

1-1-2004

Evaluación de la vida útil de alta calidad en pan de corteza precocido, congelado y almacenado

Maribel Perilla Laitón
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos

Citación recomendada

Perilla Laitón, M. (2004). Evaluación de la vida útil de alta calidad en pan de corteza precocido, congelado y almacenado. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/314

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería de Alimentos by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE ALTA CALIDAD EN PAN DE CORTEZA
PRECOCIDO, CONGELADO Y ALMACENADO**

MARIBEL PERILLA LAITÓN

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
TESIS DE GRADO
SANTAFE DE BOGOTA D.C.
2.004**

**EVALUACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE ALTA CALIDAD EN PAN DE CORTEZA
PRECOCIDO, CONGELADO Y ALMACENADO**

MARIBEL PERILLA LAITÓN

**TESIS DE GRADO PRESENTADA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE ALIMENTOS**

**DIRECTOR
CARLOS CARDONA FADUL
INGENIERO DE ALIMENTOS**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
TESIS DE GRADO
SANTAFE DE BOGOTA D.C.**

2.004

Nota de Aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

*Quiero dedicar este logro en primer lugar a Dios,
quien me ha dado la vida y la fortaleza para
seguir adelante y alcanzar todos mis objetivos.*

*A mis padres por hacer de mí la persona que soy
y por darme su apoyo incondicional en todas y
cada una de las fases de mi vida.*

*A mis hermanos, quienes siempre están
dispuestos a ayudarme en todo lo que necesito.*

*A mi novio, por darme su amor y comprensión,
su compañía y apoyo en todo momento y por
darme la alegría de ser mamá.*

*Y en especial a mi hija, por ser el centro
de mi vida alrededor de la cual giran todos
mis sueños e ilusiones.*

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al profesor Carlos Cardona, por guiarme en la elaboración de mi trabajo de grado.

También quiero agradecer a Diana Ocampo, por su colaboración y disposición en el desarrollo de las prácticas.

Y finalmente a la profesora Luz Marina Arango y al profesor Alvaro Cocca por su colaboración.

CONTENIDO

	Pg.
OBJETIVOS	15
INTRODUCCION	16
1. ANTECEDENTES	19
1.1. LA CONGELACIÓN DEL PAN	19
1.2. EL ENDURECIMIENTO	21
1.2.1. Métodos para la valoración del endurecimiento	24
1.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL TÚNEL EN LA CONGELACIÓN DEL PAN	27
1.4. INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE AIRE EN LA CONGELACIÓN DEL PAN	28
1.5. LA DESCONGELACIÓN DEL PAN	29
1.6. TENDENCIAS ACTUALES EN PANIFICACIÓN	29
1.6.1. Tendencias que no incluyen aplicación de frío.	30
1.6.2. Tendencias con aplicación de frío.	30
1.6.2.1. Materias primas	32
1.6.2.2. Sistemas de elaboración.	41
1.6.2.3. Proceso de elaboración.	42
1.6.2.4. Ventajas e inconvenientes del pan precocido congelado	57
1.7. EVALUACIÓN SENSORIAL	58
1.7.1. Las propiedades sensoriales	58
1.7.1.1. El color	59
1.7.1.2. El olor	59
1.7.1.3. El aroma	60
1.7.1.4. El gusto o “sabor básico”	60
1.7.1.5. El sabor	61

	Pg.
1.7.1.6. La textura	62
1.7.2. Los jueces y las condiciones de prueba	66
2. METODOLOGÍA	71
2.1. MATERIALES Y MÉTODOS	71
2.1.1. Equipos, instrumentos y utensilios	71
2.1.2. Materias primas	72
2.1.3. Preparación de las muestras	73
2.1.3.1. Formulación obtenida para la elaboración de pan francés precocido congelado.	80
2.1.3.2. Proceso de elaboración obtenido para pan francés precocido congelado	82
2.1.3.3. Formulación obtenida para la elaboración de pan francés fresco	88
2.1.3.4. Proceso de elaboración obtenido para pan francés fresco	88
2.1.4. Evaluación sensorial para producto terminado	92
2.1.5. Medidas físicas	92
2.1.6. Análisis estadístico de resultados	93
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	100
3.1. MUESTRAS	100
3.1.1. Balance de materia para el pan francés precocido congelado	100
3.1.2. Balance de materia para el pan francés fresco	101
3.1.3. Balance de energía para el pan francés precocido congelado	102
3.1.4. Balance de energía para el pan francés fresco	105
3.2. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO	106
3.2.1. identificación satisfactoria del producto (pan francés precocido congelado)	108
3.3. MEDIDAS FÍSICAS	108

