



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

“Análisis de la Retrogradación del Pan Molde Blanco Mediante  
Métodos Experimentales Convencionales y Análisis Térmico”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIEROS DE ALIMENTOS**

Presentada por:

Alejandro Gabriel Quintong Santana  
Jackeline del Rocío Tenesaca Bustos

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2013

# AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestra directora de tesis, Ing. Fabiola Cornejo, quien nos guió y apoyó de manera incondicional en este estudio.

Al laboratorio LEMAT, por haber colaborado significativamente a lo largo del trabajo.

Jackeline y Alejandro

## DEDICATORIA

A Dios por sus bendiciones que me ha brindado, a mi familia por ser los pilares de mi vida y por su constante e incondicional apoyo y a todos mis verdaderos amigos.

Jackeline

## DEDICATORIA

A Dios por guiarme en todos los pasos dados y poder cumplir esta meta anhelada.

A mis padres y hermano por el apoyo incondicional brindado durante todo este tiempo, por demostrarme que con empeño y esfuerzo se puede lograr y cumplir cualquier objetivo planteado en esta vida.

Alejandro

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

---

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

M.Sc. Fabiola Cornejo Z.  
DIRECTORA

---

Ing. Rodrigo Perugachi B.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

---

Jackeline del Rocío Tenesaca Bustos

---

Alejandro Gabriel Quintong Santana.

## RESUMEN

La finalidad de este trabajo fue demostrar la utilidad y precisión del uso de los métodos convencionales y análisis térmico para determinar la retrogradación del pan molde blanco. A su vez elaborar el protocolo de uso del Calorímetro Diferencial de Barrido, DSC, para este producto.

Los análisis convencionales se realizaron en una industria de panificación, utilizando los métodos que actualmente se emplean. Las técnicas que se realizaron fueron: microbiología, humedad, textura y análisis sensorial. Las muestras se analizaron por triplicado y pertenecieron a un mismo lote de producción.

Posteriormente, se desarrolló un protocolo de uso para el equipo DSC Q200 del Laboratorio LEMAT de la ESPOL, dónde se detalló los parámetros y uso del equipo para determinar la retrogradación del pan molde blanco. Sólo se analizaron dos muestras de pan molde blanco, debido al alto costo que implica el uso del DSC Q200 y fueron evaluadas con un patrón de referencia dentro del equipo a una velocidad de 5 °C/min desde 20 a 110°C. Los resultados obtenidos con este método son las entalpías de retrogradación.

Con los resultados de todos los métodos se realizó una comparación del comportamiento del pan molde blanco durante el transcurso del tiempo de almacenamiento, concluyendo que el análisis de textura es el que brinda mayor información sobre el envejecimiento del pan molde blanco.



## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
 <b>CAPÍTULO 1</b>	
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	3
1.1 Generalidades del pan.....	3
1.2 Elaboración de pan molde blanco.....	7
1.3 Tiempo de vida útil del pan.....	11
1.4 Retrogradación del pan.....	12
1.4.1 Efectos de los componentes de la harina en la retrogradación .....	13
1.4.2 Mecanismo de retrogradación.....	15
1.4.3 Aditivos para evitar la retrogradación.....	17
1.4.4 Factores que afectan la retrogradación.....	18
1.5 Métodos de medición de retrogradación.....	20

1.5.1 Métodos convencionales.....	20
1.5.2 Análisis térmico .....	23

## **CAPÍTULO 2**

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	25
2.1 Métodos convencionales para determinar la conservación del pan molde blanco.....	25
2.1.1 Análisis microbiológico.....	26
2.1.2 Análisis físico .....	28
2.1.3 Análisis reológicos .....	29
2.1.4 Análisis sensorial .....	31
2.2 Análisis térmico.....	32
2.2.1 Protocolo de uso del DSC del laboratorio LEMAT de la ESPOL para envejecimiento del pan molde blanco .....	41

## **CAPÍTULO 3**

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
3.1 Resultados de métodos convencionales.....	51
3.2 Resultados del análisis térmico (DSC).....	63
3.3 Comparación entre los métodos convencionales y el análisis térmico.....	65

**CAPÍTULO 4**

4. CONCLUSIONES..... 67

**APÉNDICES**

**BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

DSC:	Calorímetro Diferencial de Barrido
ESPOL:	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AIB:	Instituto Americano de Panificación
INEN:	Instituto Ecuatoriano de Normalización
CO <sub>2</sub> :	Dióxido de Carbono
M.P:	Materia Prima
UFC:	Unidades Formadoras de Colonias
DMA:	Análisis Dinámico Mecánico
g:	Gramos
mm:	Milímetros
s:	Segundos
N:	Newton
mg:	Miligramos
min:	Minutos
ml:	Mililitros
mJ:	MiliJoule
To:	Temperatura inicial
Tp:	Temperatura pico
Tc:	Temperatura de conclusión
Hg:	Diferencial de entalpías de gelatinización
Hr:	Diferencial de entalpías de retrogradación
Tr:	Diferencial de temperaturas de conclusión e inicial
X1:	Temperatura inicial a baja temperatura
FW:	Agua congelable
UFW:	Agua no congelable

## SIMBOLOGÍA

%:	Porcentaje
°C:	Grados Centígrados

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de flujo pan molde blanco .....	10
Figura 1.2 Esquema de la gelatinización del almidón .....	16
Figura 1.3 Re-cristalización de la amilopectina.....	16
Figura 2.1 Monitoreo de temperatura en percha de envejecimiento de pan .	26
Figura 2.2 Placa petrifilm y agua de peptona estéril utilizado para el análisis microbiológico .....	28
Figura 2.3 Balanza de humedad infrarrojo .....	28
Figura 2.4 Penetrómetro .....	29
Figura 2.5 Índice de retrogradación del pan sin mejorador .....	37
Figura 2.6 Índice de retrogradación del pan con mejorador.....	37
Figura 2.7 Efecto de almacenamiento de pan sobre el contenido de humedad en miga y corteza.....	41
Figura 2.8 Tzero hermetic “pan” .....	42
Figura 2.9 Utensilios para manipular muestras.....	42
Figura 2.10 Sellado hermético de Tzero Hermetic “pan” .....	43
Figura 2.11 Sistema del DSC Q 200 .....	44
Figura 2.12 Celda de ubicación de los “pan” .....	45
Figura 2.13 Ícono “wizard experiment” .....	46
Figura 2.14 Ventana del “wizart experiment” .....	47

Figura 2.15 Ventana de corrida “DSC” .....	47
Figura 2.16 Ventana de parámetros experimentales .....	48
Figura 2.17 Ventana de resumen de corrida experimental .....	49
Figura 2.18 Ventana “sample information” .....	49
Figura 2.19 Ventana de “notes” y “mass flow control”.....	50
Figura 3.1 Crecimiento microbiológico de aerobios totales en el pan molde blanco .....	52
Figura 3.2 Crecimiento microbiológico de mohos y levaduras en el pan molde blanco .....	53
Figura 3.3 Pérdida de humedad (%) en el pan molde blanco .....	54
Figura 3.4 Pérdida de suavidad (mm) en el pan molde blanco .....	57
Figura 3.5 Aumento de dureza (N) en el pan molde blanco.....	59
Figura 3.6 Aumento de firmeza (N) en el pan molde blanco .....	59
Figura 3.7 Aumento de masticabilidad (mJ) en el pan molde blanco.....	60
Figura 3.8 Análisis de olor en el pan molde blanco.....	61
Figura 3.9 Análisis de sabor en el pan molde blanco.....	62
Figura 3.10 Análisis de textura en el pan molde blanco.....	62
Figura 3.11 Curva de retrogradación del pan molde blanco en el día 4.....	64
Figura 3.12 Curva de retrogradación del pan molde blanco en el día 8.....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Requisitos microbiológicos (UFC/g) .....	21
Tabla 2. Cronograma de análisis de muestras.....	25
Tabla 3. Parámetros de calibración del texturómetro.....	30
Tabla 4. Escala empleada en evaluación sensorial .....	32
Tabla 5. Estudios de referencias para uso de DSC Q200 en el pan.....	33
Tabla 6. Resumen de resultados obtenidos usando Calorimetría Diferencial de Barrido.....	36
Tabla 7. Codificación de muestras de pan molde blanco.....	39
Tabla 8. Parámetros de calibración del DSC Q200 .....	40
Tabla 9. Resultado microbiológico en pan molde blanco (UFC/g) .....	51
Tabla 10. Resultados de porcentaje de humedad (%) .....	54
Tabla 11. Resultados de medición con el penetrómetro (mm).....	56
Tabla 12. Resultado de medición con texturómetro en el pan molde blanco	58
Tabla 13. Resultados de los análisis sensoriales.....	61



## INTRODUCCIÓN

El pan es uno de los alimentos más antiguos y básicos de la humanidad, forma parte importante de la alimentación de las poblaciones a nivel mundial. Sin embargo, la retrogradación o envejecimiento del pan es uno de los principales factores que afectan a la industria de panificación y al consumidor, generando pérdidas económicas en ambos casos. Esto se debe a que el consumidor final asocia esta característica con la calidad del producto final.

Durante el almacenamiento del pan se producen cambios moleculares en su estructura, ocasionados por la migración del agua desde la miga hacia la corteza del pan. Estos cambios originan un aumento de la firmeza de la miga, teniendo como consecuencia la pérdida de la aceptación del producto ante el consumidor. Uno de los indicadores más utilizados a nivel industrial para determinar el envejecimiento del pan, es por medio del análisis de textura.

Para comprender el comportamiento de la retrogradación, se han realizado diversos estudios que permitan analizar estos comportamientos, siendo su fin contrarrestar el envejecimiento del pan durante su tiempo de almacenamiento. Sin embargo, aún no se conoce con exactitud el mecanismo que provoca la retrogradación.

Esta tesis propone analizar el envejecimiento del pan molde blanco durante su almacenamiento mediante métodos convencionales utilizados en la industria de panificación y determinar su utilidad y precisión con el uso del calorímetro diferencial de barrido, DSC, elaborando un protocolo de uso del equipo que sea útil para el laboratorio LEMAT de la ESPOL.

# CAPÍTULO 1

## 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

### 1.1. Generalidades del Pan

El Instituto Americano de Panificación (AIB) indica que el término de panificación se aplica a la producción de productos alimenticios procesados mediante calor seco aplicado directamente por radiación o convección en un horno o en un aparato similar (1). La norma ecuatoriana INEN 93 1979-06 define al pan como el producto alimenticio que resulta de la cocción de la masa fermentada proveniente de la mezcla de harina de trigo y de ciertos ingredientes básicos (2).

Para la elaboración del pan se pueden emplear diferentes ingredientes, métodos y técnicas, con la finalidad de mejorar su composición nutricional o ayudar a mejorar su proceso de producción, además de brindar al producto final características

organolépticas que son agradables al consumidor (1). Una de las distintas variedades de pan existentes es el molde, la norma INEN 94 1979-06 lo define como las porciones de masa horneada en molde, cubiertas de corteza, de forma alargada, rectangular y de tamaño relativamente grande cortado o no en rebanadas (3).

Los ingredientes principales del pan molde blanco son:

### **Harina**

La harina es el ingrediente básico de mayor importancia en la elaboración del pan, se lo puede obtener de distintos cereales. Sin embargo, la harina de trigo es la más usada debido a que es la única que puede generar una masa adhesiva y elástica que permite la retención de gases, sus proteínas (gliadina y glutenina) al entrar en contacto con el agua forman el gluten, que proporciona esta estructura.

El almidón del trigo también juega un rol importante en la formación de la estructura cuando se gelatiniza durante el horneado. Los gránulos del almidón se hinchan y rompen a una temperatura de de 60 a 82°C durante el proceso de horneado, absorbiendo todo el agua que esté disponible y aumentando así su volumen. En este

punto es cuando el producto cambia del estado de una masa viscosa y elástica al estado de un producto horneado más rígido. (1)

### **Agua**

El agua permite la hidratación de los ingredientes secos, siendo esta la principal función en la panificación. Se combina con las proteínas del trigo, gliadina y glutenina, para formar el gluten. También actúa como solvente de los otros ingredientes como azúcar, sal, etc. El agua también es necesaria para el proceso de gelatinización del almidón durante el proceso de horneado (1). La proporción de agua que se usa con relación a la harina, denominada absorción, gobierna las propiedades reológicas de la masa (movilidad, plasticidad, extensibilidad y pegajosidad) y determinan en gran parte la calidad del producto final (1).

### **Levadura**

La levadura es un organismo vivo que requiere condiciones apropiadas y nutrimentos para una actividad óptima en la masa. La principal función de la levadura es leudar la masa mediante la producción del gas dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Las enzimas de la levadura y de la harina actúan para hidrolizar las moléculas del almidón en azúcares fermentables, convirtiéndose en  $\text{CO}_2$ . La

actividad de fermentación de la levadura también es responsable del sabor y aroma característico del pan (1).

### **Azúcar**

La principal función del azúcar es servir como alimento para la levadura. Los azúcares fermentables se consumen durante el proceso de fermentación, los que permanecen en el producto después de haber cesado la actividad de la levadura contribuyen con al sabor y color de la corteza mediante las reacciones de caramelización. El azúcar retiene humedad, lo que aumenta el tiempo de vida del producto terminado (1).

### **Grasa**

La grasa actúa como lubricante para la expansión de las celdas en la masa y como resultado, contribuye a la formación de una estructura de miga más fina, textura más suave y un mayor volumen de producto terminado (1).

### **Sal**

La principal función de la sal es acentuar el sabor del pan. Adicionalmente fortalece el gluten, formando masa más firmes y menos elásticas, es por esto que la sal se la incorpora en los

minutos finales del mezclado, asegurando una adecuada dispersión de los demás ingredientes (1).

