INTRODUCCIÓN

El encarecimiento de los alimentos tradicionalmente consumidos, ha llevado al sector agro-industrial ecuatoriano a la investigación de nuevos productos, con características innovadoras, viables y nutricionalmente mejores. Se puede citar como ejemplo para este estudio el trigo, gramínea muy popular por su utilización en la elaboración del pan; el cual presenta un incremento de su demanda y precios, observando que en 1 año estos fueron de $200 a $700 por tonelada del mismo, lo cual nos lleva a indagar nuevas alternativas en su reemplazo.

En la búsqueda de una solución ante lo mencionado, se trató de encontrar una alternativa utilizando el fréjol, que es una leguminosa muy popular y de altísimo contenido nutricional. Enel presentetrabajose tiene como objetivo la investigación de la producción de harina de fréjol, como un sustituyente parcial para la elaboración de pan. Se considera que la utilización del fréjol podría ser muy provechosa con el fin de obtener un producto de mejor valor nutritivo.

Se siguió una metodología en este proyecto, la cual comprende: el estudio de secado del fréjol, la obtención de su harina, búsqueda de la sustitución óptima de esta harina en el pan y finalmente el estudio de estabilidad mediante la textura del pan versus el tiempo.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Materia Prima

Entre las leguminosas más destacadas por su importancia en la dieta alimenticia de Centro y Sur América, está el fréjol; su origen aunque no se ha establecido con certeza, se afirma que puede ser de la parte tropical del suroeste de México, Guatemala, Honduras y una parte de Costa Rica.(1)

El género **Phaseolus** tiene unas 180 especies de ellas el 70% son organismos de América, el 20% de Asia y África. Desde el punto de vista taxonómico, esta especie es prototipo genético del ***PhaseolusVulgaris Lineo.*** Para diferenciar especies se considera características como germinación, forma de semillas, vainas y hojas.

1.1.1. Cultivos y disponibilidad

Gracias a la gran adaptabilidad que posee el fréjol en casi todo tipo de suelo, ha constituido para el Ecuador y los países de bajos recursos, que esta gramínea ocupe el octavo lugar entre las leguminosas sembradas en todo el planeta, razón por la cual es una de las de mayor consumo por su sabor y su grado de nutrientes proteicos y calóricos que aporta en la dieta diaria humana, con la ventaja de tener bajo costo si comparamos con las fuentes calóricas animales.

El cultivo de fréjol en el Ecuador constituye el 0.84% del total de la superficie arable, de las que se logran rendimientos antes mencionados, con un promedio de 0.20 toneladas por hectárea de grano seco, y en grano fresco alcanza 0.62 toneladas por hectárea (2). Las zonas de cultivo de fréjol se localizan a una altura, entre 1000 y 2500 m, en valles y en 800 y 1200 m en las estribaciones. En la Tabla 1 se muestra el porcentaje de producción de este grano en cada provincia.

TABLA 1

CULTIVOS ESPECÍFICOS DE FRÉJOL EN EL ECUADOR

Provincia	Porcentaje de Producción
Chimborazo	17%
Imbabura	17%
Azuay	15%
Loja	13%
Bolívar	12%
Carchi	10%
Otras provincias	16%

Elaborado por: Juan Roldán, (2010).

1.1.2. Composición Química y Valor Nutricional

El fréjol es un grano, cuyas características principales como tal, son las de almacenar principalmente carbohidratos, lípidos y proteínas. Al tener el grano como reserva principal el almidón, se lo considera como una amilácea, seguido de las proteínas. La composición química del fréjol se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FRÉJOL

Componente	%
Agua	10,4
Proteína	22,5
Carbohidratos	61,9
Grasa	1,5
Ceniza	3,7
Fibra	4,2
Energía (Kcal/100g)	351,1

Elaborado por: Juan Roldán (2010).

Es de gran importancia tener un buen conocimiento de la composición química de nuestro producto, ya que dependerá de esto las condiciones de secado y su manera de almacenamiento, tomando como principal actor el porcentaje de agua presente.

Valor Nutricional

El fréjol es una gran fuente de alimentación proteica, que ha servido como recurso en la dieta alimenticia a las poblaciones de bajos recursos económicos. Por otro lado, se ha demostrado que el fréjol además contiene gran cantidad de

compuestos nutracéuticosque varían dependiendo de la especie y color, tales como la fibra, inhibidores de proteasa, ácidofítico, polifenoles y taninos (3).

Algo muy destacable del fréjol es que de acuerdo a su composición tiene de 2 a 3 veces más proteína que los cereales. Además de un alto contenido de minerales, especialmente Fe, Ca y Zn (3). Por otro lado se considera que el fréjol es de valor nutricional pobre en su estado natural (antes de cocción), ya que sus proteínas son inhibidas por tripsinas, taninos y ácidofítico que privan de forma irreversible a las proteasas intestinales, formando complejos con las proteínas, disminuyendo su solubilidad e hidrólisis. Sin embargo, la actividad de los inhibidores puede ser eliminada hasta en un 90% durante la cocción, los taninos y el ácido fítico pueden ser removidos en una buena proporción durante el remojo (3). Citando el caso de nuestra tesis en elaboración de pan, será importante llegar a las temperaturas y tiempos de destrucción de las mismas que son 133°C o 135°C por 10 minutos, para así asegurar una mejor calidad de los nutrientes.

Composición en grasas

Aunque el contenido en grasa del fréjol es bajo (1.5%), tiene un alto porcentaje de fosfolípidos (25-35% del contenido al de grasa), que han demostrado tener un potente efecto hipolipemiante, incluso a bajas concentraciones. El ácido linoléico es el ácido graso más abundante (4).

Composición en micronutrientes

TABLA 3

PORCENTAJE DE MICRONUTRIENTES DEL FRÉJOL

Micronutrientes	% IDR
Tiamina (Vit. B1)	48%
Vitamina B6	31%
Ácido Fólico	99%
Calcio	23%
Magnesio	38%
Fosforo	58%
Potasio	30%
Zinc	28%

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

Composición de carbohidratos

Los carbohidratos son los componentes mayoritarios del fréjol. La mayor parte son carbohidratos complejos, almidón y fibra dietética, mientras que la fracción de azúcares (mono, di y oligosacáridos) es significativamente menor.

Composición de Proteínas

El fréjol común representa una de las principales fuentes de proteínas (20 al 40 %) de bajo costo en la dieta del hombre, lo que contribuye positivamente especialmente en los países donde se limita el consumo de proteína animal. Sin embargo, el nivel de digestibilidad de la proteína oscila entre el 52% y 75 % (5).

