los equipos utilizados. Las especificaciones de los equipos empleados para el análisis se muestran en el apéndice A.



Figura.2.2 Equipos utilizados para medir pH y humedad

e. DETERMINACIÓN DE GRASAS

Se lo realizó en el extractor tipo Soxhlet de acuerdo al método oficial de la AOAC 14.059 (1960). Para efectuar el procedimiento

descrito, se utiliza sistemas semiautomáticos de acuerdo a las especificaciones del equipo.

f. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS

Para efectuar el procedimiento kjeldahl de acuerdo al método de la AOAC 2.057 (1980) podrán utilizarse sistemas automáticos o semiautomáticos de acuerdo a las especificaciones del equipo.

2.2.2 Secado

El secado de las semillas se llevó a cabo mediante un secador horizontal experimental marca gunt hamburg modelo CE 130 (figura. 2.3).



Figura. 2.3. Secador horizontal experimental

La materia prima se secó en forma de papilla sobre las 4 respectivas bandejas, y se tomó el peso cada 5 minutos además la temperatura, velocidad del aire, y humedad relativa como se observa en la tabla 3.

Tabla 3
PARÁMETROS DE SECADO

Área de secado (m²)	0,504
T de Trabajo (°C)	51±2
Humedad relativa	18±4
Velocidad del aire	0,66±3

Elaborado por: Herman Sánchez y Miguel López, 2010

El tiempo requerido para que la semilla llegara a peso constante fue de 6 horas.

Después de esta operación se colocó el material tratado en recipientes para su posterior análisis físico-químico.

2.3 Isotermas de Sorción

Para la realización de las isotermas se empleó el método directo que consistió en la aplicación de un Agente Deshidratante como la sílica gel.

Las isotermas se realizaron a una temperatura constante de 25°C colocándolas en una incubadora y realizándola por triplicado. Se

seleccionó sílica gel para generar actividades de agua, que fueron medidas a través del Aqualab.

Una vez obtenido los datos de forma experimental, se procedió a ingresar los datos (Apéndice B) en el programa Water Analyzer, el cual ajusta la isoterma al modelo de GAB; Para obtener la isoterma de Desorción (Figura 2.4); con un índice de correlación de datos, $R^2 = 0.9770594$ que nos da un nivel de confianza razonable, de semejanza al modelo requerido.

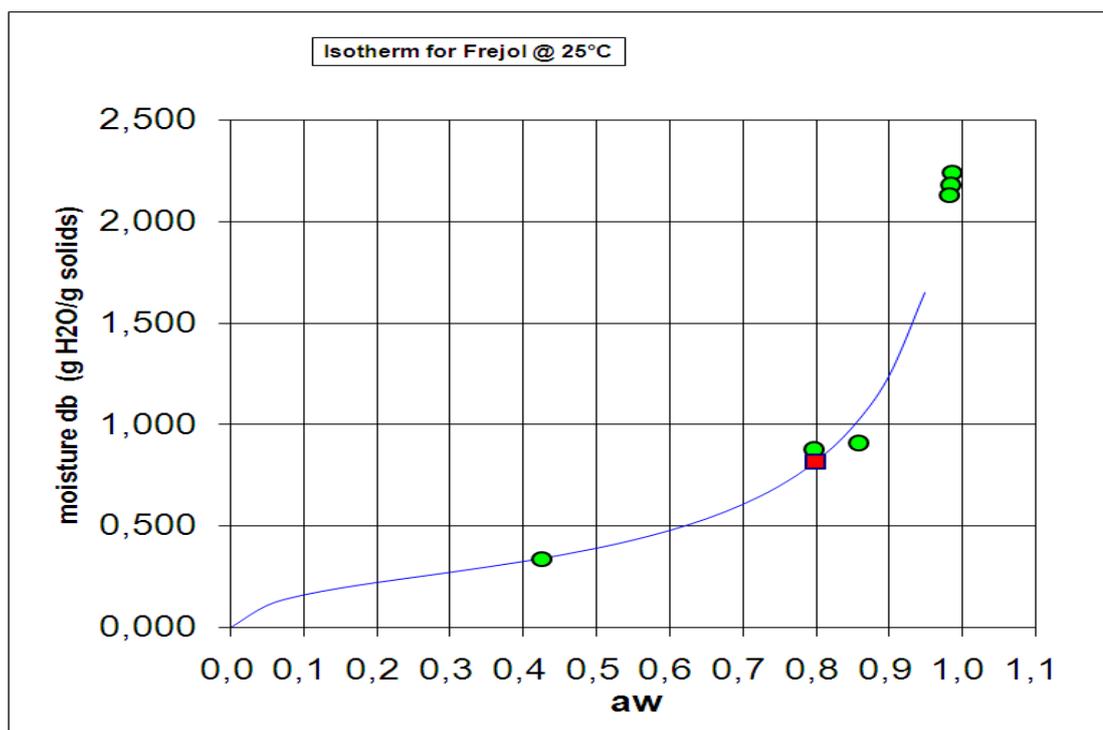


Figura 2.4. Isotherma de Desorción de fréjol a 25°C, presión a 1 atm

Esta isoterma presenta forma sigmoïdal del tipo II característico de los alimentos ricos en almidón, con dos porciones de distinta concavidad. Se aprecia una tendencia exponencial hasta una a_w alrededor de 0,70. Esto se debe a que los poros del alimento no han sufrido contracción. La segunda parte de la curva comienza a aplanarse hasta una a_w cercana a 0,4. En esta parte el agua fue retenida por condensación capilar. Después de este periodo se observan pequeños deltas de humedad, debido a la no presencia de agua en forma líquida (vapor). En esta parte de la isoterma se calculó el valor de la monocapa de BET siendo este de 0.0403 g H₂O/g s.s.

2.4 Proceso de secado

Hay dos parámetros que son fundamentales en un proceso de secado como son la temperatura y la velocidad del aire. Estos variarán de acuerdo a la muestra que se vaya a secar y el tiempo que se quiera emplear. Además, con la humedad relativa promedio se entró por la gráfica de la isoterma en el eje de la x (a_w) y se determinó que la humedad de equilibrio para el fréjol fue de 0.25 g H₂O/g s.s. Los principales valores citados se reportan en la tabla 4. Además los datos obtenidos durante el proceso de secado del fréjol se muestran en el Apéndice C.