## **1.2. Elaboración de Pan Molde Blanco.**

El proceso de elaboración del pan molde blanco inicia con la recepción y almacenamiento de los ingredientes, continuando con el pesado de sus ingredientes según la fórmula.

### **Amasado**

Durante el amasado se van a homogenizar todos los ingredientes y se va a formar la red del gluten, esto ocurre cuando la gliadina y glutenina, proteínas de la harina, se combinan con el agua añadido. La acción continua del amasado somete al gluten a condiciones físicas que brindan a la masa ciertas propiedades de resistencia, tenacidad, extensibilidad y elasticidad (1).

Al final del mezclado la temperatura de la masa debe estar en un rango de 25 y 29°C para minimizar el efecto de la levadura.

### **Laminado y división**

El objetivo del laminado es eliminar el aire y crear en la masa desarrollada un grosor parejo para que pueda ser dividida uniformemente en peso y espesor (1).

### **Moldeado**

Las masas divididas son “moldeadas” o enrolladas, consiste en dar a la masa forma de un rollo o cilindro largo para luego ser colocadas en los moldes (1).

### **Fermentación**

Los moldes ingresan a la cámara de fermentación, donde se inyecta vapor, se controla la temperatura y humedad relativa de la cámara para acelerar la actividad de las levaduras, produciendo gas ( $\text{CO}_2$ ). La temperatura de la cámara de fermentación debe igualar o superar ligeramente la temperatura de la masa (1).

### **Horno**

Después que los trozos de masa entran al horno, el calor penetra en la superficie y se desplaza al interior, produciendo un constante aumento de temperatura en la masa. Este aumento de temperatura acelera la actividad de la levadura, produciendo una súbita evolución del gas de dióxido de carbono. Adicional, se acelera la



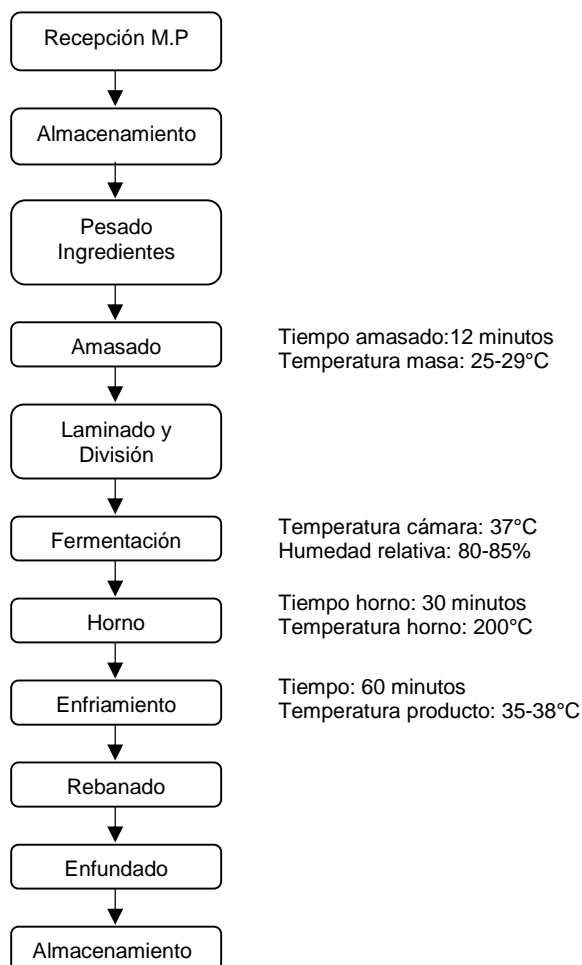
actividad de las enzimas, desdoblado el almidón en azúcares y provocando su gelatinización (1). El gránulo de almidón gelatinizado sufre los siguientes cambios en su estructura: a) Migración del agua hacia el interior del gránulo; b) La fusión o transición de las regiones cristalinas; c) Incremento del tamaño del gránulo. (4)

Al continuar aumentando la temperatura, se morirán las levaduras y las enzimas se inactivarán. La expansión de la masa continúa hasta que el gluten se coagula, inmediatamente da inicio a la formación de la corteza y el desarrollo del color. El producto final obtiene una temperatura interna que alcanza los 100°C, lo que produce una considerable evaporación de la humedad del pan, llevando a un ligero encogimiento del volumen y pérdida de peso.

### **Enfriamiento, rebanado y empaquetado**

El pan que sale del horno debe enfriarse hasta llegar a una temperatura óptima entre 35° y 38°C antes de ser rebanado y empaquetado, caso contrario se producirá una condensación en el interior del empaque, dando lugar a un ambiente propicio para el crecimiento microbiano.

En la figura 1.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de elaboración del pan molde blanco:



**FIGURA 1.1 DIAGRAMA DE FLUJO PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

### **Características del producto final**

El pan a la salida del horno se presenta con una corteza crujiente y con una miga mórbida, elástica y húmeda que no se desmigaja; estas propiedades tienen una gran influencia al momento de ser cortado, el pan debe conservar su forma y soportar las laceraciones

causadas por las cuchillas y el aflojamiento de la estructura del pan, siendo este proceso un punto de control en la industria de panificación.

Con el paso del tiempo estas características sufren cambios, y mientras la corteza tiende a ablandarse, y después a endurecerse, la miga se desmigaja y después también se endurece. (5)

### **1.3. Tiempo de Vida Útil del Pan**

El tiempo de vida útil del pan está determinado principalmente por los siguientes factores:

- Deterioro microbiano del producto: se debe a los elevados valores de humedad en el pan (máximo 38%).
- Envejecimiento del producto: se debe a la retrogradación del almidón, pérdida de humedad y aumento de firmeza de del pan.

Normas internacionales establecen especificaciones sobre la carga microbiana que un producto de panificación puede contener para que sea considerado inocuo. Existen además ingredientes usados como antimicóticos para ayudar a retardar el deterioro. Sin embargo, un producto puede encontrarse dentro de la especificación más por sus características organolépticas que han

sido alteradas debido al envejecimiento que ha experimentado el pan, puede hacer que el tiempo de vida sea disminuido, debido a que el consumidor lo considere como un producto no agradable. Es por ello que existen métodos en el que se mide su estado físico, reológico y sensorial, que ayudan a determinar el tiempo de vida del pan, entre ellos se obtiene:

- Análisis físicos, como la humedad
- Análisis reológicos, como el penetrómetro y texturómetro
- Análisis sensoriales, evaluado por consumidores

#### **1.4. Retrogradación del Pan**

La retrogradación es un proceso el cual se lo relaciona directamente con el envejecimiento o endurecimiento del pan, se lo define como la insolubilización y la precipitación, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales reaccionan entre sí por sus puentes de hidrógeno, formando zonas con una organización cristalina muy rígida (6). Cuando ocurre este reordenamiento, el agua retenida es expulsada fuera de la red es decir, se separan la fase sólida (cristales de amilosa y de amilopectina) y la fase acuosa (agua líquida).

### **1.4.1. Efectos de los Componentes de la Harina en la Retrogradación**

Para entender el mecanismo del envejecimiento del pan es importante conocer la naturaleza de su principal componente, la harina de trigo, el cual está compuesto principalmente de: almidón, proteínas (gliadina y glutenina), y pentosanos (arabinosilanos y arabinogalactanos) que contribuyen a las características del proceso y del producto final (7).

#### **Almidón**

Es un polímero semicristalino y es el componente mayoritario tanto de la harina de trigo (74 -90% en base seca) como del pan (80% en base seca), siendo esta la fracción responsable de la mayoría de los cambios en la textura del pan, no obstante, el almidón no participa solo en estos cambios indeseables (8).

Los gránulos de almidón están formados por dos polisacáridos incompatibles entre sí (amilosa y amilopectina) que se encuentran distribuidos en capas concéntricas, formando una estructura rígida. Estos gránulos son únicos y característicos para cada especie de almidón. La amilosa

consiste en cadenas lineales sencillas sin ramificar, unidas por enlaces (1-4), representan el 25% de la estructura del almidón. Por su parte, la amilopectina es la responsable de la estructura del granulo de almidón, es el componente ramificado del almidón, está formada por cadenas de residuos D- glucopiranosidos, unidos principalmente por enlaces (1-4). La amilopectina representa el 75% de la estructura del almidón (9).

### **Proteína**

La proteína en la harina es un factor importante que repercute en la velocidad de la retrogradación del pan, debido a que la proteína formada (gluten) reduce el grado de firmeza del pan durante la retrogradación, es decir, que el endurecimiento va a depender de las interacciones que existan entre el gluten y el almidón. (7)

### **Pentosanos**

Dentro del grupo de los pentosanos se encuentra a los arabinoxilanos (que se encuentran en mayores concentraciones) y arabinogalactanos, su función principal es la de incrementar la retención del agua en el pan. (10) y

por ende ayudar a que se disminuya la retrogradación, por reducción de los componentes capaces de producir cristalización, debido a inhibe la retrogradación de la amilosa.

#### **1.4.2. Mecanismo de Retrogradación**

Durante la retrogradación del pan se producen los siguientes cambios en el almidón:

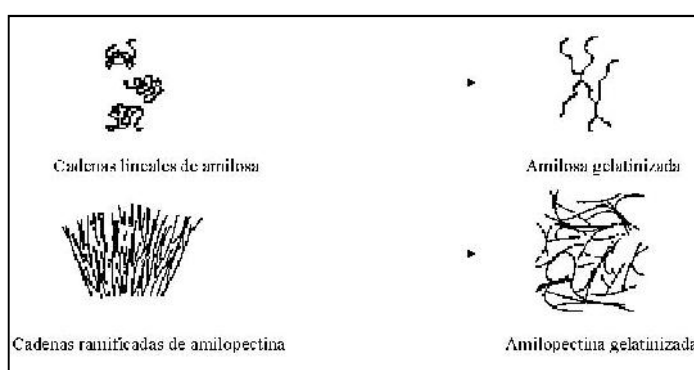
##### **Retrogradación del almidón**

El material amorfo obtenido después de la gelatinización y enfriamiento del almidón no está en un estado de equilibrio, por lo tanto, en el almacenamiento del pan se lleva a cabo un proceso de re-asociación y re-cristalización de las cadenas del polisacárido, conocido como retrogradación (10).

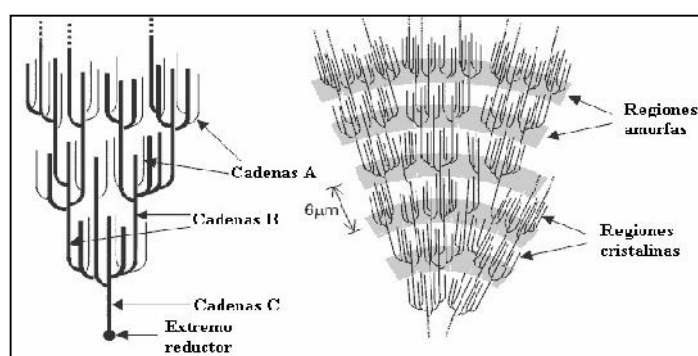
Estudios indican que la retrogradación se presenta en 2 procesos separados:

- 1) Gelificación de las moléculas de amilosa de los gránulos de almidón,
- 2) Re-cristalización de la amilopectina.

Ambas moléculas se re-asocian e incrementan la rigidez de los gránulos de almidón hinchados. (11). En las figuras 1.2 y 1.3 se pueden apreciar los procesos de gelatinización del almidón y re-cristalización de la amilopectina, respectivamente.



**FIGURA 1.2 ESQUEMA DE LA GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN (12)**



**FIGURA 1.3 RE-CRISTALIZACIÓN DE LA AMILOPECTINA (4)**



La retrogradación de la amilosa y la amilopectina caracterizan la cristalización de los geles de almidón el primer día de almacenamiento, después del cual solo la amilopectina controla la retrogradación; por lo que se considera que el envejecimiento se debe básicamente a la asociación de las cadenas de amilopectina (4).

### **1.4.3. Aditivos para Evitar la Retrogradación**

#### **Enzimas**

El empleo de enzimas en el pan tiene algunas ventajas, entre ellas es mejorar la vida del producto disminuyendo la velocidad de envejecimiento. Su mecanismo de anti envejecimiento de estas enzimas es la ruptura de las cadenas de almidón que están conectados en diferentes zonas cristalinas. La influencia de las enzimas agregadas depende de su estabilidad al calor (10).

#### **Grasas y emulsificantes**

Las grasas contribuyen con la retención de la humedad en el producto final, la cual prolonga su duración y favorecen con una corteza más tierna.

Por su parte los emulsificantes (suavizadores) son un grupo que funcionan en la masa principalmente enlazándose con el almidón. Retardan el endurecimiento de la miga del producto, extendiendo así su duración (4).

### **Aditivos**

El empleo de aditivos, como el hidrocoloide (hidroxi propil metil celulosa) en la panificación mejora las propiedades de la masa, aumentando la calidad del pan fresco e incrementando la vida útil del producto almacenado.

Los hidrocoloides pueden modificar las propiedades reológicas del almidón y prolongan la vida útil del pan debido a posibles interacciones entre el almidón y el gluten.

#### **1.4.4. Factores que Afectan la Retrogradación**

##### **Actividad de agua**

Los resultados obtenidos de los análisis térmicos diferenciales han evidenciado una reducción significativa del contenido del agua ligada del pan durante la conservación, por lo cual el contenido de agua ligada en el pan puede ser un índice de frescura.