1.2. Proceso de secado

El secado es uno de los métodos de conservación de alimentos más antiguos gracias al cual se logra dar estabilidad a los alimentos mediante la extracción parcial de su contenido de agua para evitar el crecimiento de microorganismos que provoquen el deterioro. En este proceso la eliminación del agua se suele dar por evaporación.Puesto

que para una misma humedad absoluta el aire resulta relativamente más seco cuanto más se incrementa latemperatura, el secado por arrastre es a menudo realizado con un chorro de aire caliente.Esta operación tiene unos requerimientos energéticos de unas 600 Kcal kg-1 de agua evaporada (12).

Una vez secos los productos de consumo son más concentrados que cualquier otra forma de producto alimenticio preservado; y presentan muchas ventajas frente a otros productos, entre las cuales están las ventajas técnicas y económicas, alcanzando una vida útil muy superior a la de los productos frescos. Las necesidades y costos de almacenamiento, transporte y distribución son mínimos, principalmente, porque se reduce el volumen y el peso del producto. Además luego del proceso se obtienen productos más estables.

Clasificación de los métodos o variantes de secadoen los alimentos:

Secado con aire caliente: Es el método más convencional, en el cual el alimento entra en contacto con el flujo de aire que ha sido calentado

previamente y ocurre una transferencia de calor, principalmente por convección.

A) Secado por contacto directo: El alimento entra en contacto con una superficie caliente y ocurre una transferencia de calor por conducción.

B) Secado por fuentes calóricas no convencionales: El alimento se somete a radiaciones (que se puede considerar convencional, aunque más se aplica en horneado, con otros fines además de secar); fuentes dieléctricas; microondas, etcétera.(17)

   Se puede seleccionar cualquiera de los métodos mencionados, dependiendo del alimento que se va a secar. Un proceso discontinuo se refiere a un secado semi-continuo en el que se seca cierta cantidad de materia en un flujo continuo de aire; en cambio, en las operaciones continuas, tanto el flujo de aire como el alimento pasan por el secador y tienen contacto entre ellos continuamente.

El Secado y la Calidad de los granos

Es importante que en el secado se tome en cuenta las condiciones del alimento antes del proceso y las condiciones que se desea alcanzar,

por la sensibilidad que pueden tener los compuestos del alimento a las altas temperaturas, ya que no solamente se busca darle estabilidad a un producto sino, en lo posible, tratar de mantener un valor nutritivo aceptable luego de haber pasado por un proceso de secado. Se puede presentar daños visuales como la decoloración, oscurecimiento o fisurado de los granos; daños económicos como el sobresecado.

Para la elaboración de subproductos como harinas, pastas o panes, es importante que los granos hayan tenido un buen proceso de secado, ya que influye en la calidad organoléptica, nutricional y microbiológica de estos alimentos. Un buen secado de los granos garantizará la calidad de sus subproductos. Para una calidad satisfactoria para este proceso industrial se requiere:

- Temperaturas de secado inferiores a 100°C, aunque esos valores varían dependiendo del diseño de la secadora, las condiciones de la temporada, y del tipode grano.
- Caudales de aire no excesivos.
- Métodos de secado aconsejados: seca-aireación, y secado en dos pasadas.
- Cosecha optima del grano a secar.

- Reducir al mínimo el período de pre-almacenamiento antes de secar. (17)

1.3. Productos de Panificación: Pan

1.3.1. Tipos y especificaciones de Pan

El pan ayuda a equilibrar la alimentación y contribuye a cubrir la necesidad de energía y sustancias esenciales para el buen funcionamiento del cuerpo. Cada pan tiene sus singularidades que se deben conocer para saber qué beneficios brinda:

A) Pan blanco: de barra, rústicos y de doble fermentación se elaboran con harina blanca refinada.

B) Pan integral: Se elabora con harina integral, es decir, con el grano entero (excepto la capa más externa), lo cual ayuda a aportar más vitaminas y minerales que el pan blanco.

C) Pan pseudo-integral o de salvado: En su composición se añade salvado en su composición, lo que le da más fibra en comparación al pan blanco, pero tiene un valor nutritivo muy similar.

D) Pan de centeno: Al contener menor cantidad de gluten es más compacto que ya que atrapa mayor cantidad de gas al fermentar.

E) Pan de cereales: se utiliza la sustitución parcial (no inferior al 51%) (6) del contenido total de harina de trigo, con cereales

F) Pan de molde: Es muy similar al pan normal, pero contienen mayor cantidad de grasa para que su sabor sea más agradable al paladar, tienen similar cantidad de calorías que el pan de barra. Su valor nutritivo se puede incrementar si se agrega semillas, nueces, etcétera.

G) Pan sin sal: Lo diferencia la ausencia de sal en su elaboración.

H) Pan de maíz: Se lo labora con harina de maíz, que no contiene gluten, por lo que su textura resulta compacta.

I) Pan no leudado: pan en el cual no se añade levadura, su textura es muy compacta y su digestión es más lenta que la del pan normal.(6)

1.3.2. Proceso de Elaboración del Pan

Pesado: Todos los ingredientes son pesados y colocados en una mezcladora vertical. Cabe recalcar que los pesos de cada ingredientes son importantes para la no alteración de la formula, ni el desbalance de sólidos y líquidos.

Mezcla: El mezclado consiste en la homogenización de los ingredientes. Se realiza colocando y mezclando primero los polvos ingredientes secos, para lograr una mejor uniformidad de la masa. Luego se añade poco a poco el agua y los ingredientes líquidos o semi-líquidos, En esta etapa es importante un tiempo de amasado de 15 a 30 minutos.

Amasado: El objetivo principal consiste en el de desarrollo de una buena estructura de la masa (gluten). En esta etapa también favorece a la dilución e la hidratación de algunos ingredientes, incorporar aire a la masa para reacciones de oxidación y actividad de la levadura.

División de la Masa: Etapa en la que se consigue el tamaño y peso de la base del producto final que se requiere.

Boleado y Pre-moldeo: Consiste en dar forma de bola al fragmento de masa; se realiza para recuperar la retención gaseosa y reconstituir ladeformada en la división. Se lo realiza estirando la masa con movimientos rotatorios desde la superficie de la masa hasta su base, Se produce una capa seca en las piezas individuales con el fin de admitir un formado suave y que no se produzcan desgarrosen la masa al pasar por la formadora.

Primera Fermentación: El objetivo del reposo o fermentación es que la masa recupere la elasticidad del gluten después de la división y del boleado**.** El tiempo de fermentación a elegirse depende de las características reológicasrequeridas, pero normalmente es de 30 a 40 min. Esta fase influye en la estructura alveolar del producto terminado. Es necesario que no aumente la temperatura en la cámara o zona de fermentación a más de 30 °C. (8)

Moldeado: Posterior a la fermentación se realiza el moldeo con el objetivo de dar la forma final del pan. En este paso

también se desprende cierta cantidad de CO_2 producida anteriormente.