Tabla 4
DATOS PARA CURVA DE SECADO

Muestra Inicial W(g)	1350
Base seca de la muestra Ws (g)	408.915
Humedad de equilibrio (g H ₂ O/g s.s)	0.25
Área de secado	0.5

Elaborado por: Herman Sánchez y Miguel
López, 2010

Los datos obtenidos en el estudio se utilizaron para encontrar la velocidad de secado en cada periodo y en primer lugar se utilizó la Ecu 1.1, donde se determinó la humedad en base seca. Luego para encontrar la humedad libre en cada intervalo de tiempo se utilizó la Ecu. 1.2. Finalmente cada uno de estos datos se reemplazó en la Ecu. 1.4 para obtener las curvas de secado. A partir de estos cálculos se elaboraron dos tipos de gráficos:

- Humedad libre vs Tiempo
- Velocidad de Secado vs Humedad libre

2.4.1 Curvas de secado

Perdida de Humedad libre vs Tiempo

En la siguiente gráfica se puede observar la tendencia de Reducción de la humedad en el tiempo de acuerdo a la gráfica

2.5

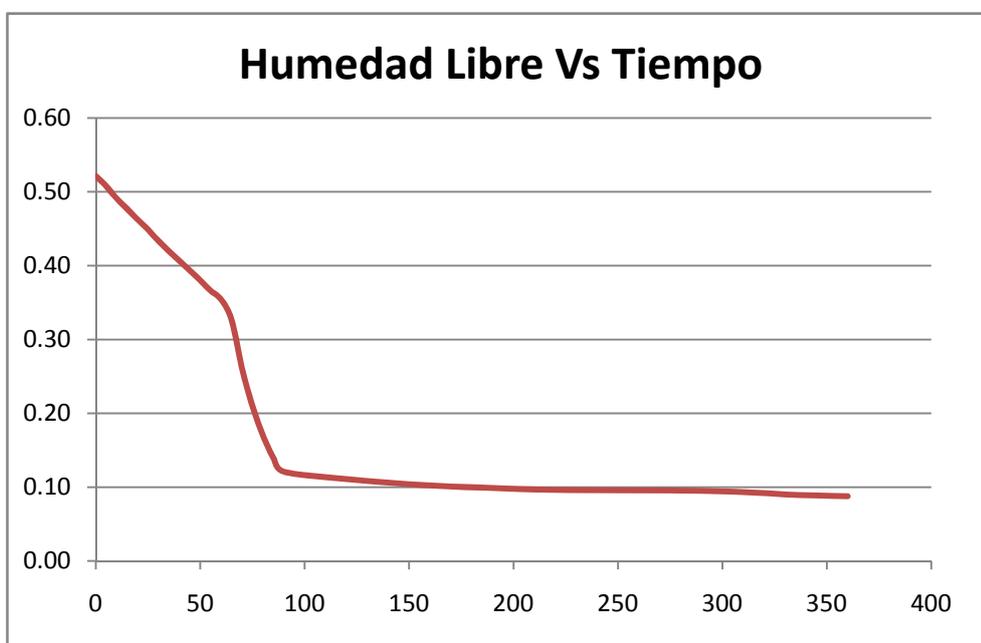


Figura 2.5 Humedad libre vs Tiempo

Como se observa en la figura en los primeros 70 minutos del proceso se produce una disminución significativa de la humedad del sólido. Esta disminución es inferior a la mitad del valor de humedad inicial del sólido.

Por otra parte la caída de humedad del sólido es mucho más moderada (menor pendiente) a partir de los 70 minutos de secado.

Velocidad de Secado vs Humedad libre

Se determinaron los cambios de la velocidad de secado de acuerdo a la humedad libre del sólido como se observa en la figura 2.5. Esta gráfica refleja el paso del sólido por distintos periodos a medida que la humedad libre del sólido se reduce desde 1.77 kg de agua /kg s.s. hasta el valor final de 0,03215 kg de agua/kg s.s.

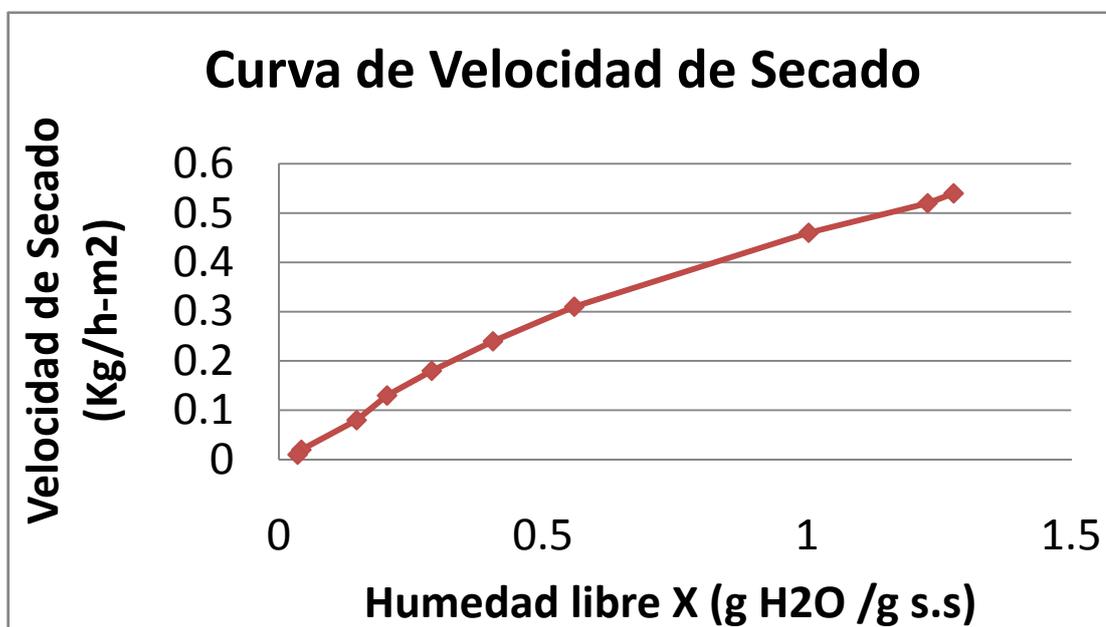


Figura 2.6 Velocidad de secado vs Humedad libre

Al analizar la curva de secado se puede notar que no existe velocidad constante. Esto se da porque en granos, el contenido de humedad inicial es usualmente menor que el contenido de humedad crítica, de tal manera que todo el secamiento ocurre en el periodo de velocidad decreciente [14].