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	Pg. 118
BIBLIOGRAFÍA	122
ANEXOS	125

LISTA DE TABLAS

	Pg.
Tabla 1. Duración de la congelación y entidad de endurecimiento a diversas temperaturas de introducción del pan.	27
Tabla 2. Características de la harina para la elaboración de pan A partir de procesos tecnológicos con aplicación de frío.	35
Tabla 3. Formulación de masa madre	41
Tabla 4. Cuadro comparativo entre los procesos de fermentación Controlada, congelación de masas y pan precocido congelado Y sus diferentes condiciones de operación.	51
Tabla 5. Términos clasificados como atributos de textura.	64
Tabla 6. Definiciones de algunas características mecánicas primarias de textura.	65
Tabla 7. Definiciones de algunas características mecánicas secundarias de textura.	66
Tabla 8. Características alveográficas y Farinográficas de la harina Utilizada para elaborar pan francés precocido congelado	72
Tabla 9. Características alveográficas y Farinográficas de la harina Utilizada para elaborar pan francés fresco	73
Tabla 10. Tabla comparativa de formulaciones ensayadas.	74
Tabla 11. Tabla comparativa de procesos e elaboración de las Formulaciones ensayadas.	75
Tabla 12. Tabla comparativa de formulaciones ensayadas Vs. Formulación obtenida.	82
Tabla 13. Formulación obtenida para la elaboración de pan francés precocido congelado.	88
Tabla 14. Calores específicos de las materias primas	103

	Pg.
Tabla 15. Consumo calórico por equipo para el pan francés precocido congelado	104
Tabla 16. Consumo calórico por equipo para el pan francés fresco	106
Tabla 17. Datos obtenidos en el panel de evaluación sensorial.	107
Tabla 18. Resultados promedio en % de humedad para el pan Francés precocido congelado durante 12 semanas.	109
Tabla 19. Cuadro de análisis de varianza (% humedad en el pan francés precocido congelado).	110
Tabla 20. Tabla de comparación del valor F para semanas (% humedad en el pan francés precocido congelado).	110
Tabla 21. Tabla de comparación del valor F para muestras (% humedad en el pan de corteza precocido congelado).	110
Tabla 22. Resultados promedio de dureza en Kg/cm ² para el Pan francés precocido congelado.	111
Tabla 23. Cuadro de análisis de varianza (Dureza en el pan francés precocido congelado).	112
Tabla 24. Tabla de comparación del valor F para semanas (dureza en el pan francés precocido congelado).	112
Tabla 25. Tabla de comparación del valor F para muestras (dureza en el pan francés precocido congelado).	112
Tabla 26. Resultados promedio en % de humedad para el pan francés fresco.	113
Tabla 27. Cuadro de análisis de varianza (% humedad en el pan francés fresco).	114
Tabla 28. Tabla de comparación del valor F para semanas (% humedad en el pan francés fresco).	114
Tabla 29. Tabla de comparación del valor F para muestras (% humedad en el pan francés fresco).	115

	Pg.
Tabla 30. Resultados promedio de dureza en Kg/cm ² para el Pan francés fresco durante 12 semanas.	115
Tabla 31. Cuadro de análisis de varianza (Dureza en el pan Francés fresco).	116
Tabla 32. Tabla de comparación del valor F para semanas (dureza en el pan francés fresco).	116
Tabla 33. Tabla de comparación del valor F para muestras (dureza en el pan francés fresco).	117