Segunda Fermentación: Aunque la fermentación empieza durante el amasado y termina en el horno cuando éste llega a los 55°C. El objetivo de la fermentación es producir un aumento de volumen de la pieza, darle de textura fina y ligera y de aromas. Durante la fermentación, el almidón que es degradado mediante la acción de las enzimas se transforma en glucosa. La glucosa es metabolizada por las bacterias lácticas y levaduras, resultante de lo cual se obtiene el ácido pirúvico, que mediante glicólisis se transforma en etanol, ácido láctico y ácido acético.

Horneo: Los recipientes o latas son llevados a un horno para que la masa sea horneada. Esta es la parte más importante del proceso de producción. La temperatura del horno debe ser de aproximadamente 170°C (8), lo cual transformará a la masa en un producto ligero, agradable y apetecible.

Enfriamiento: Cuando el pan es retirado del horno, debe ser enfriado, antes que sean cortados y empaquetados. Esta etapa es crítica en el proceso ya que podría haber contaminación con el medio ambiente.

Empaque: El empaque deberá ser de caracterizas impermeables para que el pan no pierda sus atributos de calidad

1.4. Principales Alteraciones Fisicoquímicas y Microbiológicas

Alteraciones Físico-Químicas

Las alteraciones físico químicas del pan empiezan después que comienza el enfriamiento.Las características del pan evolucionan hacia a lo que denominamos endurecimiento, que es un fenómeno a parte de la deshidratación. A lo largo de este proceso, los productos de aroma y sabor de la corteza, difunden hacia la miga y viceversa, produciendo una alteración de sabor. Esta alteración también puede darse por oxidación, o incluso ser involucrados en complejos con el almidón Esta formación de complejos es parcialmente reversible, ya que el pan recalentado recupera algunas de sus características de pan fresco. Estos cambios son acompañados de modificaciones de las

características del pan: la corteza brillante, firme y crujiente se vuelve apagada y flexible; la miga translúcida, tenaz y flexible, pasa a apagada, opaca, dura y friable. (18)

Este tipo de alteraciones se pueden dar por las siguientes razones:

- El contenido de agua libre se pierde buscando un equilibrio con el medio ambiente.
- La degradación del almidón forma complejos cristalinos que son los que van endureciendo el pan.
- La evaporación por migración de humedad a la corteza que después se endurece por pérdida de humedad.

Alteraciones Microbiológicas

Los productos de panadería y repostería están exentos de microorganismos viables tras realizar un proceso de horneado. Su contaminación se produce antes del envasado, a través del entorno que los rodea, como el aire, las superficies de contacto y su manipulación. Las principales alteraciones microbiológicas de estos alimentos se deben al desarrollo en su superficie de colonias de mohos y levaduras en su superficie.

Alteración por Mohos.- El pan fresco que sale del horno sale libre de mohos y esporas gracias a la inactivación térmica del horneado, pero inmediatamente se convierte en un medio de cultivo óptimo sobre el que se depositan y se multiplican las esporas que se encuentran en la atmosfera que las rodea, en el rebanado envasado y almacenamiento.

Los factores fundamentales son la humedad no mayor al 90%, la temperatura también es una influencia importante en la reproducción de mohos, siendo el valor óptimo para la mayoría de especies 30 °C. Así también los valores de pH para el crecimiento de estos es de mínimo 1,5 – 3,5; optimo 4,5 – 6,8 y un máximo de 8 – 11(7).

Alteración Microbiana.- El ahilamiento o encordamiento es una alteración del pan y de otros productos de panadería que tienen la humedad relativa de equilibrio alta, esto es mayor a 90%. Es causado por una variante mucoide de *Bacillussubtilis*o *Bacilluslincheniformis.* Las condiciones que alteran esto son:

1. Un periodo lento de enfriamiento por encima de 25 C
2. pH mayor a 5
3. Un elevado nivel de esporas y un pan húmedo

Alteraciones por levaduras.- Muchos de los olores anómalos del pan cuando son debidos al encordamiento, están asociados a las levaduras. La contaminación con levaduras salvajes es rara en panes elaborados según un proceso corto, pero puede suceder en algunas ocasiones cuando se emplean masas o esponjas de fermentación prolongada. Las levaduras, al igual que los mohos no sobreviven al horneado, pero el pan pude contaminar con ellas durante las operaciones de enfriado o rebanado. Hay dos tipos principales de levaduras implicadas en la alteración del pan: las levaduras fermentativas y las levaduras filamentosas. Las primeras fermentan los azucares desarrollando un olor anómalo “alcohólico”. Las segundas las denomina” mohos lizosos” pero el más común y problemático es *Pichiaburtonii* que tiene la aptitud de crecer rápidamente sobre el pan y se ha comprobado que es más resistente a los conservantes y a los desinfectantes que muchos otros mohos (8).

CAPÍTULO 2

2. PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINAS

2.1 Características de Materia Prima

La materia prima utilizada fue el fréjol (*PhaseolusVulgaris Linneo)* de la variedad llamada en el Ecuador como Cargabello o rojo moteado. El cual fue adquirido en el Mercado Local.

Primero se realizó la elección y clasificación de la materia prima según el estado de madurez del grano (1). Para esto se procedió a dividir los granos por color empleando una cartilla de Color- Pantone[1], como se muestra en la Tabla 4 y en la Figura 1.