La velocidad de pérdida de agua se reduce con la inclusión de grasas en la formulación y la conservación del pan a baja temperatura. En consecuencia un pan conteniendo inicialmente una humedad muy elevada se caracteriza por un proceso más lento de endurecimiento con respecto a muestras de pan con un contenido de humedad inicial más bajo. (5)

### **Humedad Relativa**

Durante la conservación, y especialmente en los momentos, que siguen a la cocción, en la superficie del producto se produce una evaporación de la humedad que inicialmente ablanda la corteza para después endurecerla. Para reducir este fenómeno deberá mantenerse el producto en un ambiente con una humedad relativa del 65 al 75%; con mayor humedad la evaporación aumenta. En la conservación del pan embalado es necesario emplear materiales permeables al agua para que esta humedad pueda salir a través de la envoltura. (5)

## **Temperatura**

La temperatura ejerce una influencia determinada sobre el envejecimiento del pan, en el intervalo entre +50 °C y -7 °C, la velocidad de endurecimiento aumenta a medida que se acerca a la temperatura de -2 °C, en cuyo momento el fenómeno alcanza los máximos valores. A temperaturas inferiores o superiores se dan condiciones de relativa estabilidad y el producto puede mantener el estado de fresca por un largo periodo de tiempo (5).

### **1.5. Métodos de Medición de Retrogradación**

En la industria de panificación no existen métodos para determinar la retrogradación del pan. Sin embargo, se realizaron análisis con métodos convencionales que determinan el tiempo de vida útil del pan para comparar sus los resultados con los obtenidos de los métodos no convencionales, logrando determinar la utilidad y exactitud de estos métodos.

#### **1.5.1. Métodos Convencionales.**

##### **Análisis Microbiológicos.**

El pan molde blanco luego de salir del horno elimina todo microorganismo. Sin embargo, el pan está sujeto a una

nueva contaminación después de la cocción, cuando el pan está expuesto al aire, en contacto con las superficies o por la manipulación del operador, distribuidor o del consumidor final; sumado además las condiciones atmosféricas en las que sea almacenado el producto. A pesar que estos factores influyen en el tiempo de vida útil del producto, en las normas ecuatorianas no se ha considerado especificaciones del tipo microbiológico para el pan, se ha considerado la norma mexicana de productos de panificación, el cual establecen límites máximos permisibles de unidades formadoras de colonias por gramo de producto (UFC/g) para determinar su inocuidad, mismos que se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1**  
**REQUISITOS MICROBIOLÓGICOS (UFC/g)**

<b>Especificaciones</b>	<b>Límite Máximo</b>
Mesofílicos aerobios	1000 UFC/g
Mohos	20 UFC/g
Levaduras	20 UFC/g

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008 (13)

### **Análisis físicos**

La determinación del porcentaje de humedad es de vital importancia para el pan molde blanco, debido a que es un factor de calidad en su conservación, al transcurrir los días el pan va perdiendo humedad, haciendo que el pan se endurezca.

### **Análisis reológicos**

La reología se define como la deformación de un cuerpo bajo la influencia de esfuerzos. En el pan el principal objetivo de la evaluación es medir las propiedades su suavidad y firmeza mediante condiciones mecánicas impuestas (carga/fuerza) durante un tiempo determinado; sin embargo existen otras propiedades mecánicas que se pueden determinar: características sensoriales primarias y secundarias:

- Característica sensorial primaria: dureza, cohesividad, elasticidad, adherencia, viscosidad.
- Característica sensorial secundaria: fragilidad, masticabilidad, gomosidad.

### **Análisis sensorial**

El análisis sensorial es usado en la industria de panificación para ayudar a determinar la aceptación del producto en un tiempo determinado. Siendo el objetivo principal, encontrar durante cuánto tiempo puede almacenarse el pan antes de que tenga lugar un deterioro inaceptable de su calidad sensorial, haciendo uso de los sentidos como la vista, el olfato, el gusto y el tacto.

#### **1.5.2. Análisis Térmico**

Las técnicas termo-analíticas han sido y siguen siendo en la actualidad ampliamente utilizadas en la caracterización de materiales. El análisis térmico abarca todos los métodos de medida basados en el cambio con la temperatura de una propiedad física o mecánica del material.

La calorimetría diferencial de barrido, o DSC, por sus siglas en inglés "Differential Scanning Calorimetry", es un análisis térmico cuyo propósito es registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que ocurre en una muestra y un material inerte de referencia cuando ambos se calientan, permitiendo identificar en un sistema compuesto de almidón y agua las

transiciones y modificaciones de la estructura del gránulo, verificando la asociación de fragmentos de amilosa y amilopectina (retrogradación) e identificando los cambios en sus características térmicas como consecuencia de tratamientos combinados de calor y humedad (9).



## CAPÍTULO 2

### 2. MATERIALES Y METODOLOGÍA.

#### 2.1. Métodos convencionales para determinar la conservación del pan molde blanco.

Se seleccionó muestras de pan molde blanco de un mismo lote de producción. Todos los análisis se realizaron por triplicado. El cronograma establecido de análisis se muestra detallado en la tabla 2.

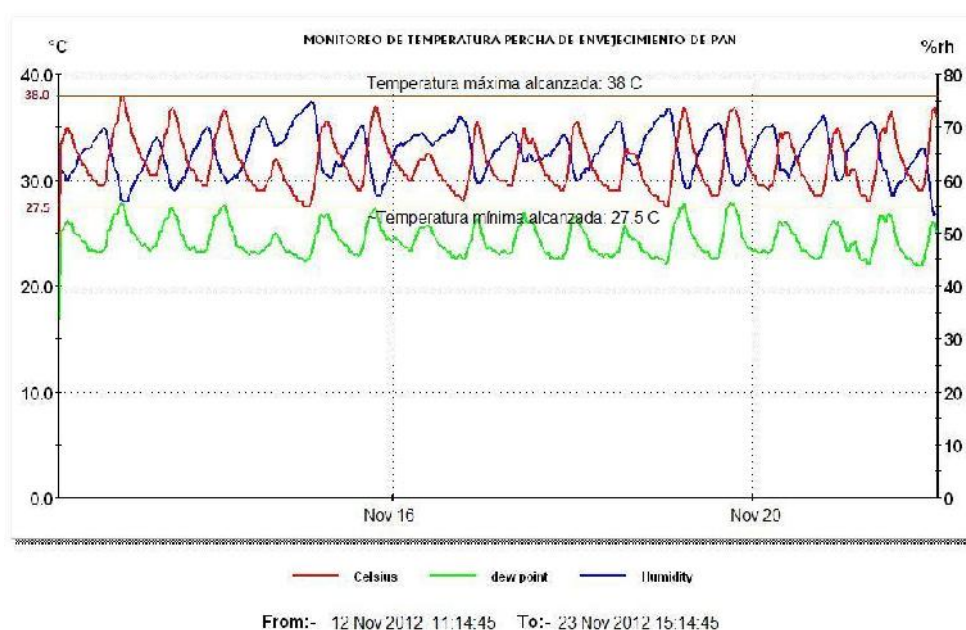
**TABLA 2**

#### **CRONOGRAMA DE ANÁLISIS DE MUESTRAS**

<b>Control N°</b>	1	2	3	4	5	6	7
<b>Día de almacenamiento</b>	0	4	7	8	9	10	11

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

Las muestras fueron almacenadas en una percha de estabilidad dentro de la planta de producción de la industria de panificación, dónde se monitoreó la temperatura de almacenamiento. En la figura 2.1 se puede apreciar la fluctuación de la temperatura durante el almacenamiento.



**FIGURA 2.1 MONITOREO DE TEMPERATURA EN PERCHA DE ENVEJECIMIENTO DE PAN**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

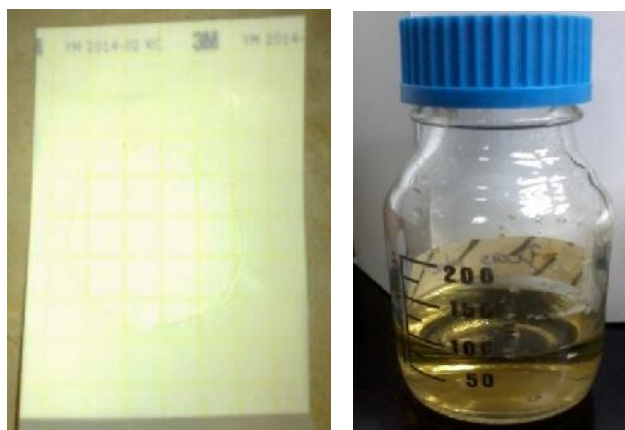
### 2.1.1. Análisis Microbiológico

La calidad microbiológica del pan en la industria de panificación se evalúa mediante la presencia de aerobios totales, levaduras y mohos. El tiempo de vida útil del pan en la industria es

considerado de 9 días. Sin embargo el recuento se lo extiende hasta los 11 días.

Se empleó láminas petrifilm para aerobios totales, mohos y levaduras, que contienen un medio específico listo para usar, facilitando el análisis.

Las muestras se las prepararon en dilución 1:10. Se pesó 10 gramos de pan y se diluyó en 90 mililitros de agua de peptona estéril. Se inoculó 1 ml de la dilución en cada lámina. Las láminas incubadas de aerobios totales se las colocó en la incubadora a 35°C por 2 días, mientras que las láminas incubadas para mohos y levaduras se las colocó en una incubadora a temperatura ambiente (22-25°C) por 5 días, posteriormente se procedió a realizar la lectura de las placas. En la figura 2.2 se muestra los utensilios principales que se usaron para el análisis microbiológico.



**FIGURA 2.2 PLACA PETRIFILM Y AGUA DE PEPTONA ESTÉRIL UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

### **2.1.2. Análisis Físico**

Debido a que no existe una norma que estandarice la metodología para determinar el porcentaje de humedad el pan, la prueba se realizó mediante el método termo gravimétrico, utilizando una balanza infrarroja automática, y se tomó como referencia la norma AOAC 925.10 para humedades en harinas (14), figura 2.3.



**FIGURA 2.3 BALANZA DE HUMEDAD INFRARROJO**

### 2.1.3. Análisis Reológicos

#### Penetrómetro

Para determinar la textura del pan molde blanco, en la industria de panificación, se utilizó un equipo llamado penetrómetro, figura 2.4.



**FIGURA 2.4 PENETRÓMETRO**

Para las pruebas, se situaron 3 rebanadas del pan molde blanco por debajo del émbolo del equipo, se graduó su altura para que la punta esté al nivel de las rebanadas y se dejó caer el émbolo durante 5 segundos. Suavemente, se bajó la varilla hasta que tope con las pesas del equipo. Su dial de lectura es de 120mm; a mayor escala dada por el penetrómetro la suavidad del pan será mayor.

### Texturómetro

Se utilizó el equipo CTE Texture Analyzer de Brookfield de la ESPOL. En la tabla 3 se muestran los parámetros usados para calibrar el equipo.

**TABLA 3**  
**PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DEL**  
**TEXTURÓMETRO**

<b>Tipo del Test:</b> APT	
<b>Objetivo del Test</b>	
Tipo Objetivo:	% deformación
Valor meta:	50%
Esperar tiempo:	0 s
<b>Parámetros Generales del Test</b>	
Carga Activación:	0.05N
Velocidad del test:	1 mm/s
Sonda:	TA4/1000
Elemento:	TA-RT-KIT
<b>Test Múltiples Ciclos</b>	
Contador ciclos:	2
Tiempo Recuperación:	20 s

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

Los atributos a medir son los siguientes:

*Dureza:* Simula la máxima fuerza para comprimir un alimento.

*Firmeza:* Calidad de suave. Liso y blando al tacto, libre de brusquedad.

Masticabilidad: Simula el tiempo de periodo requerido para masticar una muestra de alimento a una velocidad constante para reducir su consistencia y así poder ser tragado.

#### **2.1.4. Análisis Sensorial**

Para el análisis sensorial se realizó la prueba de aceptación con escala hedónica, debido a que permite conocer el grado de aceptación o grado de satisfacción del producto durante un tiempo determinado.

El análisis sensorial se lo realizó con un grupo de 5 jueces semi-entrenados. Se consideró las características organolépticas del pan molde blanco como olor, sabor y textura. Las muestras fueron evaluadas según el cronograma de la tabla 2 descrita al inicio del capítulo.

Las escalas empleadas para las características se las puede apreciar en la tabla 4.

**TABLA 4**  
**ESCALA EMPLEADA EN EVALUACIÓN SENSORIAL**

<b>Escala</b>	<b>Puntaje</b>
Me gusta mucho	5
Me gusta moderadamente	4
Ni me gusta ni me disgusta	3
Me disgusta moderadamente	2
Me disgusta mucho	1

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

## **2.2. Análisis Térmico**

Existen diferentes estudios relacionados al análisis térmico para la retrogradación del pan. Sin embargo no se ha podido determinar una metodología a seguir que pueda definir el comportamiento del pan durante el envejecimiento. En la tabla 5 se citan algunos estudios relacionados con la retrogradación del pan utilizando el Calorímetro Diferencial de Barrido, DSC.