El periodo de secado de velocidad decreciente está controlado principalmente por el producto e involucra un movimiento de humedad dentro del material hacia la superficie por difusión y remoción de humedad de la superficie [14].

2.5 Caracterización de la harina

La harina de fréjol es un producto crema, fino, que se obtiene del secado y molienda de las semillas de la leguminosa. Para conocer el tamaño de partícula se determinó su granulometría.

a. Granulometría

Este análisis se realizó por medio de un juego de tamices marca Tyler de varios micrajes, el cual se muestra en la figura 2.7.



Figura. 2.7 Equipo de tamizado

La malla superior utilizada corresponde al N0.50 a continuación la No. 70, 100, 140 y 200. Las respectivas aperturas de malla se muestran en el Apéndice D. El proceso de tamizado se llevó a cabo en 10 minutos. Después se pesó la muestra retenida en cada malla.

En la tabla 5, se registran los resultados del análisis granulométrico realizado a la harina obtenida.

Tabla 5
Análisis de granulometría de la harina de fréjol

Clase	Malla	ΔX	Dp media	Xi	D Reboux
1	50	0.12	0.25	1	
2	70	0.2	0.17	0.87	
3	100	0.16	0.12	0.67	
4	140	0.34	0.08	0.51	
5	200	0.07	0.03	0.16	
Fondo		0.08			0.11
Total		1			

Elaborada por: Herman Sánchez y Miguel López, 2010

b. Características físico-químicas

El pH, la humedad y las cenizas de la harina se determinaron por métodos de la AOAC, al igual que la materia prima. La medición de pH y de humedad se realizó utilizando un potenciómetro y una balanza de lámpara infrarroja respectivamente; mientras que, la determinación de cenizas, se realizó por calcinación en mufla.

Estos análisis físico-químicos se realizaron por duplicado y los resultados promedios de la harina estudiada se resumen en la tabla 6.

Tabla 6
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Ph	6.82±0.3
Acidez	0.42±0.2
% Humedad	4.66±0.5
Aw	0.2±0.3
Cenizas	3,1±0.2

Elaborada por: Herman Sánchez y Miguel López, 2010

CAPÍTULO 3

3. OBTENCIÓN DE SOPAS INSTANTÁNEAS A BASE DE HARINA FRÉJOL (*Phaesolus Vulgaris*)

3.1 Ingredientes

HARINA DE FRÉJOL

El principal ingrediente de nuestro producto es la harina de fréjol que fue oportunamente caracterizada en el CAPÍTULO anterior. Es importante recordar que el diámetro medio de partículas fue de 0.11 mm.

SAL

La sal está formada por cloruro y sodio que intervienen en los equilibrios del líquido del organismo junto con el potasio. Se utilizó la marca Ecuasal

AJO

Especia natural deshidratada, obtenida de los bulbos sanos, limpios, desecados y molidos del "Allium sativum L". La marca utilizada fue Badia.

CEBOLLA

Las características químicas de la cebolla deshidratada en polvo son color blanco, olor típico con una humedad de 6,5 % sin aditivos. Se empleó el producto de la empresa Badia.

PIMENTÓN

El pimentón es un condimento en polvo de color rojo y sabor característico obtenido a partir del secado y molido de determinadas variedades de pimientos rojos. La empresa que elabora este producto es Mc Cormick.

LECHE

En la elaboración de la sopa, se utilizó leche entera de vaca en polvo la cual posee en su composición malto dextrina, azúcar, carbonato de calcio, fosfato férrico.

3.2 Formulaciones

Con la finalidad de obtener un producto agradable para los consumidores, se llevaron a cabo varias formulaciones a las cuales se le cambiaron las proporciones de los ingredientes como harina de fréjol, sal y especias.

Para las formulaciones se realizaron algunas pruebas preliminares tomando como referencia los resultados de Pacheco [13], utilizando como ingrediente principal la harina de fréjol deshidratada como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7
FORMULAS 1, 2 PARA SOPA

Ingredientes	FÓRMULA 1	FÓRMULA2
Harina de fréjol	39%	64.32%
Leche en polvo	19.90%	24.74%
Almidón	24.84%	-
Sal	7.74%	8.74%
Comino	2.79%	0.33%
Pimentón	1.29%	0.65%
Ajo	0.21%	0.05%
Glutamato	1.77%	0.41%
Orégano	1.56%	0.63%
Albahaca	1.12%	0.18%
TOTAL	100%	100%

Elaborado por: Herman Sánchez, Miguel López,
2010

En las pruebas iniciales, la sopa tenía un sabor no característico debido a la leche que por su resabio y olor natural no permitía desarrollar el

gusto característico del fréjol, por lo que se eliminó este ingrediente. Para la obtención de la textura deseada se llevaron a cabo varias formulaciones. En la tabla 8 se encuentra las distintas proporciones utilizadas y de acuerdo a la evaluación realizada, se asume que la combinación de la fórmula 4 nos da la consistencia similar a la del producto casero

Tabla 8
COMPARACIÓN DE USO DEL ALMIDÓN Y FREJOL

FORMULA N	Harina Fréjol	Almidón	Leche
1	39,00%	24,84%	19,90%
2	64,32%	-	24,74%
3	74,57%	10,44%	-
4	81,66%	9,22%	-
5	72,19%	19,49%	-

Elaborado por: Herman Sánchez, Miguel López, 2010

En las fórmulas siguientes se mejoraron aspectos como el color y el sabor. Debido al proceso de secado la harina presentaba un color no característico del producto, por lo que se añadió un colorante natural como el pimentón para corregir esta situación. Además, se eliminó, el comino y orégano, porque a pesar de ser utilizados en pequeñas cantidades dejaban un sabor residual fuerte. En su defecto se eligió la albahaca por tener un gusto suave y los consumidores la asocian con el producto que se está desarrollando.

En la tabla 9 se detalla en forma secuencial las diferentes formulaciones. La formula 6 fue desechada por tener un sabor a cebolla. Las fórmulas con las que finalmente se logró un mejor sabor fueron la 7 y la 8. Por lo cual, fueron sometidas a una evaluación sensorial para determinar cuál es la más aceptada por los consumidores.