1 Pantone*Color Specifier 100/Uncoated*

TABLA 4

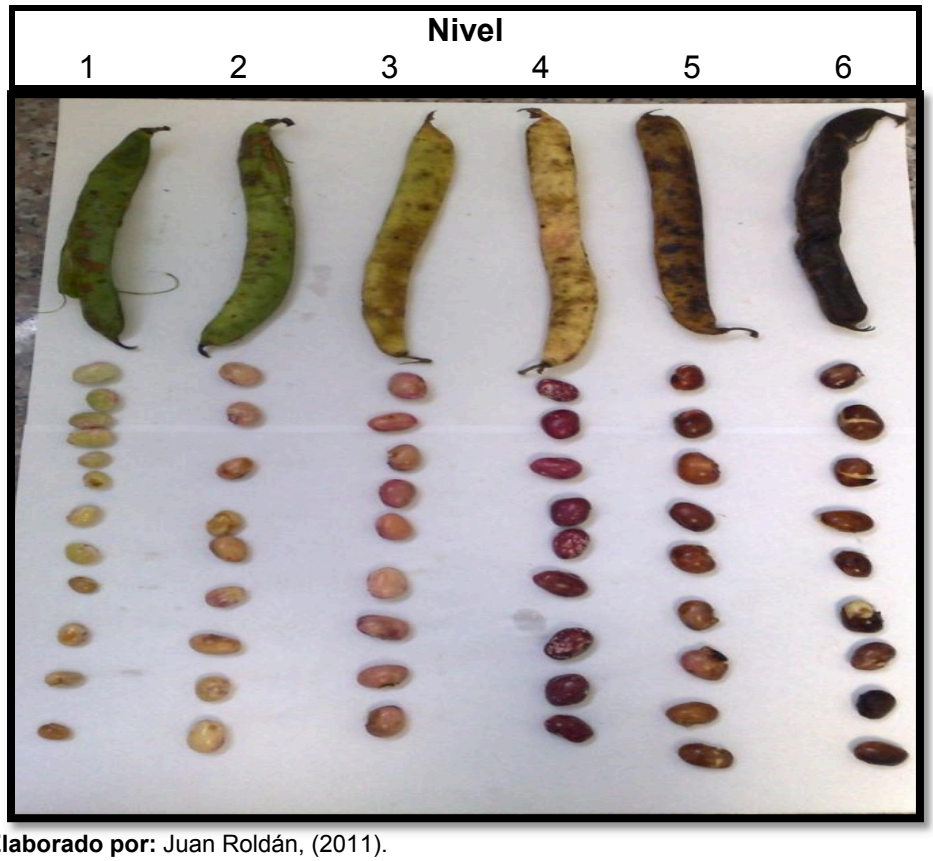
ESTADOS DE MADUREZ DEL FRÉJOL

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Color	459U–461U	4755U–4675U	5035U–5005U	1955U – 202U	1815U–1675U	4975U – 471U

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

FIGURA 1

ESTADOS DE MADUREZ DEL FRÉJOL



Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

A partir de estos datos se escogieron los granos del nivel 3 y 4 de madurez para trabajar en el proyecto. En el nivel 3 y 4 el estado de madurez es el óptimo y los granos han alcanzado su máximo tamaño. Según el peso de la vaina y el grano se obtuvo los resultados que se observan en la Tabla 5

TABLA 5

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE PESO Y MEDIDAS DE GRANO Y VAINA, CORRESPONDIENTES A LA MADUREZ DE NIVEL 3 Y 4.

	Peso Unitario (g)	Peso Vaina (g)	Peso Semilla (g)	% Vaina	% Semilla	Diámetro del Grano
Nivel 3	828,39	353,74	474,65	42,7	57,3	2.5cm
Nivel 4	778,8	340,2	438,6	43,7	56,32	2.8cm
Promedio	803,595	346,97	456,625	43,2	56,81	2.65cm

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

2.2 Metodología de trabajo

2.2.1 Ensayos Físico – Químicos

Para el desarrollo del proyecto, se realizaron diferentes ensayos físico químicos, (previo un procesamiento de la materia prima con un triturador de alimentos), con el motivo de determinar e identificar mejor la materia prima, para una mejor producción de la harina, usando los métodos de la AOAC.

Características Químicas:

Los métodos analíticos realizados en la caracterización del fréjol se presentan en la Tabla 7 y sus resultados en la Tabla 6

TABLA 6

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL FRÉJOL

Muestra	pH	% Acidez	% Humedad	Aw	% Cenizas
Fréjol	6,965	0.074	54,415	0,981	3,8

Elaborado por: Juan Roldán (2011).

TABLA 7

METODOS DE ANALISIS

Análisis	Método	Equipo
Humedad	Lámpara Infrarroja (AOAC 967.19) Gravimétrico (AOAC 925.09)	Termobalanza Kern Estufa Memmert
Actividad de Agua	Conductividad Eléctrica (AOAC 978.18)	Humidímetro Kern
Cenizas	Gravimétrico (AOAC 920.26)	Mufla Termo Scientific
pH	Potenciométrico (AOAC 981.12)	pHmeterHanna
Acidez	Volumétrico (AOAC 942.15)	-----
Carbohidratos	Volumétrico (AOAC 939.03)	-----
Proteínas	Volumétrico (AOAC 920.87)	-----
Grasas	Gravimétrico (AOAC 923.05)	-----

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

2.2.2 Secado

Para el secado de las semillas del *PhaseolusVulgaris Lineo*, se utilizó un secador horizontal de bandejas GUNT HAMBURG experimental. En la calibración de los parámetros de funcionamiento del secador, se tomó como referencia trabajos realizados para elaboración de harina. En la Tabla 8 se presentan las características técnicas del funcionamiento del equipo.

TABLA 8

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SECADOR

Característica	
Longitud de la Bandeja, cm	36,2
Ancho de la Bandeja, cm	28,5
Área de la Bandeja, cm^2	1.031,7
Área Total de las Bandejas, cm^2	4.126,8
Rango de Temperatura, °C	48 – 55
Rango de Humedad Relativa, %	16 – 20
Velocidad de Aire, m/s	0,48 – 0,60

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

A continuación se describen en etapas el procedimiento de obtención de la misma.

Recepción: En esta primera etapa, se recibe el fréjol en vaina, luego se realiza una selección manual de vainas que estén muy dañadas o con germinación avanzada, según la caracterización realizada se escogerá las vainas de nivel 3 y 4 que serán utilizados.

Pelado: Operación preliminar en la cual se procede a sacar el grano de fréjol de la vaina.

Lavado: Se realizó mediante un chorro de abundante de agua para eliminar impurezas propias del grano, eliminando carga microbiana inicial.

Triturado: Mediante este procedimiento se realizó el procesado de los granos, para reducir su tamaño y aumentar el área de contacto. Aquí se obtuvo un triturado de fréjol.

Secado: Para el secado del triturado de fréjol, el cual se colocó en bandejas, de un secador horizontal empírico. Las condiciones de secado que se utilizó fueron de: 48°C-55°C con una velocidad de 0,48-0,60 m/s, teniendo como tiempo de operación del mismo 9 horas.

Molienda: La reducción del producto obtenido en la etapa de secado, se la redujo a polvo o harina, mediante un molino ciclón.

Envasado: Una vez obtenida la harina, se procedió a envasarla en fundas de polietileno, cubiertas con dos capas de papel aluminio como barrera para la humedad.

2.3 Isotermas de Sorción

En la realización de las isotermas se empleó el método isopiéstico. Las condiciones de obtención de la isoterma, se lo realizo a una temperatura de 103°C, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

1. En bandejas plásticas pequeñas, se colocósílica gel en el fondo de la misma, adicional a esto se puso un soporte plástico con orificios para separar la sílica de la muestra.
2. Se pesa adicional a esto todos los materiales del sistema por separado y el sistema completo (bandeja plástica, sílica gel, soporte plástico, papel filtro, platos de aluminio y muestra).
3. Luego se colocó 10g de la muestra en los platos de aluminio, previamente a su eliminación de agua en la estufa.
4. Se sellan los sistemas, y se los ubica en una estufa a 103^0C, realizando mediciones de peso, humedad y actividad de agua, con la muestra fría.