**TABLA 5**  
**ESTUDIOS DE REFERENCIAS PARA USO DE DSC Q200 EN EL PAN**

<i>Título del Artículo</i>	<i>Autor</i>	<i>Objetivo de la Técnica</i>	<i>Parámetros para uso DSC</i>	<i>Resultados</i>
Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: Low temperatures and hydrocolloid addition	María Eugenia Barcenas, Cristina M. Rosell, Universidad de las Américas, Puebla, México	Adicionar mejoradores de pan que eviten envejecimiento, como el hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), tanto en panes horneados y pre horneados; con el objetivo de ver el comportamiento de aumento de dureza y retrogradación de amilopectina durante el almacenamiento de ambas muestras.	<p><b>Tratamiento Pan Pre-Horneado:</b>                      Se calienta la muestra de 25 a 90 °C para simular horneado y se vuelve a bajar la temperatura a 25 °C                      Temperatura almacenamiento: 2 °C                      Días de análisis: 0, 1, 2, 4, 7</p> <p><b>Tratamiento Pan Horneado:</b>                      Almacenamiento: 25 °C                      Días de análisis: 1, 2 y 4</p> <p><b>Experimentación en DSC en ambas muestras:</b>                      Preparación muestra: 20 mg pan en cápsulas herméticas                      Usar cápsula hermética de referencia                      Temperatura inicial: 25 °C                      Temperatura final: 110 °C                      Velocidad de calentamiento: 10 °C/minutos</p>	El uso del hidrocoloide (HPMC) tuvieron la capacidad de interferir con el proceso de envejecimiento del pan horneado y pre horneado. El uso de este hidrocoloide evitó el endurecimiento de la miga del pan pre horneado y reduce la dureza de la miga del pan horneado por completo. Además, el HPMC redujo la retrogradación de la amilopectina.
Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread	D. Sabanis, D. Lebesi, C. Tzia, Laboratory of Food Chemistry and Technology, School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens	Estudiar el comportamiento de diferentes fibras cereales en un pan sin gluten, para determinar mediante análisis de propiedades térmicas, viscosidad y consistencia a sus masas, cuál se puede añadir a formulación y que tenga mas impactos positivos nutricionales y sensoriales.	<p>Preparación de muestra: 40-45 mg pan en cápsulas herméticas                      Usar cápsula hermética de referencia                      Temperatura inicial: 25 °C                      Temperatura final: 110 °C                      Velocidad de calentamiento: 10 °C/minutos</p>	La adición de fibras a partir de maíz y avena en formulaciones a un pan dieron como resultado un pan con volumen significativamente mayor a los otros, así como la mejora en la suavidad de la miga. Estos estudios han demostrado el potencial de desarrollo en panes ricos en fibra sin gluten, con el fin de aumentar la aceptabilidad y la ingesta de fibra dietética.

<i>Título del Artículo</i>	<i>Autor</i>	<i>Objetivo de la Técnica</i>	<i>Parámetros para uso DSC</i>	<i>Resultados</i>
Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread	María Eugenia Barcenas, Cristina M. Rosell, Universidad de las Américas, Puebla, México	Analizar el uso del HPMC en la microestructura del pan , para verificar sus cualidades de agente mejorador del pan y antienviejimiento. La calidad del pan se evalúa mediante parametros fisicos, sensoriales y termicos durante el almacenamiento del pan.	<p><b>Tratamiento Pan Pre-Horneado:</b>  Calentar muestra de 25 a 100 °C para simular horneado  Velocidad de calentamiento: 10 °C /min  Mantener a 100 °C durante 5 minutos  Almacenar muestras a: 4 °C</p> <p><b>Experimentación en DSC:</b>  Días de análisis: 2, 4 y 7  Preparación muestra: 20 mg pan en cápsulas herméticas  Usar cápsula hermética de referencia  Temperatura inicial: 25 °C  Temperatura final: 110 °C  Velocidad de calentamiento: 10 °C/minutos</p>	El uso de HPMC en la panificación permite mejorar la calidad del pan, es decir: volumen, humedad y textura de miga. El HPMC es un agente antienviejimiento que ayuda a retardar el endurecimiento de la miga y la retrogradación de amilopectina. El análisis de la microestructura sugiere la existencia de múltiples interacciones entre el polímero y los componentes de pan, lo que podría explicar la capacidad de este hidrocoloide para retardar el proceso de envejecimiento del pan.
Thermo-physical assessment of bread during staling	Pablo D. Ribotta, Alain Le Bail, Universidad de Córdoba, Argentina	Examinar los efectos del envejecimiento por DSC y DMA para demostrar el comportamineto de migración del agua de la miga a la corteza.	<p>Preparación muestra: 30 mg pan en cápsulas herméticas  Usar cápsula hermética de referencia</p> <p><b>Pre tratamiento de muestra:</b>  Durante 5 minutos bajar la temperatura de 25 a -50 °C</p> <p><b>Experimentación en DSC:</b>  Temperatura inicial: 25 °C  Temperatura final: 110 °C  Velocidad de calentamiento: 2 °C/minutos</p>	Se determinó que existe la migración del agua de la miga a la corteza , en donde la temperatura inicial y de fusión disminuyen después del primer día de almacenamiento. Se demostró el aumento gradual de la retrogradación de la amilopectina durante el almacenamiento. Durante este proceso hay una decaída del agua fria y un aumento del agua no congelable en las muestras de pan.
Aplicación del Análisis por Calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la caracterización de las modificaciones del almidón	Angélica Sandoval, Eduardo Rodriguez, Alejandro Fernandez, Universidad del Valle, Colombia	El estudio presenta conceptos sobre el DSC, la estructura y las transiciones de fase del gránulo del almidón.	N/A	Calorimetría diferencial de barrido es un análisis térmico que permite obtener datos de entalpía y temperaturas de transición o de reacción, en función de la temperatura de calentamiento.

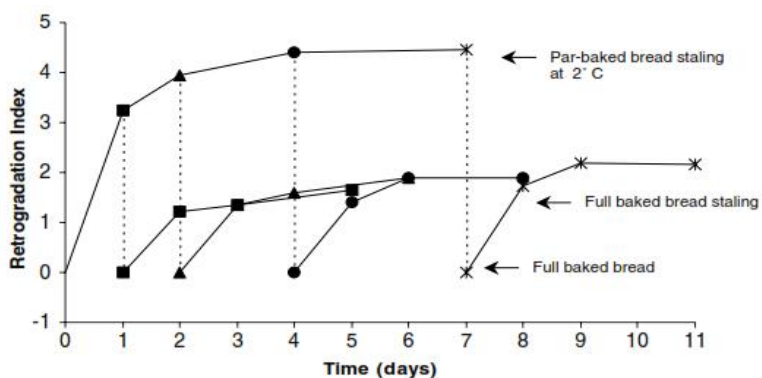
Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

El estudio de BARCENAS M, ROSELL C, 2007 (15), tuvo como objetivo la adición de un mejorador para evitar el envejecimiento del pan. La metodología se basó en 3 partes: 1) Análisis térmico en un pan pre horneado, 2) Análisis térmico al pan horneado, y 3) Análisis térmico en un pan con adición del mejorador (pre horneado y horneado, respectivamente). En este estudio se logró demostrar que existe un retardo en la retrogradación del pan que contiene el mejorador. Las termogramas obtenidas en el DSC mostraron los siguientes parámetros térmicos para ayudar a determinar la retrogradación del pan:  $T_o$ ,  $T_c$ ,  $T_p$ ,  $H_g$ ,  $H_r$ ,  $T_r$  y el índice de retrogradación. En la tabla 6 se muestra un resumen de los resultados que se obtuvieron.

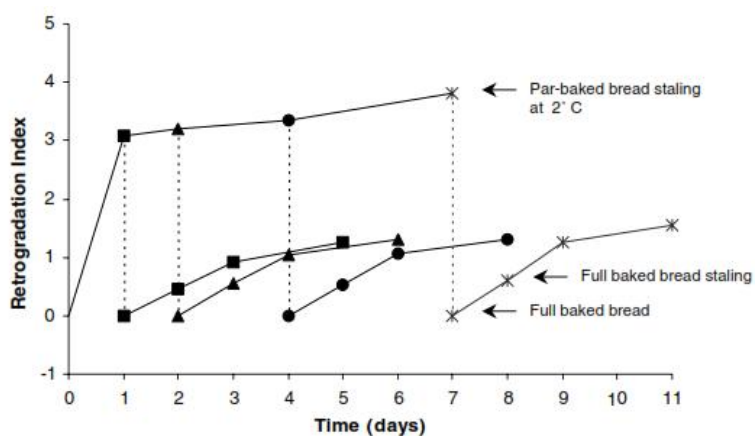
**TABLA 6**  
**RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS USANDO CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE**  
**BARRIDO (15)**

<b>Pan Pre Horneado Almacenado a Bajas Temperaturas</b>					
<b>Prueba</b>	<b>Días</b>	<b>To</b>	<b>Tp</b>	<b>Tc</b>	<b>Tr</b>
Sin mejorador	1	Temperaturas entre: 38 a 37 °C - No hay diferencias significativas en el transcurso de los días.	Temperaturas entre: 54 a 52 °C - Entre el 1er y 4to día no hay disminución significativa en el transcurso de los días. - Durante el 4to y 7mo día existe un decrecimiento significativo	Temperaturas entre: 73 a 68 °C - Hay disminución progresiva en el transcurso de los días - En el 4to y 7mo día hay una disminución significativa	Temperaturas entre: 36 a 30 °C - No existe variación significativa entre el 1er y 4to día. - Entre el 4to y 7mo día existe una disminución representativa
	2				
	4				
	7				
Con mejorador	1	Temperaturas entre: 36 a 35 °C - No hay diferencias significativas en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 54 a 51 °C - Hay disminución progresivo en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 71 a 68 °C - Hay disminución progresivo en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 35 a 31 °C - Hay disminución progresivo en el transcurso de los días
	2				
	4				
	7				
<b>Pan Horneado Almacenado a Temperatura Ambiente</b>					
<b>Prueba</b>	<b>Días</b>	<b>To</b>	<b>Tp</b>	<b>Tc</b>	<b>Tr</b>
Sin mejorador	1	Temperaturas entre: 49 a 47 °C - Hay disminución progresivo en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 61 a 60 °C - No hay diferencias significativas en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 75 a 74 °C - hay disminución progresivo en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 24 a 28 °C - Existe aumento significativo entre el 4to y 7mo día
	2				
	4				
	7				
Con mejorador	1	Temperaturas entre: 49 a 48 °C - No hay diferencias significativas en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 58 a 60 °C - Hay aumento progresivo en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 67 a 75 °C - Hay aumento significativos en el transcurso de los días	Temperaturas entre: 18 a 26 °C - Hay aumento progresivo entre el 1er y 4to día - Entre el 4to y 7mo día existe un aumento significativo
	2				
	4				
	7				

En la figura 2.5 y 2.6 se aprecia el comportamiento del índice de retrogradación del pan pre horneado - horneado sin mejorador y pan pre horneado - horneado con mejorador, respectivamente.



**FIGURA 2.5 ÍNDICE DE RETROGRACIÓN DEL PAN SIN MEJORADOR (15)**



**FIGURA 2.6 ÍNDICE DE RETROGRACIÓN DEL PAN CON MEJORADOR (15)**

Se evidenció en el pan pre horneado un mayor índice de retrogradación con o sin mejorador, debido a que se produce una retrogresión de moléculas de amilopectina, formando estructuras de cristales fuertes que requieren una mayor cantidad de energía para su fusión. Sin embargo, se observó que con la adición del mejorador se retarda la retrogradación.

Otro estudio realizado por los mismos autores (16), se basó en los cambios físicos, sensoriales y térmicos, que se puedan presentar en el pan que tiene el mejorador durante su almacenamiento. Los resultados obtenidos con el DSC fueron similares al descrito anteriormente. Además de revelar las posibles interacciones entre el mejorador y los demás componentes del pan, disminuyendo el endurecimiento de la miga y la retrogradación de la amilopectina.

Los dos estudios mencionados concluyeron que el uso del mejorador limita la difusión y la pérdida del agua del pan para evitar la re cristalización de la amilopectina.

Si bien, estos estudios se basaron en la adición de un mejorador, se los seleccionó como referencia para el uso de los parámetros en el DSC Q200 del laboratorio LEMAT de la ESPOL, debido a que

ambos presentaron similitud en el tratamiento del pan horneado y su almacenamiento. Además de brindar información sobre la relación que tiene la retrogradación del pan vs sus atributos característicos, como: humedad y sensorial.

Durante el estudio, se analizaron 2 muestras de pan molde blanco en un día, debido al alto costo del Nitrógeno Líquido. Esto ocasionó que no se pueda realizar otros experimentos para determinar la retrogradación del pan molde blanco basado en otros estudios. En la tabla 7 se detalla la codificación de las muestras.

**TABLA 7**  
**CODIFICACIÓN DE MUESTRAS DE PAN MOLDE BLANCO**

<b>Muestra</b>	A	B
<b>Día de almacenamiento</b>	4	8

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

En la tabla 8 se detallan los parámetros que se utilizó para el DSC Q200.

**TABLA 8**  
**PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN DEL DSC Q200**

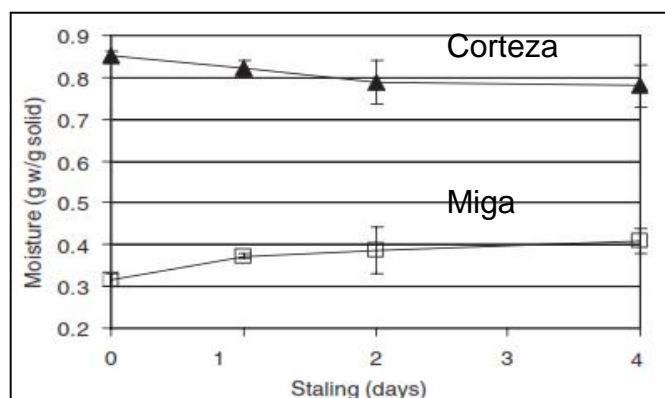
Peso muestra:	20 mg
Almacenamiento:	25 °C
Temperatura inicio:	20 °C
Temperatura final:	110 °C
Velocidad de Calentamiento:	5 °C/min

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

Para experimentos futuros, se recomienda aplicar la técnica utilizada por RIBOTTA P., LE BAIL P., (2007) (17). Debido a que brinda información más precisa con respecto a los parámetros que se usan en el experimento para un pan que se encuentra horneado sin la necesidad de pasar por un pre horneo. Los parámetros que se obtienen en la termograma son los siguientes: X1, Tp, Tc y la entalpia de transición de la fusión de hielo y la retrogradación de la amilopectina, que permite determinar: 1) pérdida de humedad en la miga, debido a disminución del FW, y 2) aumento de humedad en la corteza por aumento del UFW.