TABLA 9
DESARROLLO DE LA FORMULACIÓN

Ingredientes	FÓRMULA 1	FÓRMULA 2	FÓRMULA 3	FÓRMULA 4	FÓRMULA 5	FÓRMULA 6	FÓRMULA 7	FÓRMULA 8
Harina de	39,00%	64,32	74,57	81,66	72,19	79,48	81,87	78,71
Leche	19,90%	24,74	0	0	0	0	0	0
Almidón	24,84%	0	10,44	9,22	19,49	9,02	8,93	8,91
Sal	7,74%	8,74	8,75	8,72	7,78	8,89	7,99	11,17
Comino	2,79%	0,33	1,49	0	0	0	0	0
Pimentón	1,29%	0,65	0,1	0,16	0,15	0,27	0,32	0,32
Cebolla	-	-	0,1	0,1	0,02	1,59	0,1	0,1
Ajo	0,21%	0,05	0,09	0,04	0,06	0,11	0,52	0,53
Glutamato	1,77%	0,41	1,49	0	0,01	0,02	0,08	0,08
Orégano	1,56%	0,63	2,98	0	0	0	0	0
Albahaca	1,12%	0,18	0	0,11	0,29	0,64	0,2	0,19
TOTAL	1	100	100	100	100	100	100	100

Elaborado por: Herman Sánchez, Miguel López 2010

3.2.1 Evaluación Sensorial

De las formulas desarrolladas se escogieron las formulaciones 7 y 8, debido a que estas pruebas lograron cubrir los parámetros sensoriales y nutricionales.

Estos resultados fueron sometidos a una evaluación sensorial a fin de determinar si existía diferencia significativa entre ellas. Para realizar dicha prueba se reclutó a 30 panelistas no entrenados entre la edades de 20 a 60 años, a los que se les presentó una escala hedónica de siete puntos .La encuesta entregada a los panelistas se muestra en el Apéndice E. Los datos obtenidos fueron procesados mediante el método de t-student para determinación de diferencias significativas entre muestras con un nivel de significancia de 0,5%.

El análisis estadístico de los datos indica que si existe diferencia significativa en las formulaciones entre las muestras. Por lo tanto la fórmula 7, fue la que tuvo mayor aceptación por los jueces. Los valores encontrados se lo muestran en el Apéndice F.

3.2.2 Aporte Nutricional y Energético

Debido al secado que fue sometido la leguminosa el contenido de humedad disminuyo de 69,76% a 4,66% lográndose una disminución significativa en el producto final. El contenido de humedad puede estar afectado por la variedad y el tiempo de almacenamiento. El contenido de proteínas es típico del fréjol común, por lo tanto se lo considera como una fuente importante

de proteínas. En países subdesarrollados se convierte en el sustituto de la carne. Además cuando se consume el fréjol entero hay una disminución de la digestibilidad de la proteína por la rigidez y resistencia de las paredes celulares del grano (15). El contenido de lípidos en las semillas de fréjol es bajo pero esto es suficiente para la formación de complejos almidón- lípidos que inhiben la retro degradación del almidón, pero son menos susceptibles a la acción de las enzimas digestivas. Los carbohidratos constituyen la fracción principal en granos (50.7% peso seco), entre los polisacáridos más importantes encontramos el almidón (40% peso seco) compuesto mayormente por amilosa, pared celular (fibra dietética) y los oligosacáridos (16). Según investigadores el almidón de una leguminosa es de baja digestibilidad, debido a que generan respuestas glucémicas bajas. El almidón resistente junto con la fibra dietética pasan al intestino grueso donde son fermentados, generándose ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (16). Estos AGCC unido con la velocidad y el nivel de digestión del almidón afectan diversas funciones fisiológicas y tienen efectos benéficos en la salud tales como la reducción de la respuesta glucémica e insulinémica al alimento, un efecto hipocolesterolémico y además en unión con los oligosacáridos disminuyen el riesgo de cáncer de colon (16)

(6).Por otra parte en los minerales es conveniente mencionar que el magnesio ejerce un efecto protector contra la hipertensión (6) y la presencia de hierro en el fréjol hace importante su consumo en niños de corta edad, ancianos y vegetarianos .Es importante recordar, que la pérdida de vitaminas y minerales se produce por su solubilidad alta en H₂O y el tratamiento térmico que deteriora las vitaminas. Durante la cocción por 30 minutos aproximadamente se pierde gran parte de vitamina C, folatos y en una proporción menor los retinoides. La información nutricional del producto se encuentra detallada en la siguiente tabla.

Tabla 10
INFORMACIÓN NUTRICIONAL

Compuesto	Unidad	Valor
Energía	Kcal	322
Agua	g	4.66
Carbohidratos	g	50.7
Proteínas	g	21
Grasas	g	4
Fibra total	g	21.2
Ceniza	g	3.1

Elaborado por: Herman Sánchez,
Miguel López, 2010

3.2.3 Rehidratación

El proceso de rehidratación de polvos se llevó a cabo de la siguiente manera: Se tomaron 4 beakers y se utilizaron diferentes relaciones harina- agua (p/v). Se agita vigorosamente y se deja

reposar por 5 min. Luego se realiza un calentamiento por 10 min, se deja enfriar y se coloca en sus respectivos tubos de ensayo poniéndolo en la refrigeradora a 40°C por 2h. Finalmente se anotaron cada una de las observaciones realizadas por duplicado como se muestran en la tabla 11.

Tabla 11
CAPACIDAD ABSORCIÓN DE H₂O y ⁰T DE GELATINIZACIÓN

Muestra	Relación harina:agua (p/v)	Capacidad Absorción H ₂ O (27°C)	⁰ T inicial gelatinización	Capacidad Absorción H ₂ O (93°C)	Usos
1	1:3	Total	67±2	Total	Demasiado grumoso
2	1:5	Total	70±1	Total	Compota, dips
3	1:10	Separación Parcial	73±2	Total	Crema
4	1:12	Separación Parcial	74±1	Total	Sopa
5	1:14	Separación Parcial	75±1	Separación Parcial	Demasiado fluido

Elaborado por: Herman Sánchez, Miguel López, 2010

Se puede observar 2 grupos de acuerdo a su capacidad de absorción de agua a 27°C. En el primero, encontramos a las muestras 1 y 2 que forman una solución uniforme. Esto se produce debido al almidón dañado durante la molienda (17). Se puede resaltar que la muestra 2 puede ser utilizada para compota y dips. Al segundo grupo pertenecen las muestras 3, 4 y 5 donde se observó la separación de cada una de ellas a ⁰T ambiente. Los

que presentaron consistencias de crema y sopa fueron las muestras 3 y 4 respectivamente.