5. Este proceso se realizó por triplicado, y se lo ejecuto hasta que la actividad de agua de la muestra fuese cercano de 0.4
6. Finalmente se colocó los sistemas en la incubadora a 37°C por 72 horas, donde se midió actividad de agua, y humedad final.

   En los cálculos y obtención de la curva se utilizó las siguientes formulas:

   ——————————Ec. 1

   Dónde:

   Hf = Porcentaje de humedad final.

   Pi = Peso inicial de muestra

   Hi = Porcentaje de humedad inicial.

   Pf = Peso final de muestra.

   Peq = U.M.A. del ácido de muestra.

   En el caso de la humedad en base seca se utilizó:

   ————Ec.2

   Dónde:

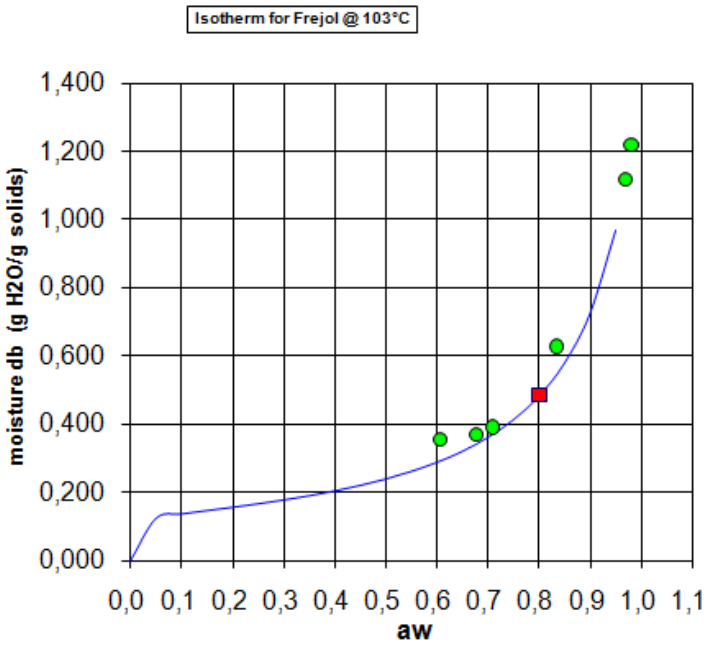
   HBS = Humedad en Base Seca (Masa de Agua/Masa de Sólido Seco).

   %H = Porcentaje de Humedad

Con los datos obtenidos y mediante el programa WaterAnalyser, se pudo obtener la isoterma de absorción la cual se ajusta al modelo de GAB, teniendo un valor de la monocapa de BET de: 0.18gH2O/g s.s. A continuación se muestra la Isoterma de sorción en la Figura 2.

FIGURA 2

ISOTERMA DE SORCIÓN DE FRÉJOL.



Elaborado por: Juan Roldán (2011).

La isoterma presentada anteriormente, presenta características de forma sigmoidea, con una crecida de la curva de forma exponencial al principio, comportamiento que se da hasta que el alimento comienza a

ofrecer tenacidad a la pérdida de agua lográndose reducir la actividad de agua hasta un valor de 0.4 de Aw.

2.4 Proceso de secado

2.4.1 Curvas de secado

En la obtención de los datos de curvas de secado, se tomó de peso de la muestra cada 5 minutos durante dos horas, cada 10 minutos durante 2 horas y finalmente en las últimas 4 horas durante 5 minutos. También se registró la humedad del aire dentro del secador, y velocidad de secado. Antes de comenzar el proceso de secado se tomó la humedad de la materia prima (fréjol).

Fue necesario recopilar, tomar datos para la realización de las curvas de secado, los cuales se presentan en la Tabla 9:

TABLA 9

DATOS DEL PROCESO DE SECADO

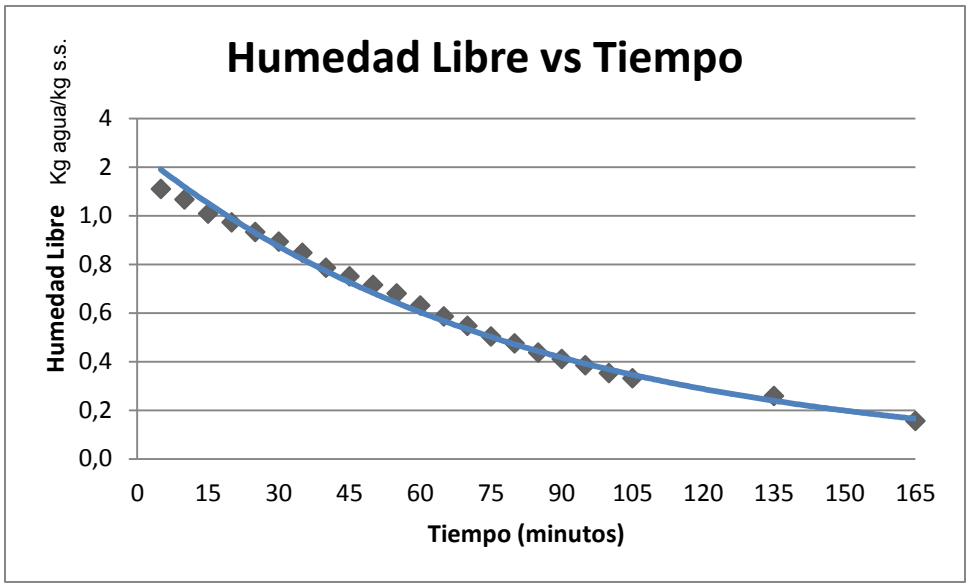
Peso de Sólidos Secos (g)	1.577,5
Velocidad de Aire de Secado (m/s)	0,50
Temperatura Ambiente (°C)	29
Humedad Relativa Ambiente (%)	63
Humedad Relativa Equilibrio (%)	15
Humedad de equilibrio (g de agua/ g s.s.)	0,250

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

Para la obtención del gráfico de humedad libre vs tiempo se determinó la humedad en base seca y posterior a esto la humedad libre, como se muestra en la Figura 3.