LISTA DE DIAGRAMAS

	Pg.
Diagrama 1. Proceso de Fermentación Controlada.	53
Diagrama 2. Proceso de masas congeladas.	54
Diagrama 3. Proceso de pan precocido congelado.	55
Diagrama 4. Diagramas de flujo comparativos de las tendencias actuales en panificación que conllevan aplicación de frío industrial.	56
Diagrama 5. Proceso de elaboración para la formulación 1.	77
Diagrama 6. Proceso de elaboración para la formulación 2.	78
Diagrama 7. Proceso de elaboración para la formulación 3.	79
Diagrama 8. Proceso de elaboración obtenido para pan francés precocido congelado.	90
Diagrama 9. Proceso de elaboración obtenido para pan francés fresco.	91

LISTA DE GRÁFICOS

	Pg.
Gráfico 1. Ejemplo de alveograma.	33
Gráfico 2. Efecto de las células de levadura en la primera cocción en pan precocido congelado.	48
Gráfico 3. Relación entre los cinco sentidos y las propiedades sensoriales de los alimentos.	58
Gráfico 4. Curva de congelación para la muestra 1.	85
Gráfico 5. Curva de congelación para la muestra 2.	85
Gráfico 6. Curva de congelación para la muestra 3.	86
Gráfico 7. Curva de congelación para la muestra 4.	86
Gráfico 8. Temperatura de la cámara Vs. Tiempo.	87

LISTA DE ANEXOS

	Pg.
ANEXO A. Cálculos del balance de materia para el pan francés precocido congelado.	125
ANEXO B. Cálculos del balance de materia para el pan francés fresco.	126
ANEXO C. Cálculos del balance de energía para el pan francés precocido congelado	126
ANEXO D. Cálculos del balance de energía para el pan francés fresco	128
ANEXO E. Cálculos del % de humedad promedio en el pan de francés precocido congelado.	129
ANEXO F. Cálculos de la dureza promedio en el pan francés precocido congelado.	131
ANEXO G. Cálculos de ANOVA para el % de humedad en el pan francés precocido congelado.	133
ANEXO H. Cálculos de ANOVA para la dureza en el pan francés precocido congelado.	135
ANEXO I. Cálculos del % de humedad promedio en el pan francés fresco.	138
ANEXO J. Cálculos de la dureza promedio en el pan de francés fresco.	140
ANEXO K. Cálculos de ANOVA para el % de humedad en el pan francés fresco.	142
ANEXO L. Cálculos de ANOVA para la dureza en el pan francés fresco.	144
ANEXO M. Tabla de valores críticos para F	146
ANEXO N. Tabla No. mínimo de juicios correctos para establecer Significancia	148
ANEXO O. Formato para panel triangular.	149

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la Vida Útil de Alta Calidad del pan de corteza, precocido congelado durante su almacenamiento, buscando suministrar al consumidor de éste, un pan de buena calidad fisicoquímica y sensorial.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ◆ Determinar la pérdida de calidad fisicoquímica y sensorial en el pan de corteza precocido congelado durante su almacenamiento.
- ◆ Determinar los tiempos y temperaturas de almacenamiento donde se presume se presentan pérdidas de calidad en el pan de corteza precocido congelado para así mismo determinar y evaluar cuáles son las condiciones adecuadas para su almacenamiento.
- ◆ Proporcionar herramientas para el aprovechamiento efectivo de la congelación del pan de corteza precocido supervisando su vida útil de alta calidad.

INTRODUCCIÓN

El pan es considerado uno de los alimentos más antiguos de la historia, el consumo de éste producto hace parte de la alimentación diaria en la mayoría de los países del mundo; su principal componente es la harina la cual se extrae del trigo para su proceso, también se conoce que hacía parte del quehacer de las amas de casa pues con su destreza manual aplicaban su creatividad para definir sus formas y atributos; sin embargo, en Colombia, las panaderías nacieron en los núcleos familiares y poco a poco se fueron creando pequeños negocios caracterizados por su producción netamente artesanal¹.