3.3 Estabilidad

3.3.1 Determinación de humedad crítica

Cuando la muestra es sometida a diferentes humedades relativas se analizan las degradaciones que afectan al producto, por lo tanto, la humedad crítica se define como el punto en el cual el alimento pierde calidad nutricional, microbiológica o sensorial. El consumidor se transforma en el juez para elegir si es apto para su compra o consumo.

El experimento consistió en someter las muestras de sopa deshidratada convencionalmente a la reacción frente al vapor de agua. Para lograr este propósito, se utilizó el baño maría a 100 °C, por determinados lapsos de tiempo procediéndose inmediatamente a pesar y observar la apariencia del producto, hasta determinar que el producto no es aceptable sensorialmente.

Se definió un contenido de humedad como inaceptable en el cual el producto presenta una mayor grumosidad y un cambio de

color. La siguiente tabla muestra el porcentaje de humedad en base seca de las muestras seleccionadas para el estudio.

Tabla 11

Contenido de Humedad para las pruebas de la determinación de Humedad crítica

Contenido Humedad	%Xf	g/ g s.s.
Patrón	4.66	0.0488
A	9.86	0.1094
B	11.38	0.1284
C	11.9	0.1351
D	14.17	0.1651
E (Inaceptable)	28.1	0.3908

Elaborado por: Herman Sánchez, Miguel López, 2010

A, B, C, D, E =muestras expuestas al vapor en diferentes tiempos

Las primeras dos muestras tienen semejanza en apariencia a la muestra original. La grumosidad se empieza a observar ligeramente en la C pero más notoria es en la muestra D. que tiene una apariencia más desagradable y grumosa comparada con las otras muestras. Se puede decir que a partir de la muestra C se define la humedad crítica. De acuerdo a lo anterior se define a la humedad crítica en Guayaquil en 0.1351 g/g s.s. con una actividad de agua de 0.56.

Para determinación de los efectos de la cantidad de humedad ganada en la consistencia del producto se utilizó el consistómetro de Bostwick. Para determinar la consistencia se evaluó la distancia en cm, recorrida por la sopa de fréjol en 20 segundos. Las pruebas se efectuaron por duplicado, los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12
CONSISTENCIA A 40°C

Muestra Patrón	Consistencia (cm/20seg) 11.04±0.01
A	13.52±0.03
B	13.73±0.02
C	14.51±0.04
D	18.01±0.05
E	20.07±0.01

Elaborado por: Herman Sánchez y Miguel López, 2010

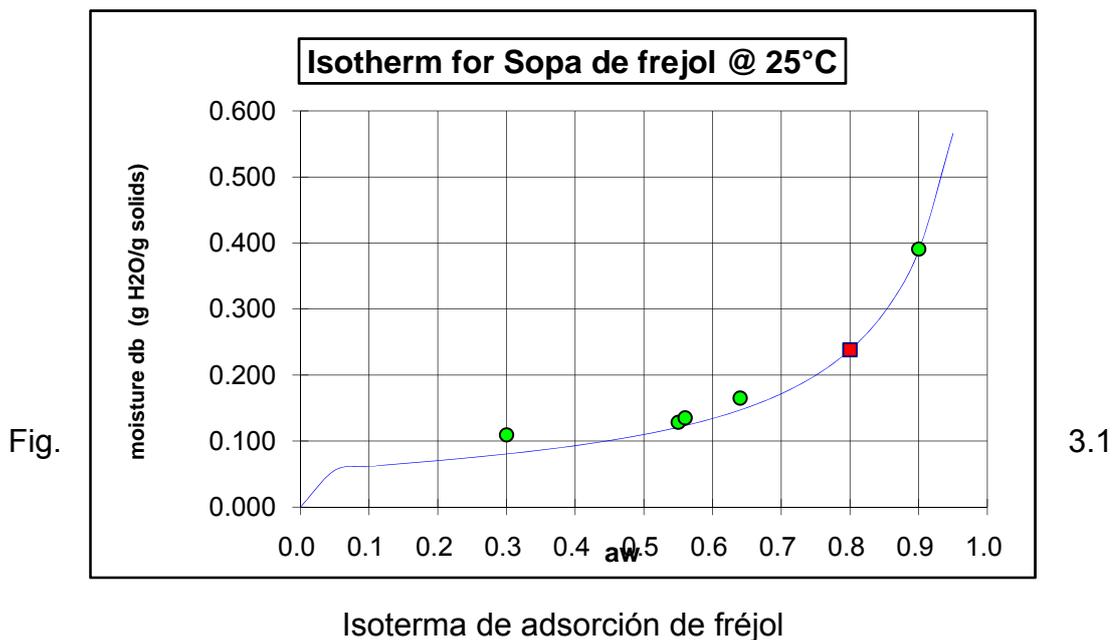
Las muestra A y B conservaron la forma de gel acompañadas de una pequeña exudación de agua, pero, sin daños a su estructura. Esto sucede porque mientras menos humedad captada del ambiente tenga la muestra, más rápida será su gelatinización y menor será su retro degradación.

A partir de la muestra C empieza una ruptura en la formación del gel. En la muestras D y E hay una mayor exudación de agua. Esto afecta la viscosidad de preparación del producto para ser consumido, teniendo una consistencia más ligera, sin llegar al

nivel de espesamiento o gelatinización que proporcionan los almidones al producto.

3.3.2 Elaboración de Isotherma del producto terminado

Las isotermas de absorción fueron construidos a partir de la ecuación de GAB por la combinación del contenido de humedad (g/g en base seca) de producto y un rango de actividades de agua definidas por la exposición de la muestra al vapor de agua en el baño maría, mediante el programa Water Analyzer. La isoterma es una herramienta valiosa porque proporciona información para la selección del material de empaque, la predicción de la vida útil del producto y en la determinación de la estabilidad de un alimento. En la figura 3.2 se nota que la forma de la isoterma es una “S alargada”. Esto se debe a la estructura porosa del alimento, por a la presencia de almidones en el producto. En el Apéndice G se muestran los datos experimentales de humedad en equilibrio.