FIGURA 3

HUMEDAD LIBRE VS TIEMPO



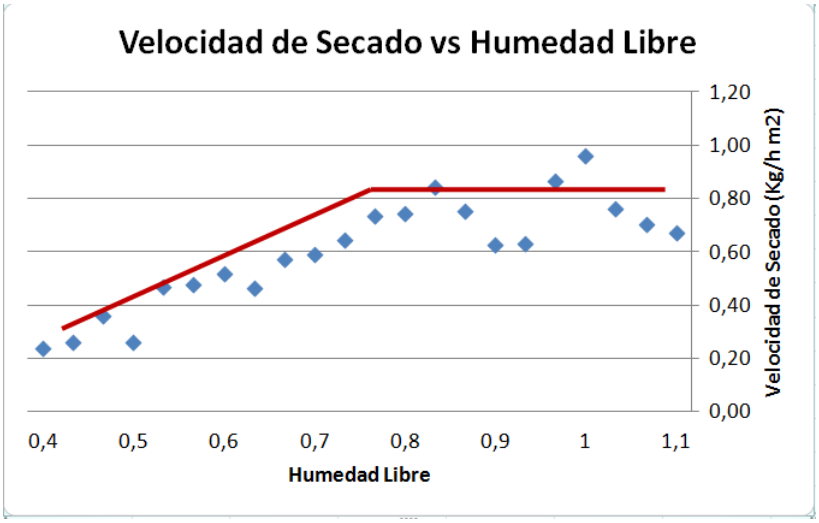
Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

En el caso de el gráfico de Velocidad de Secado vs Humedad libre, indica la perdida de agua del producto, hasta llegar al valor de la monocapa de BET, obteniendo una humedad critica en el proceso de secado igual a 0.65kg

de agua/ kg de solido seco. La humedad en equilibrio del proceso fue igual a 0.12 kg de agua/kg de solido seco.

FIGURA 4

VELOCIDAD DE SECADO VS HUMEDAD LIBRE



Elaborado por: Juan Roldán (2011).

2.5 Caracterización de la harina

Con el proceso de secado y molienda, se obtuvo una harina de polvo fino de color crema, con la cual se determinó los parámetros que se presentan en la Tabla 10.

TABLA 10

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE HARINA

Ensayo	Unidad	Resultado
Carbohidratos	%	73.1
Cenizas	%	3.97 ± 0.08
Grasa total	%	0.8
Humedad	%	7.20 ± 0.07
Proteínas	%	15.04
pH		6.96
Aw		0.39
Acidez	%	0.429
Granulometría	mm	158.02mm

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

Para el caso de la granulometría se utilizó como referencia la norma INEN 517 (ver Anexo A) y el método AOAC 965.22, los resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 11.

TABLA 11

GRANULOMETRÍA DE LA HARINA DE FRÉJOL

Clase	Malla	Masa Retenida	Δxi/Dp
1	50	60.7	1.3793
2	70	40.7	1.5
3	100	15.9	0.76
4	140	30	2.5
5	200	1	0.165
Fondo		1	
Total		149.3	6.3043

Elaborado por: Juan Roldán (2011).

Con estos datos se procedió a la determinación del diámetro de Reboux cuyo valor equivalente fue igual a 158,02 mm, el cual nos da una apreciación de la finura de la harina, la cual cumple con la normativa tomada como referencia que dice que 98% o más de la harina debe pasar por el tamiz No. 70 de 212 micras.

CAPÍTULO 3

3. SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE FRÉJOL

3.1. Ingredientes

Los ingredientes básicos en la producción de pan son harina, agua y levadura. Otros ingredientes, tales como leche, huevos, sal o azúcar también pueden ser añadidos, pero no son elementales.

Existen estudios en los cuales se han establecido sustituciones de harina de trigo por otros cereales, a fin de reducir las importaciones de trigo y darle un valor nutricional agregado al pan. (8)

Los ingredientes usados en la formulación del pan con contenido de harina de fréjol fueron la harina de trigo, harina de fréjol, agua, manteca vegetal, huevo, sal, azúcar, levadura, esencia de mantequilla, mejorador.

El principal ingrediente del pan es la harina que consta básicamente de un cereal molido finamente hasta llegar a una textura en forma de polvo.

La harina es un conjunto de dos importantes sustancias: gluten y almidón. El primero corresponde a un grupo de proteínas insolubles en agua que le dan a la masa un aspecto compacto y además atrapan el dióxido de carbono liberado en la fermentación para provocar el crecimiento de la masa en medio acuoso; el gluten se compone principalmente de glutenina (proporciona resistencia y fortaleza) y la gliadina (es la que proporciona la cualidad pegajosa a la masa). El segundo corresponde al almidón, que representa el 7% del peso de la harina y posee dos moléculas de almidón distintas: amilosa y amilopectina que forman una estructura cuasi-cristalina que absorbe poco agua. El almidón cumple la función de repartir la humedad de forma equitativa en el amasado y le da una estructura semi-solida a la masa. (8)

El agua tiene como misión activar las proteínas de la harina para que la masa adquiera textura blanda y moldeable. Posee además la capacidad de disolvente acuoso de las sustancias añadidas a la masa, siendo también necesaria para iniciar la fermentación. La levadura es el ingrediente responsable de la hinchazón de la masa durante la fermentación, la especie en particular es la *Saccharomy cescerevisiae.*

3.2. Formulaciones

En la elaboración del pan en este proyecto se sustituyó parcialmente la harina de trigo por harina de fréjol. A continuación se muestra la evolución y mejora de las fórmulas que se desarrollaron para obtener un producto con buenas características físico-químicas, organolépticas.

Para la elaboración del pan con harina de fréjol se tomó como referencia un pan de sal, cuya composición se presenta en la Tabla 12 que se muestra a continuación: (8) (9) (10)

TABLA 12

FÓRMULA DE PAN DE SAL

Ingredientes	Porcentaje * (%)	Peso (g)
Harina	100	400
Manteca	10	40
Azúcar	8	32
Sal	2	8
Levadura	2	8
Agua	44,5	278
Huevo	5	20

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).* Del peso total de harina

En la primera experimentación, se tomó la sustitución 70% harina de trigo 30% harina de fréjol, donde obtuvo un pan con poca formación de miga,

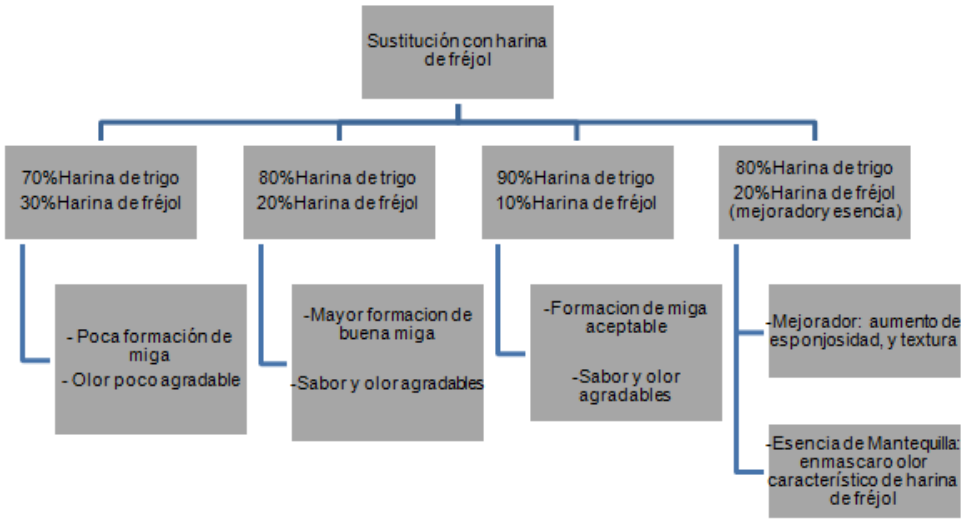
es decir mínimos orificios originados por la fermentación; en cuanto a olor y sabor, el pan tenía cierto olor no agradable debido a la harina de fréjol, el sabor no variaba mucho.