En la figura 2.7 muestra el efecto del almacenamiento del pan sobre el contenido de humedad de la miga de pan y la corteza.





**FIGURA 2.7 EFECTO DE ALMACENAMIENTO DE PAN SOBRE EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN MIGA Y CORTEZA (17)**

El estudio comprobó la migración de agua de la miga a la corteza, que sucede durante la retrogradación del pan.

### **2.2.1. Protocolo de Uso del DSC del Laboratorio LEMAT de la ESPOL para Envejecimiento del Pan Molde Blanco**

A continuación se detalla el protocolo de uso del DSC Q200 del laboratorio LEMAT para el pan molde blanco (18).

#### **Definiciones**

*Tzero Hermetic "pan"*: Cápsula en donde se coloca la muestra. Para efecto de la experimentación, la cápsula deberá ser sellada herméticamente con su respectiva tapa *Tzero Lid Hermetic*, figura 2.8



**FIGURA 2.8 TZERO HERMETIC “PAN”**

*Tzero estándar “pan”*: Cápsula vacía y sellada herméticamente que sirve como referencia durante la ejecución de las pruebas (19).

### **Preparación de la muestra**

1. Seleccionar y desmenuzar con ayuda de una pinza la miga de una rodaja de la muestra de pan molde blanco, figura 2.9. La muestra no debe ser manipulada directamente con la mano.



**FIGURA 2.9 UTENSILIOS PARA MANIPULAR MUESTRAS**

2. Colocar un Tzero Hermetic “pan” en una balanza analítica, proceder a encerrarlo. Pesar 20mg de la miga de pan desmenuzada, la exactitud en los pesos requeridos influyen en la lectura de los datos finales del experimento.
3. Colocar sobre la cápsula la tapa del Tzero Hermetic “pan” y proceder a prensar la muestra en el “Sample Press”, la muestra debe quedar herméticamente sellado para evitar contaminar la muestra, figura 2.10. Las tapas son específicas para cada Tzero Hermetic “pan” y deben ser colocadas con ayuda de una pinza.

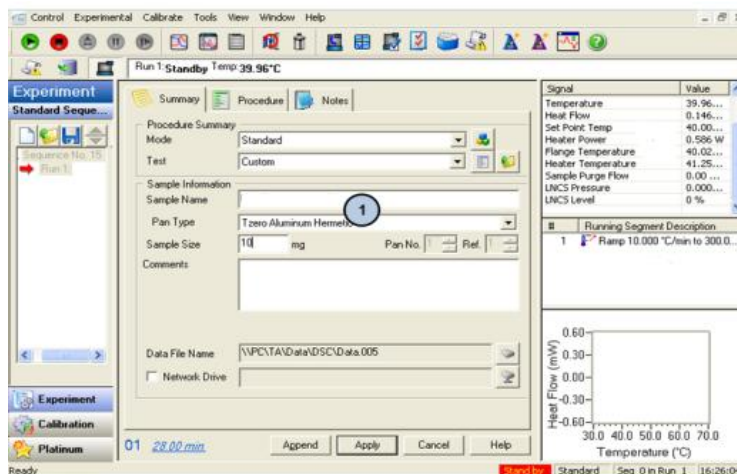


**FIGURA 2.10 SELLADO HERMÉTICO DE TZERO HERMETIC  
“PAN”**

### **Corrida de la prueba**

Para ejecutar las pruebas se debe realizar los siguientes pasos:

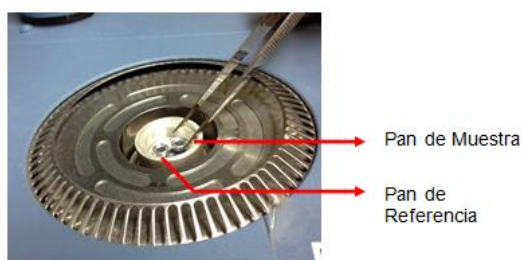
1. Verificar que el equipo DSC Q200 y el equipo refrigerante se encuentren conectados entre sí y de que se encuentren encendidos.
2. Habilitar la computadora únicamente si se ha verificado el paso 1.
3. Iniciar el programa “TA Instruments Explorer” que se sitúa en el escritorio del computador. Seleccionar “Connect to the Instruments” para acceder al sistema del DSC Q200, aparecerá la ventana principal del programa como se ve en la figura 2.11.



**FIGURA 2.11 SISTEMA DEL DSC Q 200**

4. Pulsar el ícono “Control” situada en la parte superior izquierdo de la barra de herramienta, seleccionar “Lid-

Open” para proceder a abrir la celda del equipo DSC Q200 y “Lid-Close” para cerrar la celda una vez que se haya colocado las cápsulas con las muestras. Las cápsulas se colocan con ayuda de una pinza. En el lado derecho del equipo se coloca la cápsula que contiene la muestra y en el lado izquierdo la cápsula de referencia, como se indica en la figura 2.12.



**FIGURA 2.12 CELDA DE UBICACIÓN DE LOS “PAN”**

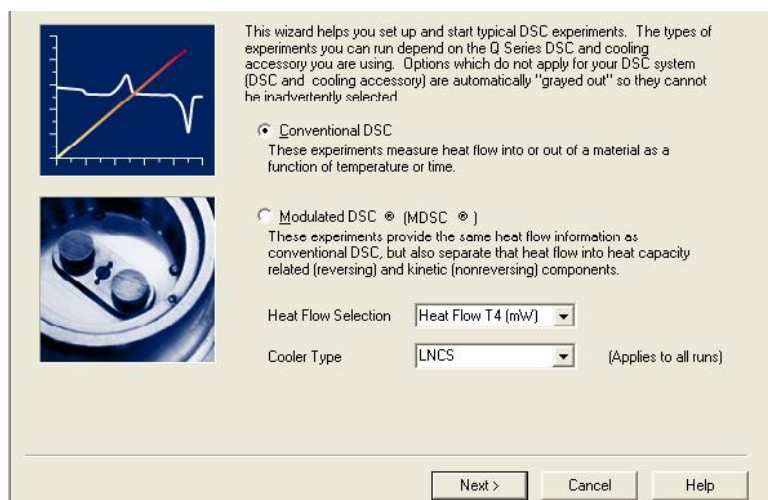
5. Pulsar el ícono “Append” que se encuentra en la parte inferior central de la pantalla principal del programa, esto se realiza con la finalidad de borrar la corrida anterior. Si no se ha borrado la corrida anterior al experimento, el sistema no permitirá realizar una nueva corrida.

6. Seleccionar el ícono “Wizard Experiment” que se encuentra en la barra de herramientas de la pantalla principal, figura 2.13.



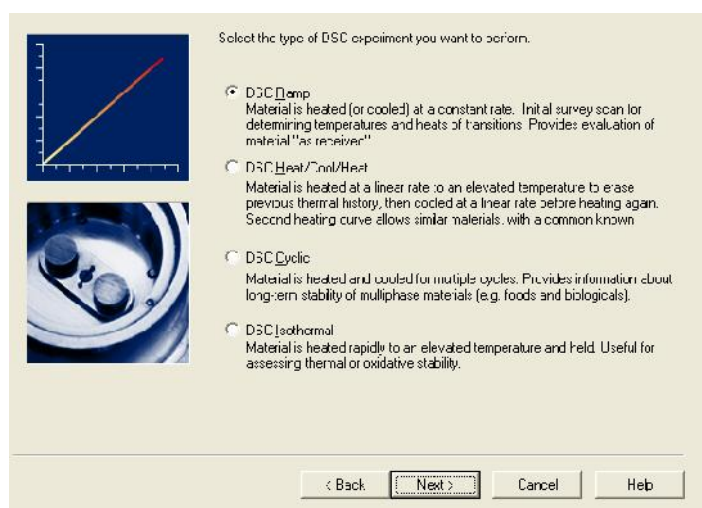
**FIGURA 2.13 ÍCONO “WIZARD EXPERIMENT”**

7. Elegir en la ventana del Wizard Experiment lo siguiente:
  - a. Seleccionar “Conventional DSC”, es el tipo de ensayo a realizar.
  - b. Seleccionar en “Heat Flow Selection” la opción Heat Flow T4, indica que el flujo de calor será medido en cuatro periodos.
  - c. Seleccionar en “Cooler Type” la opción LNCS, es el tipo de enfriador conectado al equipo.
  - d. Pulsar Next para continuar con los siguientes pasos, figura 2.14.



**FIGURA 2.14 VENTANA DEL “WIZART EXPERIMENT”**

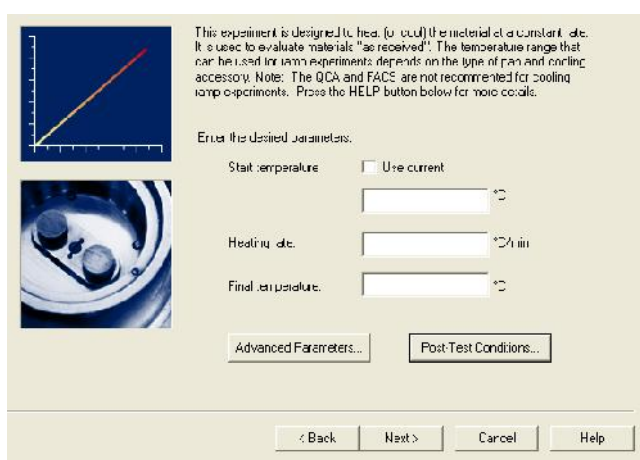
8. Seleccionar el tipo de corrida DSC (Ramp) y pulsar Next, ver figura 2.15.



**FIGURA 2.15 VENTANA DE CORRIDA “DSC”**

9. Ingresar los parámetros experimentales con los que se desea trabajar para el pan molde blanco, ver figura 2.16.

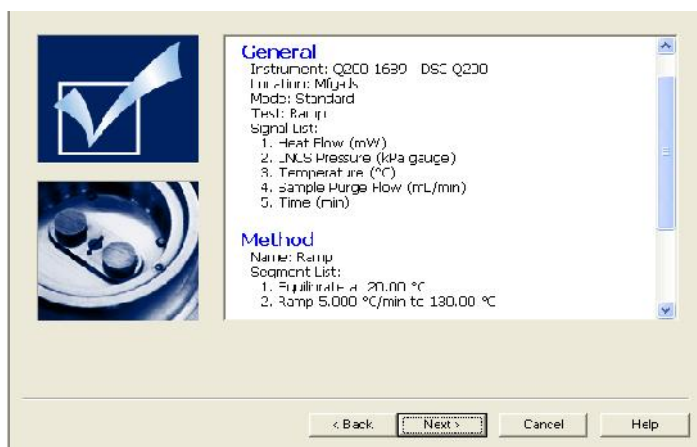
- Start Temperature (Temperatura de Inicio): 20°C
- Heating Rate (Velocidad de Calentamiento): 5°C/min
- Final Temperature (Temperatura Final): 110°C



**FIGURA 2.16 VENTANA DE PARÁMETROS  
EXPERIMENTALES**

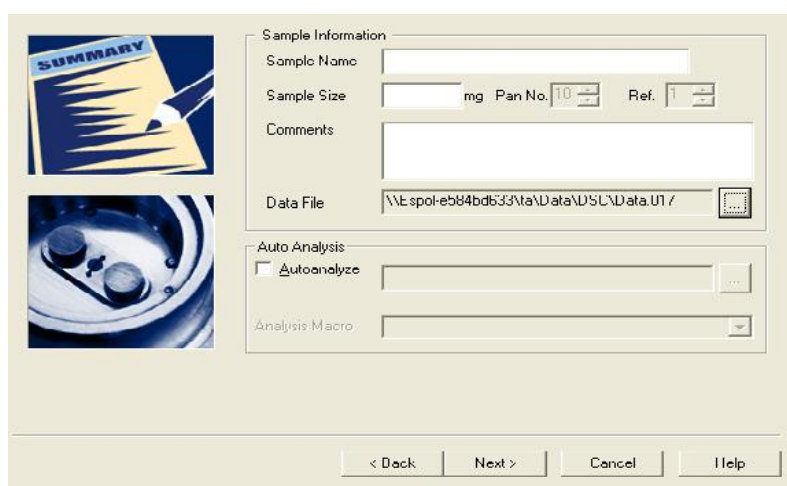
10. Pulsar Next al resumen que se presenta de las condiciones experimentales, ver figura 2.17.






**FIGURA 2.17 VENTANA DE RESUMEN DE CORRIDA EXPERIMENTAL**

11. Llenar con los datos necesarios de la muestra (nombre, tamaño, comentarios) en la ventana de “Sample Information”, pulsar Next, como se ve en la figura 2.18. Anotar el nombre de la carpeta con el que se grabará su experimento en el programa.



**FIGURA 2.18 VENTANA “SAMPLE INFORMATION”**

12. Ingresar en la sección “Notes” la información que se solicita (nombre de la persona que ejecuta el experimento, tipo de cápsula y/o cualquier otra observación que se crea necesaria sobre el experimento a ejecutar), ver figura 2.19.
13. Seleccionar en la sección “Mass Flow Control Settings” el tipo de gas a utilizar en el experimento (Nitrógeno) y escribir la velocidad de flujo (Flow Rate: 50 ml/min), pulsar next, ver figura 2.19.