El valor de la monocapa de BET en la sopa de fréjol es de 0.0723 g H₂O/g s.s, con un R²= 0.97534

3.3.3 Cálculo de Permeabilidad al vapor de agua en empaque

El envasado de un alimento por un periodo prolongado es parte integral de una cadena de producción, así como el proceso de abastecimiento con alimentos de alta calidad. Esta vida útil del producto se controla por tres principales factores: características del producto, condiciones de almacenamiento y distribución así como las propiedades del envase. En lo que refiere a las características del producto es importante el conocimiento de las

reacciones deteriorativas, tales como: cambios químicos, físicos y microbiológicos. Los cambios físicos que se presentan en el producto incluyen endurecimiento, pérdida de solubilidad, pérdida de capacidad de retención de agua, estos se encuentran entre los más importantes. En el contexto del envasado, el control de humedad es la medida más importante para prevenir los cambios físicos mencionados. Debido a que la permeabilidad al vapor de agua del empaque plástico influye considerablemente en la vida útil de los productos secos, existe un método matemático que permite cuantificar el requerimiento de barrera al vapor de agua del alimento [19]. Los datos que se presentan en la tabla se tomaron en condiciones ambientales de Guayaquil (30 °C, 85%HR)

Tabla 13
Datos para el cálculo de permeabilidad

H inicial	0.0514 g H ₂ O/g s.s
H crítica	0.1351 g H ₂ O/g s.s
H equilibrio	0.59 g H ₂ O/g s.s
Presión (25C)	23.75 mm Hg
Área del empaque	0.01 m ²
Ws (sólidos secos)	25.23 g
Pendiente	17.44
Tiempo vida útil	90 días

Elaborado por: Herman Sánchez y Miguel López, 2010

Para determinar la permeabilidad a la transmisión de vapor de agua del producto (k/x) se emplea la ecuación 3.1

$$\ln \tau = \ln \left(\frac{m_e - m_i}{m_e - m_c} \right) = \frac{k}{x} \frac{A}{W_s} \frac{P_o}{b} \theta \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde se utiliza el tiempo de vida útil (θ), el área de los empaques de prueba (A) ver Apéndice I, el peso seco del producto contenido (W_s), la presión de vapor de agua a la temperatura $^{\circ}T$ (P_o), b es la tangente entre la humedad crítica y la humedad inicial de la isoterma de adsorción, con sus respectivas actividades de agua. Los cálculos se encuentran en el apéndice J.

El valor encontrado de permeabilidad (k/x) fue de 1.77×10^{-4} , esto indica que el producto requiere un empaque que posea una alta barrera al vapor de agua. Esta permeabilidad máxima requerida de la sopa de fréjol es mayor que la encontrada para café liofilizado [18]. Se recomienda el empaque tipo laminado 1, que está formado por polietileno, adhesivo, aluminio, adhesivo, tinta, polipropileno, porque esto le proporciona una mayor barrera de protección a la transmisión de vapor de agua [18].

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. En esta investigación se concluye que para la obtención de la harina de fréjol se debe realizar un pre tratamiento previo de la semilla para inhibir factores anti-nutricionales. Los resultados finales arrojan que la humedad inicial es de 65.44% en base húmeda un pH de 6.42 y una actividad de agua de 0.99. El valor de la monocapa de BET fue de 0.0403 kg H₂O/kg s.s. Su humedad de equilibrio es de 0.25 kg H₂O/kg s.s. en base a la isoterma de desorción. Es importante recalcar que en la curva de velocidad de secado, se observa que no existe velocidad constante, Esto se da usualmente en granos porque el contenido de humedad inicial es menor que el contenido de humedad crítica.

2. Después, en la etapa de molienda y tamizado se determinó que el rendimiento de la harina a partir del fréjol tierno es del 30%. Además, se obtuvo un contenido de humedad del 4.66 un pH de 6.82, un contenido de cenizas de 4.1% y un tamaño de partícula de 0.11mm. De acuerdo a la isoterma de absorción del fréjol se encontró que la humedad de equilibrio es de 0.58 kg H₂O/kg s.s. y el valor de la monocapa fue de 0,0723 kg H₂O/kg s.s. La humedad crítica es de 0.1351 kg H₂O/kg s.s.

3. La sopa de fréjol deshidratada presenta una textura arenosa, esto se debe a que el secado afecta la estructura del almidón. Luego, si se lo almacena en condiciones de humedad elevada, las moléculas se reorganizan y cristalizan formando masas granudas difíciles de disolver.

4. Es importante hacer un estudio acerca de las mejores condiciones de secado para evitar la textura arenosa del producto.

5. Se debe analizar el efecto del proceso de secado en la biodisponibilidad del almidón.

APÉNDICES

APÉNDICE A

WATER ACTIVITY METER: AQUALAB FIMCP- Laboratorio de

Bromatología

Modelo No: Series 3

Compañía: Decagon, USA

Precisión: ± 0.003 aw

Resolución: ± 0.001 aw

Dimensiones: 24.1x22.9x8.9 cm (9.5x9.0x3.5 in)

Ambiente de operación: 5 – 50°C (41 to 122°F)- 20 to 85% Humidity

Rango: 0.030 a 1.000 aw

Capacidad de muestra en el platillo: 7 ml recomendado (15ml full)