En la segunda fórmula, se realizó la sustitución 80% harina de trigo con 20% harina de fréjol, en la que se obtuvieron mejores resultados en comparación a la sustitución anterior. En cuanto a la textura, se formaron buenas cavidades en la fermentación con una buena miga; el olor y sabor de esta prueba fue más agradable que el del reemplazo anterior.

Para tercera prueba se realizó la sustitución del 10% de la harina de fréjol con el 90 % de la harina de trigo de la formula principal, para la cual se obtuvieron las características muy parecidas a la sustitución 80% - 20%. En la figura 4 se presenta un esquema de las sustituciones.

FIGURA 4

ESQUEMA DE SUSTITUCIÓN DE HARINA DE FRÉJOL EN PAN



Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

Finalmente se escogió el segundo reemplazo, debido a que se utiliza la mayor cantidad de harina de fréjol y se evidencia mejor su actuación en el pan. Además, se propuso utilizar mejorador de textura para pan y esencia de mantequilla para mejorar las características organolépticas, obteniendo la siguiente fórmula.

TABLA 13

PAN CON HARINA DE FRÉJOL

Ingredientes	Porcentaje * (%)	Peso (g)
Harina		400
Harina de trigo	20	80
Harina de fréjol	80	320
Manteca	10	40
Azúcar	8	32
Sal	2	8
Levadura	2	8
Agua	44,5	278
Huevo	5	20
Mejorador	0,50	2
Esencia de mantequilla	0.10	0.4

Elaborado por: Juan Roldán (2011).* del peso total de harina

3.3. Proceso de Elaboración del pan

El proceso de elaboración del pan se compone básicamente de las siguientes etapas.

FIGURA 5

DIAGRAMA DE PROCESO ELABORACIÓN DE PAN ENRROLLADO

Elaborado por: Juan Roldán, (2011).

3.4. Características físico-químicas y nutricionales

El pan de fréjol que se obtuvo, presento cierto olor residual poco perceptible característico de la harina de fréjol para lo cual se le añadió esencia de mantequilla para enmascararlo. Además del sabor, el aspecto en que más se enfocó el estudio fue en la textura la cual fue agradable similar a la de un pan tradicional.

Las características nutricionales del pan obtenido se muestran en la Tabla 14 que presenta a continuación.

TABLA 14

CARACTERISTICAS NUTRICIONALES

Característica	Unidad	Pan de Fréjol	
		100 g	Kcal
Carbohidratos Totales	g	42	167
Proteínas	g	7	26
Grasas Totales	g	6	58
Energía	Kcal		251

Elaborado por: Juan Roldán (2011).

El pan con harina de fréjol que se obtuvo posee mayor valor energético que la de un pan tradicional (239 Kcal), lo cual representaría una ventaja de la elaboración de pan con harina de fréjol.

3.5. Análisis sensorial

En el análisis sensorial de este proyecto, se realizóla comparación del pan de fréjol con sustitución 80% harina de trigo 20% harina de fréjol. En la primera muestra se utilizaba mejorador mientras que en la segunda muestra no se usaba mejorador. Se decidió usar una prueba de escala hedónica.

Objetivo: Determinar si existe diferencia significativa entre las muestras y los resultados de los jueces.

Muestras: Se presentaron 2 muestras rotuladas.

Jueces: Se evaluó con 30 panelistas no entrenados.

Hoja de respuestas: Se utilizó una escala para calificar a las muestras según preferencia. Anexo E**.**

Para determinar los resultados de la evaluación sensorial se utilizó el software MINITAB 16. El grafico del resumen de la prueba de hipótesis se presenta en el Anexo D.

Prueba de hipótesis

Ha: Los datos siguen una distribución normal

Hb: Los datos no siguen una distribución normal

Con un valor p menor a 0.05 (p=0.005) existe evidencia estadística suficiente para rechazar Ha a favor de Hb, es decir que los datos no siguen una distribución normal.

Por lo tanto se hará uso de estadística no paramétrica para encontrar diferencia significativa entre las muestras comparando las medianas.

Ha:no hay diferencia significativa entre el uso o no del mejorador en el pan(La mediana de la muestra 1 es igual a la mediana de la muestra 2).

Hb:si hay diferencia significativa entre el uso del mejorador en el pan (La mediana de la muestra 1no es igual a la mediana de la muestra 2).

Prueba de Mann-Whitney e IC: Muestra 1. Muestra 2

	N	Mediana
Muestra 1	30	40,000
Muestra 2	30	40,000

La estimación del punto para ETA1-ETA2 es 0,000095,2.

El porcentaje IC para ETA1-ETA2 es (-1,0003.-0,0000)

W = 798,0

Prueba de ETA1 = ETA2 vs. ETA1 no es = ETA2 es significativa en 0,0850

Con un valor p mayor a 0.05 (p = 0.0850) existe evidencia estadística suficiente para no rechazar Ha a favor de Hb es decir que no se puede rechazar que exista una diferencia significativa para nota el cambio sensorialmente, por lo tanto no existe diferencia significativa entre las muestras.

El grafico de la caja de muestras se presenta en el Anexo F

3.5.1 Textura

En el análisis de textura, se utilizaron 5 muestras de pan de fréjol con 5 de pan tradicional, en las cuales se observó el comportamiento de dureza y esponjosidad del pan durante este tiempo. En la Figura 6 se muestra la comparación antes mencionada