The screenshot displays a software window with two main sections. On the left, there are two small images: the top one shows a document with the word 'NOTES' in blue, and the bottom one shows a close-up of a metal capsule. The 'Notes' section on the right contains three input fields: 'Operator' with a text box, 'Pan Type' with a dropdown menu showing 'Tzero Aluminum Hermetic', and 'Extended Test' with a large empty text area. Below this is the 'Mass Flow Control Settings' section, which includes a 'Sample' dropdown menu set to '#1 - Nitrogen' and a 'Flow Rate' text box set to '50' with 'mL/min' as a unit. At the bottom of the window, there are four buttons: '< Back', 'Next >', 'Cancel', and 'Help'.

**FIGURA 2.19 VENTANA DE “NOTES” Y “MASS FLOW CONTROL”**

14. Seleccionar el botón “Finish” para comenzar el análisis de la muestra.

## CAPÍTULO 3

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

#### 3.1. Resultados de Métodos Convencionales

##### Análisis microbiológico

Los resultados de los recuentos microbiológicos de aerobios totales, mohos y levaduras se observan en la tabla 9.

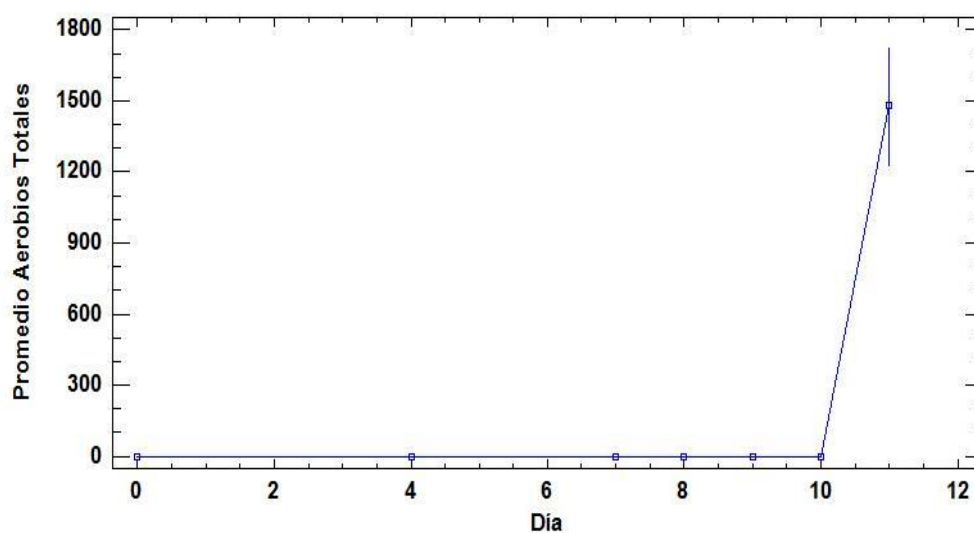
**TABLA 9**  
**RESULTADO MICROBIOLÓGICO EN PAN MOLDE BLANCO**  
**(UFC/g)**

<b>Día</b>	<b>Aerobios Totales</b>	<b>Mohos y Levaduras</b>
0	0.0 +/- 0.0	0.0 +/- 0.0
4	0.0 +/- 0.0	0.0 +/- 0.0
7	0.0 +/- 0.0	0.0 +/- 0.0
8	0.0 +/- 0.0	0.0 +/- 0.0
9	0.0 +/- 0.0	0.0 +/- 0.0
10	0.0 +/- 0.0	0.0 +/- 0.0
11	1480 +/- 250.99	50 +/- 52.91

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

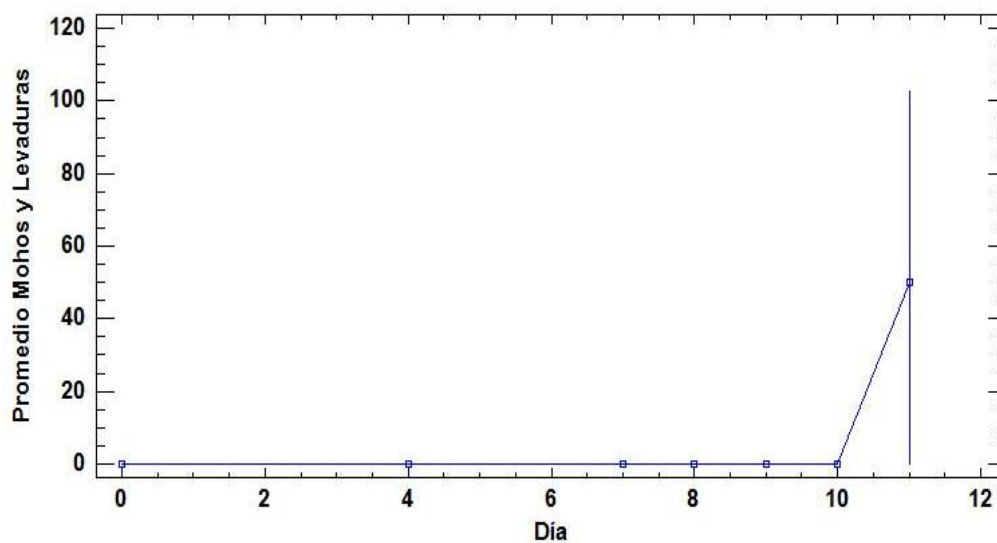
En microbiología los valores expresados como  $<10$  se estiman como ausencia, por lo que se consideró como “cero” para efectos de cálculos estadísticos.

En la figura 3.1 y 3.2 se muestran el crecimiento microbiológico de aerobios totales, mohos y levaduras, respectivamente, que se generan en el transcurso de los días de almacenamiento del pan molde blanco.



**FIGURA 3.1 CRECIMIENTO MICROBIOLÓGICO DE AEROBIOS TOTALES EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



**FIGURA 3.2 CRECIMIENTO MICROBIOLÓGICO DE MOHOS Y LEVADURAS EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

Se evidenció que en el día once existe un crecimiento microbiológico que supera los límites establecidos por la norma mexicana.

### **Análisis Físicos**

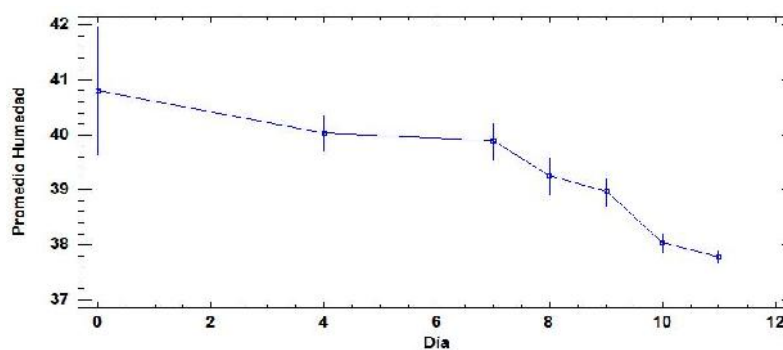
Los resultados de los análisis del porcentaje humedad se detallan en la tabla 10.

**TABLA 10**  
**RESULTADOS DE PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)**

Día	Humedad
0	39.85 +/- 1.16
4	39.67 +/- 2.18
7	39.22 +/- 1.29
8	38.63 +/- 1.418
9	38.96 +/- 0.26
10	38.03 +/- 0.43
11	37.78 +/- 0.66

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

En la figura 3.3 se muestra el comportamiento de pérdida del porcentaje de humedad del pan molde blanco en el transcurso de los días.



**FIGURA 3.3 PÉRDIDA DE HUMEDAD (%) EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

Los resultados muestran que el pan molde blanco pierde alrededor del 2% de su humedad desde el día de su elaboración hasta el transcurso de los 9 días de vida útil. En el anexo A se muestra los resultados estadísticos para la pérdida de humedad del pan molde blanco.

En el análisis de ANOVA se obtuvo un valor-P 0.002 que indica que existe una diferencia significativa entre las medias de la pérdida del porcentaje de humedades en el transcurso de los días durante el almacenamiento del pan molde blanco con un nivel del 95% de confianza.

La prueba de múltiples rangos muestra cómo se comportan los pares según los días de almacenamiento. Se identificó que al noveno día ya existe un cambio significativo en el porcentaje de la humedad con respecto a los días anteriores.

### **Análisis reológicos**

#### **Penetrómetro**

Los resultados de la medición de textura con el penetrómetro se muestran en la tabla 11.

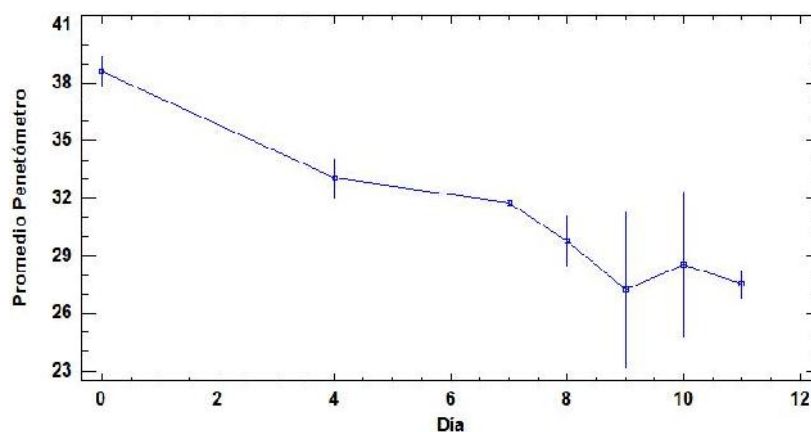
**TABLA 11**  
**RESULTADOS DE MEDICIÓN CON EL PENETRÓMETRO (mm)**

<b>Día</b>	<b>Medición</b>
0	38.63 +/- 0.75
4	33.06 +/- 1.05
7	31.76 +/- 0.15
8	29.80 +/- 1.35
9	27.23 +/- 4.07
10	28.56 +/- 3.79
11	27.56 +/- 0.73

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

En la figura 3.4 se muestra el comportamiento de la pérdida de la suavidad del pan molde blanco a través del tiempo. A partir del día 7 se evidenció un decrecimiento de la pérdida de suavidad y una desviación amplia entre los datos obtenidos, esto se debió a que los resultados están directamente relacionados con la fuerza que ejerce la persona que realiza la prueba.





**FIGURA 3.4 PÉRDIDA DE SUAVIDAD (MM) EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

En el anexo B se muestra los resultados estadísticos para la suavidad.

En el análisis ANOVA se obtuvo un valor-P de 0.003 que indica que existe una diferencia significativa entre las medias de la pérdida de suavidad en el transcurso de los días durante el almacenamiento del pan molde blanco con un nivel del 95% de confianza.

### **Texturómetro**

El análisis con el texturómetro se realizó a base de tres atributos del pan: dureza, firmeza y masticabilidad. En la tabla 12 se muestra el resumen de los resultados obtenidos.

**TABLA 12**  
**RESULTADO DE MEDICIÓN CON TEXTURÓMETRO EN EL PAN**  
**MOLDE BLANCO**

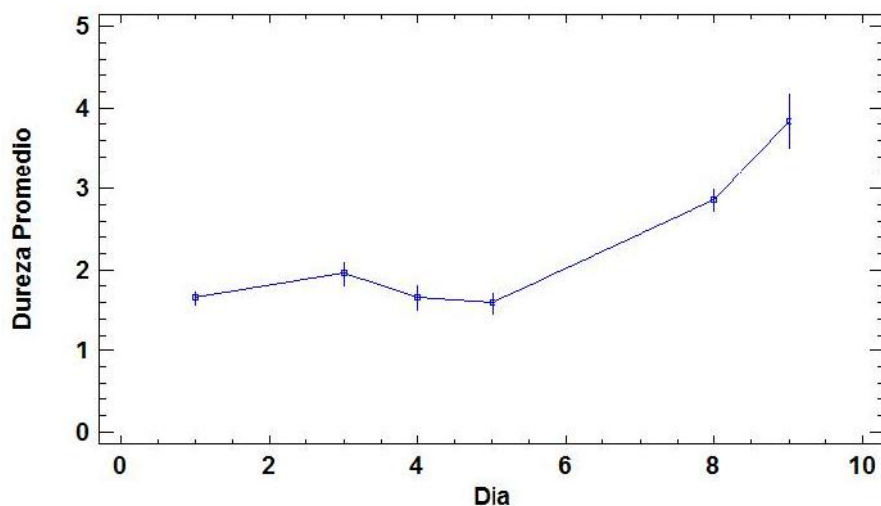
<b>Día</b>	<b>Dureza</b>	<b>Firmeza</b>	<b>Masticabilidad</b>
1	1.66 +/- 0.08	1.22 +/- 0.06	5.62 +/- 0.25
2	2.19 +/- 0.14	1.53 +/- 0.09	6.90 +/- 0.52
3	1.95 +/- 0.14	1.59 +/- 0.11	7.47 +/- 0.61
4	1.66 +/- 0.15	1.23 +/- 0.22	5.95 +/- 0.78
5	1.59 +/- 0.13	1.25 +/- 0.09	5.43 +/- 0.49
8	2.86 +/- 0.13	2.01 +/- 0.11	8.99 +/- 0.64
9	3.84 +/- 0.33	2.58 +/- 0.20	11.74 +/- 0.83

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

En el anexo C, D y, E se muestran los resultados estadísticos para la dureza, firmeza y masticabilidad, respectivamente.