Poder universal: 110 V to 220 V AC 50/60 Hz

TAMIZADOR

ICQ- Laboratorio de Química

Modelo: RX 812

Tensión de red: 230 voltios, 50 Hz o 110 voltios, 60 Hz

Reloj programador: 0- 99 minutos – digital

Revoluciones/ min: 280 ± 10

Peso aprox. 28 kg

Emisión de ruido = 70 dBA

Dimensiones: 590x380

BALANZA SECADORA PARA HUMEDAD FIMCP- Laboratorio de

Bromatología

MARCA: KERN

MODELO: MLB 50-3

Lectura: 0.001 g-0.01%

Máxima carga de pesaje: 50g

Cantidad mínima para el secado: 0.02 g

Rango de Temperatura: 50-160

PH METRO

FIMCP- Laboratorio de Bromatología

Modelo: EC-PH 510

Rango: 0.00 to 14 pH

Resolución & Precisión: 0.01 & ± 0.01 pH

mV Rango: ± 199.9 mV ; ± 1999 mV

Rango de Temperatura: 0.0 to 100.0

APÉNDICE B

DATOS DE LA ISOTERMA DESORCIÓN DE FRÉJOL

PUNTO	PESO INICIAL	PESO INICIAL SIN SISTEMA	PESO INICIAL PROMEDIO	PESO FINAL	PESO FINAL SIN SISTEMA	PESO DEL SISTEMA	AW PROMEDIO	HF PROMEDIO	humedad base seca
1		10.0853	10.0673	11.2530	9.8071	1.4459	0.9763	68.92%	2.22
		10.1841		12.0103	9.9339	2.0764			
		9.9324		11.6318	9.6937	1.9381			
2	9.4748	8.0289	8.3849	9.3304	7.8845	1.4459	0.9817	68.31%	2.16
	10.7583	8.6819		10.5926	8.5162	2.0764			
	10.3819	8.4438		10.2078	8.2697	1.9381			
3	8.9963	7.5504	7.8889	8.8324	7.3865	1.4459	0.9803	67.66%	2.09
	10.2604	8.1840		10.1030	8.0266	2.0764			
	9.8703	7.9322		9.7134	7.7753	1.9381			
4	8.3862	6.9403	7.3452	6.4677	5.0218	1.4459	0.7923	42.73%	0.75
	9.7659	7.6895		6.0066	3.9302	2.0764			
	9.3438	7.4057		5.6886	3.7505	1.9381			
5	4.7288	3.4020	3.4380	4.6390	3.1381	1.4459	0.8690	36.78%	0.58
	5.5805	3.6980		5.4958	3.0980	2.0764			
	5.5803	3.2140		5.4921	3.1232	1.9381			

APÉNDICE C
DATOS CURVA DE SECADO DE FRÉJOL

Tiempo (mn)	Peso (g) w	Humeda d base seca (gH ₂ O/g s.s.) X _t =W- W _s /W _s	Humeda d libre X=X _t - X _{eq}	X media	ΔX	Δt	R (KG)
0	1350	2.004	1.774	1.702	-0.144	0.083	1.550
10	1285.4	1.801	1.571	1.542	-0.058	0.083	0.620
15	1259	1.744	1.514	1.480	-0.067	0.083	0.730
20	1233	1.676	1.446	1.426	-0.041	0.083	0.440
25	1202.7	1.635	1.405	1.378	-0.055	0.083	0.600
30	1184.4	1.580	1.350	1.326	-0.048	0.083	0.520
35	1159.6	1.532	1.302	1.277	-0.050	0.083	0.540
40	1138.1	1.482	1.252	1.228	-0.049	0.083	0.520
45	1115.6	1.434	1.204	1.175	-0.057	0.083	0.620
50	1093.8	1.376	1.146	1.130	-0.034	0.083	0.360
55	1068	1.343	1.113	1.086	-0.054	0.083	0.580
60	1052.8	1.289	1.059	1.041	-0.035	0.083	0.370
65	1028.6	1.254	1.024	1.003	-0.043	0.083	0.460
70	1013	1.211	0.981	0.956	-0.050	0.083	0.540
75	993.8	1.161	0.931	0.913	-0.037	0.083	0.400
80	971.3	1.125	0.895	0.877	-0.035	0.083	0.380
85	954.8	1.089	0.859	0.753	-0.214	0.083	2.300
90	939	0.876	0.646	0.559	-0.174	0.5	0.310
120	843	0.702	0.472	0.405	-0.134	0.5	0.240
150	765	0.568	0.338	0.289	-0.098	0.5	0.180
180	704.6	0.470	0.240	0.204	-0.071	0.5	0.130
210	660.7	0.399	0.169	0.147	-0.044	0.5	0.080
240	628.6	0.355	0.125	0.098	-0.054	0.5	0.100
270	609	0.301	0.071	0.059	-0.024	0.5	0.040
330	584.7	0.277	0.047	0.042	-0.010	0.5	0.020
390	573.9	0.267	0.037	0.035	-0.005	0.5	0.010
450	569.6	0.263	0.033	0.016	-0.033	0.5	0.060

Elaborado por: Herman Sánchez y Miguel López ,2010

APÉNDICE D

**TABLA DE ABERTURA DE MALLAS Y EL NÚMERO MESH DE
LOS SISTEMAS ASTM, TYLER, BRITISH STANDARD**

Sieve opening (mm)	USA standard ASTM E 11-61	Mesh number Tyler (mesh/in.)	British standard (mesh/in.)
0.037	400	400	—
0.044	325	325	—
0.045	—	—	350
0.053	270	270	300
0.063	230	250	240
0.074	200	200	—
0.075	—	—	200
0.088	170	170	—
0.090	—	—	170
0.105	140	150	150
0.125	120	115	120
0.149	100	100	—
0.150	—	—	100
0.177	80	80	—
0.180	—	—	85
0.210	70	65	72
0.250	60	60	60
0.297	50	48	—
0.300	—	—	52
0.354	45	42	—
0.355	—	—	44
0.420	40	35	35
0.500	35	32	30
0.595	30	28	—
0.600	—	—	25
0.707	25	24	—
0.710	—	—	22
0.841	20	20	—
1.00	18	16	16
1.19	16	14	—
1.20	—	—	14
1.41	14	12	—
1.68	12	10	10
2.00	10	9	8

APÉNDICE E

FICHA PARA LA EVALUACIÓN SENSORIAL:

ESCALA HEDÓNICA DE 5 PUNTOS

PRODUCTO:

FECHA:

Por favor, pruebe las muestras e indique su nivel agrado marcando en la escala con una X.

Toma en cuenta que tú eres el único juez que puedo decir lo que te gusta.

VALOR	DESCRIPCION	AX1	GJ1
5	Me gusta mucho		
4	Me gusta		
3	Ni me gusta ni me disgusta		
2	Me disgusta		
1	Me disgusta mucho		

Comentarios:

¡MUCHAS GRACIAS!