FIGURA 6

TEXTURA EN PANES

DEFORMACIÓN RECUPERABLE VS TIEMPO

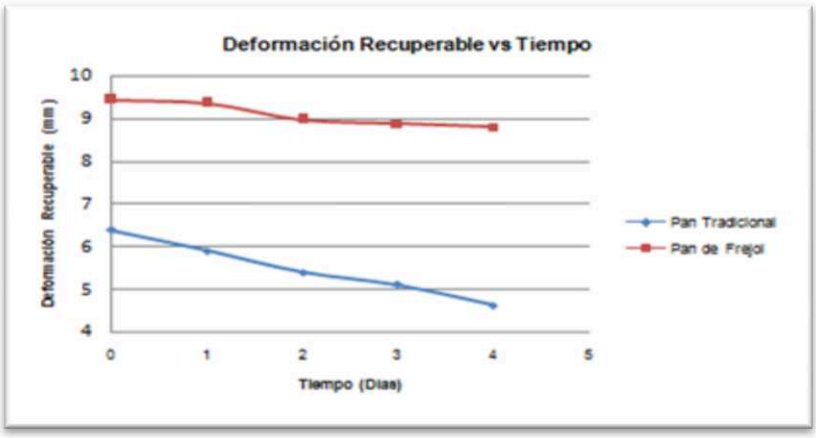
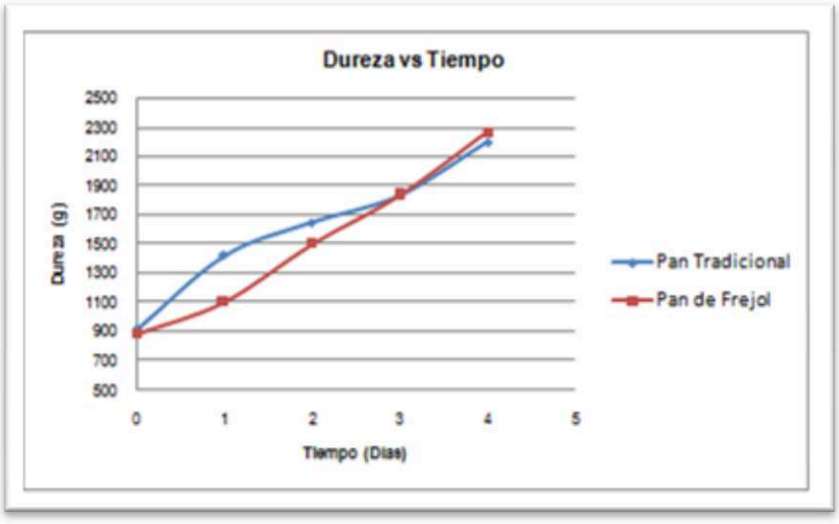


FIGURA 7

TEXTURA EN PANES

DUREZA VS TIEMPO



En la Figura 6 se representa la deformación recuperable vs el tiempo; este valor indica la esponjosidad del pan y la resistencia a la deformación. Podemos observar que el pan de fréjol es más esponjoso que el pan tradicional, y que la disminución de esta característica es más lenta en el tiempo.

La Figura 7 representa los cambios de dureza con respecto al tiempo. Con estas características podemos medir el envejecimiento del pan,

que se atribuye a la retrogradación de sus almidones. Se puede observar que el pan de fréjol y pan tradicional tienen una dureza similar en el día 0; en el día uno y dos hay un aumento significativo de esta característica con de este valor en el pan de trigo con relación al de fréjol; finalmente en el tercer día cuando sensorialmente no es aceptable se igualan estos valores entre los dos panes, lo cual nos indica que la sustitución de harina de fréjol no ayuda a reducir el envejecimiento del pan.

Sin embargo la adición del mejorador, ayuda potenciar estas características viéndose reflejado esto en valores mayores de esponjosidad de la Figura 5 y en un retardo del día 1 y día 2 de la Figura 6 en el pan de fréjol.

3.6. Estabilidad del Pan

Dentro de este punto del proyecto se puede mencionar el término “envejecimiento” que hace referencia a la disminución gradual de la aceptación del consumidor del pan debido a los cambios físico-químicos que tienen lugar en la corteza y en la miga durante el almacenamiento, excluyendo alteraciones microbiológicas (8).

En el envejecimiento de la corteza comienza con la migración de agua desde la miga hacia la corteza, y luego desde el ambiente de almacenado hacia la corteza. El envejecimiento de la corteza es menos importante para consumidor que el de la miga

En el envejecimiento de la miga se puede destacar los cambios en el almidón de esta, los cuales se deben a los fenómenos que se presentan en la siguiente tabla.

TABLA15

ENVEJECIMIENTO DE LA MIGA

Cambios	**Características**
Gelatinización del almidón	1.- Por aumento de temperatura los gránulos de almidón se cristalizan.(horneado) 2.- Baja de temperatura, polímeros pierden movilidad, afectando textura, firmeza. 3.- estado final en el almacenamiento de gránulos puede ser casi o totalmente gelatinizados.
Retrogradación del Almidón	- Recristalización de la amilopectina desde el estado amorfo hasta el

	estado cristalino (producto viejo). - Paso de las moléculas gelatinizadas a formar estructuras cristalinas.
Redistribución del agua	- Migración de esta hacia la corteza - Migración de agua desde el gluten al almidón, es decir que el agua ligada aumenta y mientras que el agua libre disminuye.

Elaborado por: Juan Roldán (2011).

Para evaluar la estabilidad del pan, se utilizó la medición de su textura, ya que según eso se pudo determinar que en el tercer día el pan no tenía características sensoriales agradables para el consumo que como se explicó se debe a las alteraciones antes mencionadas. Se puede decir que interpretando las Figuras 5 y 6 de deformación y dureza, que al tercer día el pan con sustitución de harina de fréjol, presenta una dureza no aceptable sensorialmente para el consumidor.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES

1. En la elaboración de pan con harina de fréjol, se realizaron varios reemplazos de los cuales se escogió el 20% de sustitución de harina de fréjol por harina de trigo, ya que el pan presentó mejores características sensoriales y nutricionales. Hubo la necesidad de añadir esencia de mantequilla para enmascarar el olor y sabor característico de fréjol, así como un aditivo mejorador de textura. Este último mejoró la miga según el análisis del texturómetro.
2. En la sustitución 20% harina de trigo por harina de fréjol, se logró aumentar el 6% del valor proteico en comparación con el pan tradicional a base de trigo. No obstante el proceso

tecnológico resulta encarecedor, debido a que el tiempo de secado es de 7 horas para llegar a un valor aceptable de actividad de agua de 0.43, con un rendimiento de 47.265. por lo tanto el porcentaje de aumento proteico y rendimiento de la materia prima, no justifica los gastos energéticos ni resultados obtenidos en el proceso, siendo la harina de fréjol no factible en la sustitución para la elaboración de pan.

3. En las pruebas de textura y estabilidad del pan de fréjol, se pudo concluir que la sustitución de harina de trigo por harina de fréjol no extiende la vida útil del pan en cuanto a su envejecimiento, calificando dureza y deformación del pan en el texturómetro, ya que al comparar la textura del pan de frejol con el pan tradicional, sufrieron un endurecimiento muy similar, hasta el tercer dia.

Se recomienda el uso de la harina de fréjol para la elaboración de productos como galletería ya que el valor de estos se puede colocar más alto, permitiendo su factibilidad económica de acuerdo al rendimiento.

Se recomienda optimizar el proceso de secado desde el punto de vista energético para que este sea más eficiente y no encarezca al producto final.