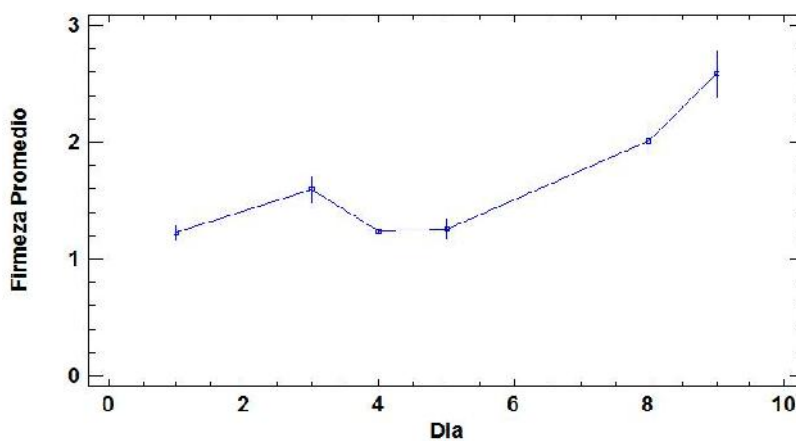
En los análisis ANOVA para la dureza, firmeza y masticabilidad del pan molde blanco, se obtuvieron valores-P menor a 0.05, indica que existen diferencias significativas entre las medias de los atributos mencionados del pan molde blanco durante el almacenamiento con un nivel de confianza del 95%.

Las figuras 3.5, 3.6, 3.7 muestran los comportamientos a través del tiempo de cada uno de los atributos: dureza, firmeza y masticabilidad, respectivamente.



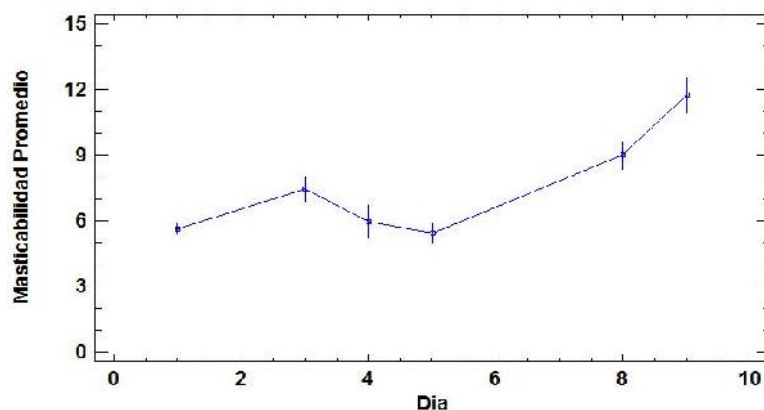
**FIGURA 3.5 AUMENTO DE DUREZA (N) EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



**FIGURA 3.6 AUMENTO DE FIRMEZA (N) EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



**FIGURA 3.7 AUMENTO DE MASTICABILIDAD (mJ) EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

Se concluyó que los tres atributos analizados: dureza, firmeza y masticabilidad del pan molde blanco se encuentran relacionadas, demostrando un patrón de comportamiento similar en el transcurso de los 9 días de almacenamiento. En las figuras se definen 2 tiempos: Los primeros cinco días cuando los valores permanecen casi constantes, para luego experimentar un segundo momento de crecimiento acelerado en dichas variables a partir del sexto día.

### **Análisis sensorial**

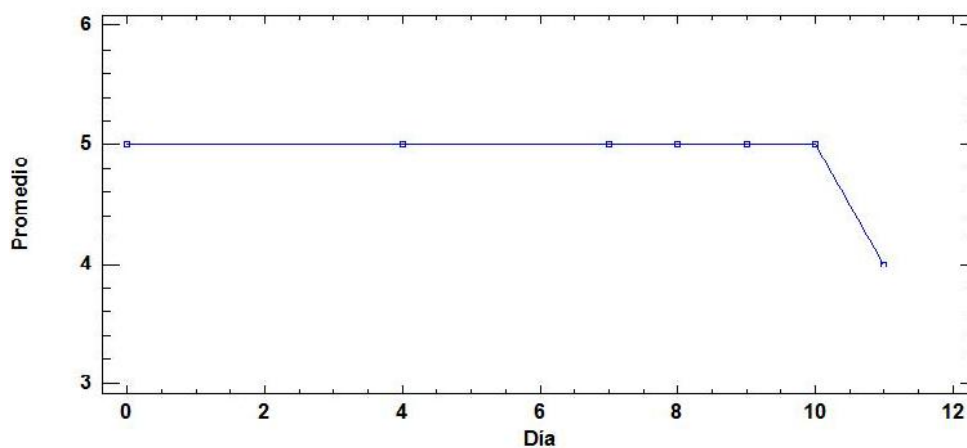
Los resultados de los análisis sensoriales se encuentran en la tabla 13.

**TABLA 13**  
**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS SENSORIALES**

Día	Olor	Sabor	Textura
0	5.00 +/- 0.00	5.00 +/- 0.00	5.00 +/- 0.00
4	5.00 +/- 0.00	5.00 +/- 0.00	4.00 +/- 0.00
7	5.00 +/- 0.00	5.00 +/- 0.00	3.00 +/- 0.00
8	5.00 +/- 0.00	4.00 +/- 0.00	2.00 +/- 0.00
9	5.00 +/- 0.00	4.00 +/- 0.00	2.00 +/- 0.00
10	5.00 +/- 0.00	4.00 +/- 0.00	1.33 +/- 0.57
11	4.00 +/- 0.00	3.00 +/- 0.00	1.00 +/- 0.00

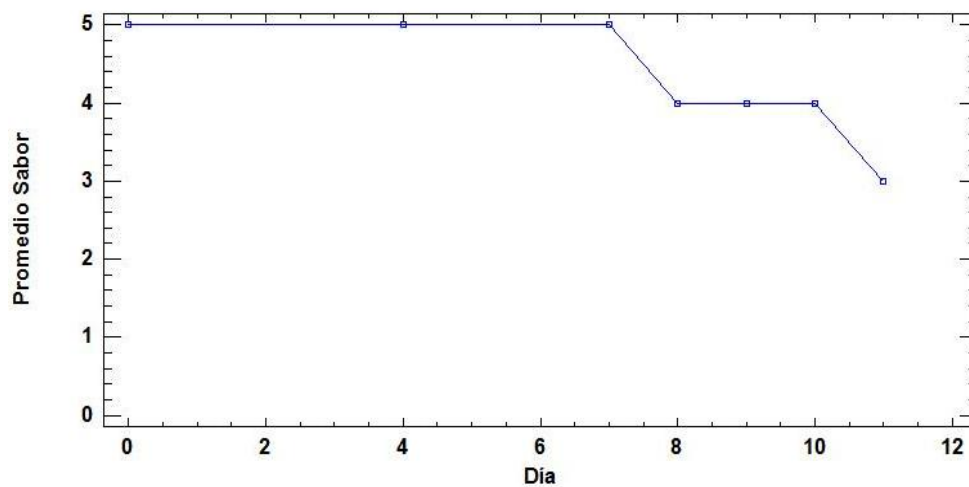
Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2012

En las figuras 3.8, 3.9, 3.10 se muestran los comportamientos de las pérdidas de los atributos organolépticos analizados en el pan molde blanco: olor, sabor y textura, respectivamente.



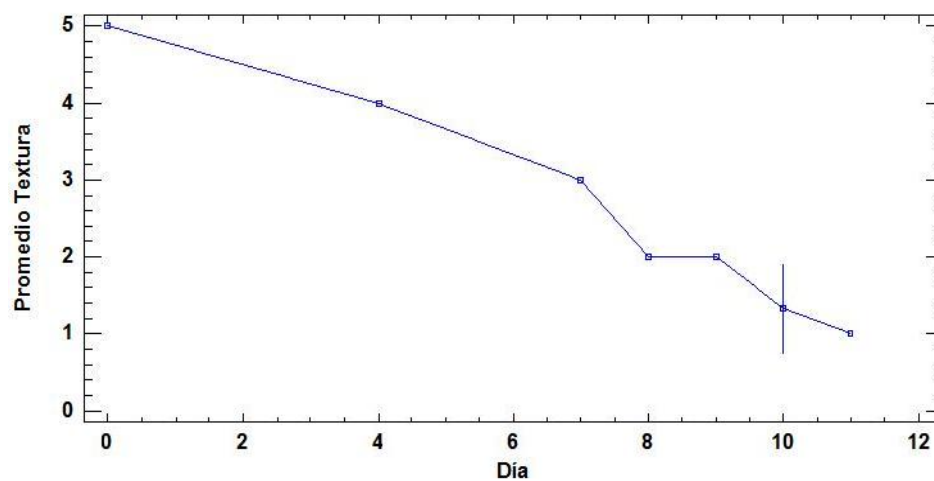
**FIGURA 3.8 ANÁLISIS DE OLOR EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



**FIGURA 3.9 ANÁLISIS DE SABOR EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



**FIGURA 3.10 ANÁLISIS DE TEXTURA EN EL PAN MOLDE BLANCO**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

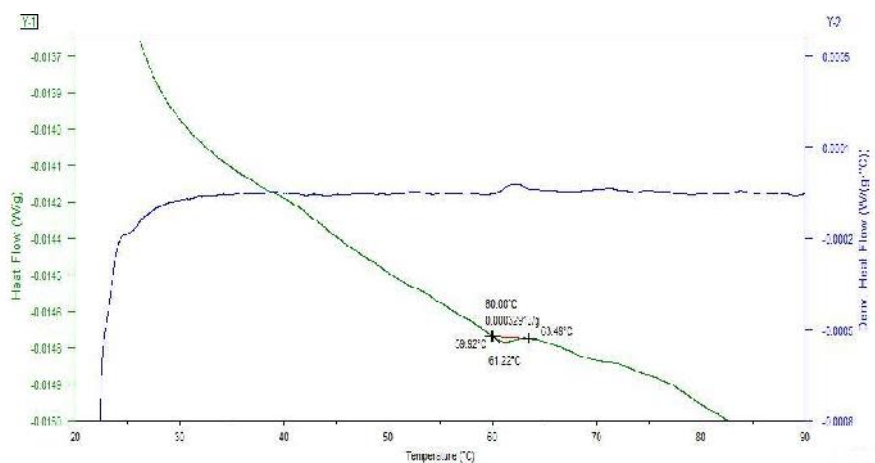
Las figuras muestran la pérdida de los atributos organolépticos principales del pan. La pérdida del olor disminuye de manera más lenta que el de los demás atributos. El pan molde blanco mantiene su olor característico hasta el décimo día.

El sabor característico del pan molde blanco se mantiene hasta el séptimo día, se consideró que el atributo se pierde moderadamente y se mantiene en los días 8, 9 y 10.

El atributo de la textura en el transcurso del tiempo va perdiendo su aceptación, se consideró que a partir del día 8 ya existe un disgusto moderado del producto.

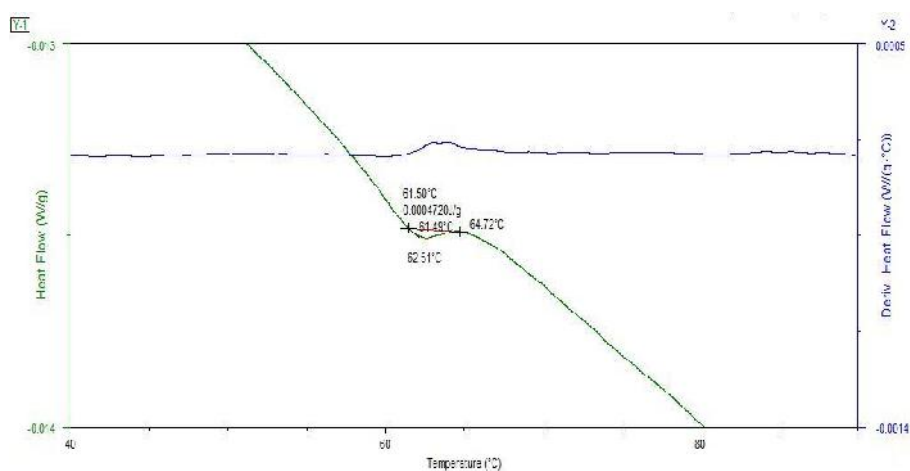
### **3.2. Resultados del Análisis Térmico (DSC)**

Con el análisis térmico se obtuvo las siguientes termogramas correspondientes a los días 4 y 8, figura 3.11 y 3.12 respectivamente, donde se aprecia el aumento de las entalpías de retrogradación del pan, Hr. Estas entalpías son el calor absorbido por la muestra y el calor absorbido por la referencia, indicando las transiciones y modificaciones que ocurre en la estructura del gránulo de almidón.



**FIGURA 3.11 CURVA DE RETROGRADACIÓN DEL PAN MOLDE BLANCO EN EL DÍA 4**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



**FIGURA 3.12 CURVA DE RETROGRADACIÓN DEL PAN MOLDE BLANCO EN EL DÍA 8**

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



Las figuras muestran que las entalpías de retrogradación obtenidas están relacionadas con el aumento de temperatura y los días de almacenamiento del pan. La temperatura de retrogradación del pan molde blanco se encontró dentro del rango de 60°C y 65°C.

La metodología establecida para el calorímetro diferencial de barrido se seleccionó de manera que abarque los rangos de temperatura en los que ocurre el proceso de retrogradación con velocidades de calentamiento mínimas de 5 °C/min para poder visualizar con mayor exactitud los cambios que ocurren en la retrogradación. (15).

### **3.3. Comparación entre los Métodos Convencionales y el Análisis Térmico**

A excepción de los análisis microbiológicos, existió una similitud entre los resultados obtenidos con los diferentes métodos realizados:

- La determinación de humedad, suavidad (penetrómetro) y sensorial, demostraron que a partir del día 7 ya existe un cambio significativo que altera las características organolépticas y físicas del pan molde blanco. La pérdida de humedad, se

debió a que existe una migración del agua libre de la miga del pan hacia la corteza.