APÉNDICE F

Calificaciones otorgada por los jueces a las sopas instantáneas

X	Y	ED	D2
6	2	4	16
5	3	2	4
3	5	-2	4
4	6	-2	4
3	6	-3	9
5	3	2	4
4	5	-1	1
6	5	1	1
4	6	-2	4
6	7	-1	1
7	4	3	9
4	6	-2	4
5	6	-1	1
6	5	1	1
5	7	-2	4
6	5	1	1
5	6	-1	1
7	6	1	1
5	3	2	4
5	6	-1	1
5	3	2	4
5	4	1	1
4	7	-3	9
4	6	-2	4
3	5	-2	4
4	5	-1	1
3	5	-2	4
3	4	-1	1
4	6	-2	4
1	2	-1	1
137	149	12	108

Datos :

$$\square D=12$$

$$\square D^2=108$$

$$N=30$$

$$d= 0.4$$

$$S=0.35$$

$$T=1.697$$

Se debe obtener el promedio de los totales, el cual resulta de la división de suma total de resultados para el número de jueces, mediante la siguiente ecuación :

$$d = \frac{m1}{n} - \frac{m2}{n}$$

Estos datos se utilizan en la fórmula de análisis de varianza que se muestra a continuación:

$$S = \frac{\sqrt{\epsilon D^2 - \frac{\epsilon D^2}{n}}}{n - 1}$$

El valor que se obtuvo de la tabla t con el 5% de significancia se compara con la siguiente ecuación:

$$\frac{d}{\frac{s}{\sqrt{n}}} > t$$

APÉNDICE G

Muestra	Concentración Final del Agua (Xf) %	Base Seca	Aw	Xf H2O	100-Xf H2O	Base seca	Aw
1	0.0986	0.1094	0.3	9.86	90.14	10.94	0.3
2	0.1138	0.1284	0.5580	11.38	88.62	12.84	0.55
3	0.1190	0.1351	0.5610	11.9	88.1	13.51	0.56
4	0.1417	0.1651	0.6470	14.17	85.83	16.51	0.64
5	0.2810	0.3908	0.9000	28.1	71.9	39.08	0.9

APÉNDICE H

Determinación de la relación Volumen producto versus Empaque

1. Con los diferentes tipos de películas plásticas sencillas y laminadas, se elabora empaques de prueba, de menor volumen que el original.
2. Se determina la densidad de cada producto a ocupar dentro del empaque de la siguiente manera, con una probeta llena hasta un volumen de 50 centímetros cúbicos, se registra el valor de masa en ese determinado volumen.
3. Una vez registrada su masa y el volumen se aplica la fórmula gravimétrica:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

4. El volumen del producto, dentro del empaque es del 75% o 75 cc. Se cuantifica la masa de cada producto en el empaque de la siguiente manera:

$$\text{Masa} = \text{Densidad} * \text{Volumen}$$

La densidad de cada producto, determinada en el paso 3 para un volumen de 75 centímetros cúbicos.

5. Se llena cada empaque con la cantidad de producto determinada en el paso 4, y se sella.

Apéndice I

			% Humedad	Aw
	H.Inicial	mi	0.051	0.07
	H.crítica	mc	0.135	0.564
	H.equilibrio	me	0.59	0.99
In τ	(me-mi/me-mc)		0.1735	
Pendiente	(awc-awi/mc-me)		0.174	
	Ws secos		25.23	
	Tiempo vida útil		90	dias
	Área		0.01	m ²
	Presión		23.756	mmHg
k/x	$\ln \tau / (A/Ws * P_o / b * \theta)$		1.77E-04	

BIBLIOGRAFÍA

1. FAO Tecnologías para la agricultura. Manejo integral del cultivo de frijol poroto (*Phaseolus vulgaris* L.), <http://www.fao.org/teca/content/manejo-integral-del-cultivo-de-frijol-poroto-phaseolus-vulgaris-l>

2. BASE de DATOS CENSO NACIONAL AGROPECUARIO 2000

http://www.inec.gov.ec/web/guest/ecu_est/est_agr/cen_agr

3. Estudio del comportamiento y funcionamiento de la cadena de fréjol en las parroquias de Malacatos y el Tambo de los cantones Loja y Catamayo respectivamente,

http://www.vec.org.ec/fileadmin/CENDOC/Documentos_Institucionales/Informe_cadena_FRÉJOL_FACES.pdf

4. VOYSEST Oswaldo. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L) legado de variedades de América Latina 1930-1999. Publicado por Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2000. 195 páginas. Página 75-76.

5. Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca.

http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0004-6222004000100006&script=sci_arttext

6. Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*): Su aporte a la dieta del costarricense
<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/434/43445307.pdf>

7. USDA Departamento Nacional de Agricultura de Estados Unidos

8. TREYBAL Robert F. Operaciones de transferencia de masa, Editorial McGraw Hill, México 1990, segunda edición.

9. BARBOSA Gustavo V. Canovas. MÉTODOS EXPERIMENTALES DE LA INGENIERÍA ALIMENTARIA, Zaragoza-España 2000, Editorial ACRIBIA S.A

10. BARBOSA Gustavo V. Canovas y Mercado, Humberto. DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS, Zaragoza-España 2000, Editorial ACRIBIA S.A

11. Norma Técnica Colombiana NTC 4482 INDUSTRIAS ALIMENTARIAS SOPAS Y CREMAS, 1998-09-23, ICONTEC

12. La rehidratación de alimentos deshidratados.
http://www.scielo.php?pid=S0717-75182006000500009&script=sci_arttext

13. Schmidt – Hebbel Hermann TÓXICOS QUÍMICOS EN ALIMENTOS, Santiago-Chile 1986, Editorial UNIVERSITARIA

14. Paredes Paredes Antonio Mario “Efecto del Secado Solar natural y del secado indirecto mediante el uso de un colector solar de placa plana sobre el endurecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*)” Magister científico, Universidad de San Carlos Guatemala, 1983.

15. Digestibilidad in vitro del almidón en preparaciones cocidas y molidas de frijol (*Phaseolus vulgaris*. L.).

[Htp://www.redalyc.uaemex.mx/pdf](http://www.redalyc.uaemex.mx/pdf)

16. Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) .[http :www](http://www).

17. T. P Coultate Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos Editorial Acribia, Zaragoza, España Segunda Edición 1998

18. COLOMA J. ÁLVAREZ V. RIGAIL A. CORNEJO F., DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD DE VAPOR DE AGUA MÁXIMA REQUERIDA PARA EL EMPAQUE DE PRODUCTOS SECOS.