- El texturómetro demostró con más precisión el día en que comenzó el endurecimiento del pan molde blanco, quinto día de almacenamiento. Los resultados obtenidos se consideraron más confiables debido a que la fuerza que ejerce el equipo no depende de la intervención humana, como es el caso del penetrómetro.
- El equipo calorímetro diferencial de barrido (DSC Q200) obtiene datos más específicos sobre el endurecimiento del pan. Sin embargo, no se logró obtener datos concluyentes para relacionarlo con los métodos convencionales.
- El análisis de microbiología para fin de determinar el endurecimiento del pan no se consideró necesario. No existió una relación que indique en qué día el pan envejece. El análisis sirve para determinar en qué día el pan deja de ser apto para el consumo.

## CAPÍTULO 4

### 4. CONCLUSIONES.

Los datos obtenidos con el Calorímetro Diferencial de Barrido, DSC Q200, en la experimentación para determinar la retrogradación del pan molde blanco, no permitió demostrar la utilidad y precisión de los métodos no convencionales, debido a que por factor económico no se logró analizar con la metodología seleccionada los 9 días de vida útil del pan. Teniendo pocos datos que no permitió concluir alguna relación de comportamiento del envejecimiento del producto.

Sin embargo, los análisis convencionales relacionados a la textura, permitieron tener datos concluyentes sobre el envejecimiento del pan molde blanco. A partir del séptimo día, se comenzó a tener un cambio significativo en las características organolépticas y físicas del pan. Esto se corroboró con los análisis sensoriales realizados para determinar la aceptación del producto durante el tiempo de almacenamiento del pan.

A nivel industrial, no se considera factible el uso del equipo DSC por motivo de su alto costo operativo. Si se deseara aplicarlo será necesario encontrar un reemplazo al sistema actual de refrigeración del equipo, siendo el principal rubro que eleva los costos de la experimentación.

Debido a que no se logró conocer el mecanismo exacto de la retrogradación del pan, se recomienda realizar análisis basados en otros estudios para poder establecer los parámetros adecuados para el uso del DSC Q200 en el pan molde blanco y determinar su retrogradación.

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## RESULTADOS ESTADÍSTICOS PARA LA PÉRDIDA DE HUMEDAD DEL PAN MOLDE BLANCO

**Resumen Estadístico para Humedad**

Días	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
0	3	40.81	1.17741	2.88511%	39.5	41.78	2.28
4	3	40.04	0.330454	0.82531%	39.82	40.42	0.6
7	3	39.8933	0.334714	0.839022%	39.63	40.27	0.64
8	3	39.2633	0.342394	0.872044%	38.9	39.58	0.68
9	3	38.9633	0.26839	0.688828%	38.66	39.17	0.51
10	3	38.3667	0.175024	0.456187%	38.19	38.54	0.35
11	3	38.12	0.108167	0.283753%	38.03	38.24	0.21
Total	21	39.351	1.00741	2.56007%	38.03	41.78	3.75

Días	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
0	-0.842236	
4	1.17948	
7	0.953888	
8	-0.425633	
9	-0.997389	
10	-0.0605789	
11	0.814636	
Total	1.34947	0.277352

**Tabla ANOVA para Humedad por Días**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	16.6193	6	2.76989	10.54	0.0002
Intra grupos	3.67827	14	0.262733		
Total (Corr.)	20.2976	20			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Humedad por Días**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Días	Casos	Media	Grupos Homogéneos
11	3	38.12	X
10	3	38.3667	XX
9	3	38.9633	XX
8	3	39.2633	XX
7	3	39.8933	X
4	3	40.04	XX
0	3	40.81	X

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

## APÉNDICE B

### RESULTADOS ESTADÍSTICOS DEL PENETRÓMETRO (SUAVIDAD) DEL PAN MOLDE BLANCO

**Resumen Estadístico para Penetrómetro**

Días	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
0	3	38.6333	0.757188	1.95993%	38.1	39.5	1.4
4	3	33.0667	1.0504	3.1766%	32.0	34.1	2.1
7	3	31.7667	0.152753	0.480858%	31.6	31.9	0.3
8	3	29.8	1.35277	4.53951%	28.5	31.2	2.7
9	3	27.2333	4.07226	14.9532%	24.4	31.9	7.5
10	3	28.5667	3.7899	13.2669%	24.2	31.0	6.8
11	3	27.5667	0.737111	2.67392%	27.0	28.4	1.4
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>30.9476</b>	<b>4.23894</b>	<b>13.6971%</b>	<b>24.2</b>	<b>39.5</b>	<b>15.3</b>

Días	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
0	1.12932	
4	-0.100875	
7	-0.6613	
8	0.233933	
9	1.14218	
10	-1.20081	
11	1.00049	
<b>Total</b>	<b>0.722194</b>	<b>-0.0784914</b>

**Tabla ANOVA para Penetrómetro por Días**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	289.332	6	48.2221	<b>9.64</b>	<b>0.0003</b>
Intra grupos	70.04	14	5.00286		
<b>Total (Corr.)</b>	<b>359.372</b>	<b>20</b>			

**Pruebas de Múltiple Rangos para Penetrómetro por Días**

Método: 95.0 porcentaje LSD

Días	Casos	Media	Grupos Homogéneos
9	3	27.2333	X
11	3	27.5667	X
10	3	28.5667	XX
8	3	29.8	XXX
7	3	31.7667	XX
4	3	33.0667	X
0	3	38.6333	X

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

## APÉNDICE C

### RESULTADOS ESTADÍSTICOS PARA LA DUREZA DEL PAN MOLDE BLANCO

Resumen Estadístico para DUREZA (N)

DIAS	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo	Máximo	Rango
1	3	1.66033	0.085804	5.16788%	1.579	1.75	0.171
2	3	2.19	0.147564	6.73806%	2.02	2.285	0.265
3	3	1.958	0.147564	7.53644%	1.863	2.128	0.265
4	3	1.66867	0.157386	9.43184%	1.559	1.849	0.29
5	3	1.59833	0.138551	8.66846%	1.451	1.726	0.275
8	3	2.86033	0.138954	4.85798%	2.702	2.962	0.26
9	3	3.84267	0.33383	8.68745%	3.476	4.129	0.653
Total	21	2.25405	0.799242	35.4581%	1.451	4.129	2.678

DIAS	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
1	0.306121	
2	-1.19948	
3	1.19948	
4	1.14068	
5	-0.442567	
8	-1.08183	
9	-0.721375	
Total	2.3114	0.493249

Tabla ANOVA para DUREZA (N) por DIAS

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	12.3245	6	2.05408	63.73	0.0000
Intra grupos	0.451259	14	0.0322328		
Total (Corr.)	12.7758	20			

DIAS	Casos	Media	Grupos Homogéneos
5	3	1.59833	X
1	3	1.66033	XX
4	3	1.66867	XX
3	3	1.958	XX
2	3	2.19	X
8	3	2.86033	X
9	3	3.84267	X

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013



## APÉNDICE D

### RESULTADOS ESTADÍSTICOS PARA LA FIRMEZA DEL PAN MOLDE BLANCO

**Resumen Estadístico para FIRMEZA (N)**

<i>DIAS</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
1	3	1.22567	0.0650333	5.30596%	1.175	1.299	0.124
2	3	1.535	0.0934398	6.08728%	1.43	1.609	0.179
3	3	1.59333	0.112429	7.05623%	1.523	1.723	0.2
4	3	1.239	0.223984	18.0778%	1.024	1.471	0.447
5	3	1.25767	0.0920072	7.31571%	1.165	1.349	0.184
8	3	2.012	0.112308	5.58189%	1.883	2.088	0.205
9	3	2.587	0.200052	7.73299%	2.356	2.703	0.347
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>1.63567</b>	<b>0.492671</b>	<b>30.1205%</b>	<b>1.024</b>	<b>2.703</b>	<b>1.679</b>

<i>DIAS</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
1	0.974319	
2	-0.939473	
3	1.21157	
4	0.240115	
5	-0.0461023	
8	-1.16721	
9	-1.22471	
<b>Total</b>	<b>1.96762</b>	<b>0.235942</b>

**Tabla ANOVA para FIRMEZA (N) por DIAS**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	4.58075	6	0.763458	<b>39.05</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	0.273738	14	0.0195527		
<b>Total (Corr.)</b>	<b>4.85449</b>	<b>20</b>			

<i>DIAS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
1	3	1.22567	X
4	3	1.239	X
5	3	1.25767	X
2	3	1.535	X
3	3	1.59333	X
8	3	2.012	X
9	3	2.587	X

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

## APÉNDICE E

### RESULTADOS ESTADÍSTICOS PARA LA MASTICABILIDAD DEL PAN MOLDE BLANCO

**Resumen Estadístico para MASTICABILIDAD (mJ)**

<i>DIAS</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coefficiente de Variación</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
1	3	5.62167	0.253001	4.50046%	5.369	5.875	0.506
2	3	6.906	0.523665	7.58275%	6.306	7.271	0.965
3	3	7.472	0.610553	8.17121%	7.022	8.167	1.145
4	3	5.952	0.782709	13.1503%	5.44	6.853	1.413
5	3	5.433	0.494945	9.10998%	5.112	6.003	0.891
8	3	8.99933	0.645592	7.17378%	8.266	9.482	1.216
9	3	11.7483	0.837366	7.12753%	10.792	12.35	1.558
Total	21	7.44748	2.21197	29.7009%	5.112	12.35	7.238

<i>DIAS</i>	<i>Sesgo Estandarizado</i>	<i>Curtosis Estandarizada</i>
1	0.00838459	
2	-1.14038	
3	1.07125	
4	1.19081	
5	1.19565	
8	-1.04922	
9	-1.10595	
Total	1.99114	0.222561

**Tabla ANOVA para MASTICABILIDAD (mJ) por DIAS**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	92.4827	6	15.4138	<b>40.16</b>	<b>0.0000</b>
Intra grupos	5.37317	14	0.383798		
Total (Corr.)	97.8559	20			

<i>DIAS</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos Homogéneos</i>
5	3	5.433	X
1	3	5.62167	X
4	3	5.952	XX
2	3	6.906	XX
3	3	7.472	X
8	3	8.99933	X
9	3	11.7483	X

Elaborado por: Jackeline Tenesaca B., Alejandro Quintong S., 2013

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) AIB INTERNATIONAL, Folleto de Curso por Correspondencia, Tecnología Aplicada a la Panificación, 2011, Módulo 1 y Módulo 5.
- (2) INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, Norma INEN 93, Pan Terminología, 1976.
- (3) INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, Norma INEN 94, Pan Clasificación por tamaño y forma; 1979.
- (4) FLORES, A.,. Estudio de Retrogradación de Almidón presente en las Tortillas, utilizando diversas técnicas, Tesis Maestría de Instituto Politécnico Nacional, México; 2006.
- (5) QUAGLIA, G., Ciencia y Tecnología de la Panificación, Acribia S.A, Zaragoza, España, 1991, Pag. 385-388.
- (6) Concepto de Retrogradación del Almidón. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Almid%C3%B3n>.
- (7) GRAY, J; BEMILLER, J., Bread Staling: Molecular Basis and Control, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2003, Vol. 2, Pag. 2.

- (8) TORRES, R., Efecto de la Adición de Hidrocoloides sobre las Características del Pan Recalentado en Horno Microondas, Tesis de Licenciatura de la Universidad de las Américas, Puebla, México, 2008.
- (9) SANDOVAL, A.; RODRÍGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, A., Aplicación del Análisis por Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) para la Caracterización de las Modificaciones del Almidón, DYNA, 2004, Vol 72. Pag 45-53.
- (10) ELIASSON, A.; LARSSON, K., Cereals in Breadmaking: a Molecular Colloidal Approach, Marcel Dekker, Inc., New York, EE.UU.
- (11) BILIADARIS, C.; ARVANITTOYANNIS, L.; IZYDROCZYCK, M.; PROKOPOWICH, D., Effect of Hydrocolloids on gelatinization and structure formation in concentrated waxy maize and wheat starch gel, Starch/Starke, 1997, Vol 49, Pag 278-283.
- (12) Esquema de Gelatinización del Almidón. Disponible en: <http://www.webs.ulpgc.es/nutranim/tema5.htm>.
- (13) NORMA OFICIAL MEXICANA, No. 247-SSA1-2008, Productos y Servicios de Productos de Panificación, 2008.
- (14) AOAC INTERNATIONAL, No. 925.10, Método de Determinación de Humedad, 1990.

- (15) BARCENAS, E.; ROSSELL C., Different approaches for increasing the self life of partially baked bread low temperatures and hydrocolloid addition, Food Chemistry, 2007, Vol 100, Pag 1594-1601.
- (16) BARCENAS, E.; ROSSELL C., Effect of HPMC addition in the microstructure quality and aging of wheat bread, Food Hydrocolloids, 2005, Vol 19, Pag 1037-1043.
- (17) RIBOTTA P., LE BAIL P., Thermo-physical assessment of bread during staling, LWT, 2007, Vol 40, Pag 879-884.
- (18) DSC Differential Scanning Calorimeter, TA Instruments. Disponible en: [http://www.artisanng.com/info/ta\\_differential\\_scanning\\_calorimeter\\_manual.pdf](http://www.artisanng.com/info/ta_differential_scanning_calorimeter_manual.pdf).
- (19) COELLO, V.; GARCÉS, C., Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC), Tesis de Grado de la ESPOL, Ecuador, 2012.