De otra parte, la industria panificadora como tal tiene sus comienzos hace algunas décadas y actualmente son pocas las industrias tecnificadas en este sector de los alimentos; pero es de resaltar, que nuestra industria ha estado a la vanguardia de los cambios a través del tiempo así: inicialmente con procesos de alta aplicación de mano de obra; luego métodos semimecanizados y siguiendo el reto del cambio tecnológico, se han adoptado sistemas de procesos aplicados a productos preformados cuya terminación se lleva a cabo en las unidades de venta, donde el manejo del producto se realiza por medio de refrigeración, congelación o ultracongelación.

De los procesos descritos se han adelantado nuevos ensayos con fermentación controlada y es así que en la actualidad la tecnología de panadería ha avanzado en países de Europa y los Estados Unidos con industrias mecanizadas completamente y se hace uso de sistemas continuos de banda transportadora y equipos neumáticos; de ahí que la revolución de los últimos años no sólo en panadería sino en la industria alimenticia en general, representa el uso de la tecnología de frío mediante la ultracongelación por medio de amoníaco y otros refrigerantes para la conservación, manejo y transporte de los productos a largas distancias, así como el aprovechamiento de espacio y manipulación de los puntos de distribución¹.

Los estudios de Singh², relacionados con ingeniería de alimentos, muestran que en la actualidad a nivel mundial se ha venido implementando la congelación de un sin número de productos, dentro de ellos el pan de corteza precocido, como un método de conservación en el cual no se han determinado ni evaluado las pérdidas de la calidad que este puede sufrir durante su almacenamiento, por consiguiente, el no aseguramiento de la vida útil de alta calidad del producto y el no aprovechamiento con efectividad de ésta tecnología, son aspectos que la ciencia y la tecnología de los alimentos debe dilucidar con miras a encontrar soluciones para este campo del sector alimenticio.

En nuestro país, la congelación y ultracongelación del pan de corteza precocido se ha ido adoptando principalmente por grandes cadenas de hipermercados como

Carulla, Carrefour, Éxito, Olímpica, etc, como lo muestra la investigación realizada por Martínez¹, de otra parte el trabajo de Velandia³ muestra que a éste producto no se le ha determinado el tiempo adecuado de almacenamiento, ni sus pérdidas de calidad en lo referente a crocancia, aroma, sabor e incrementos en dureza al compararse con producto fresco.

Por lo anterior, este trabajo se ha enfocado a determinar por métodos matemáticos, a partir de datos experimentales, la variación de los tiempos y temperaturas de almacenamiento de pan de corteza precocido congelado. Se enfatizará en evaluar las pérdidas de calidad sensorial teniendo en cuenta el concepto de vida útil de alta calidad definido como: *“Tiempo transcurrido entre la congelación de un producto de alta calidad y el momento que por valoración sensorial, se observe una diferencia estadística significativa de la pérdida de ésta en sus propiedades”*.

Así será posible optimizar la técnica de congelación de pan de corteza precocido la cual como se mencionó, se ha ido expandiendo en nuestro país en hipermercados con sus llamados “puntos calientes” donde es consumido el producto en forma directa en el mismo lugar de venta, siendo allí donde se han detectado los problemas de aroma, crocancia, sabor y dureza.

1. ANTECEDENTES

1.1. LA CONGELACIÓN DEL PAN

la congelación del pan es una técnica que nació en los Estados Unidos. alrededor de 1.977, la cual se enfocó hacia la satisfacción de las necesidades de un mercado específico, el pan de casa, sin imaginarlo, esta idea fue tomando terreno en la industria panificadora, hasta llegar a restaurantes y subsidios de panaderías en donde se hornea y se vende el producto, sin embargo, es importante hacer notar que el pan precocido congelado no va a reemplazar al pan tradicional elaborado en panaderías convencionales.

En Colombia, país en desarrollo y con crecimiento acelerado de su población, es necesario buscar soluciones a problemas de encarecimiento que existen en el sector panificador, por eso se busca llenar el vacío existente en panes precocidos congelados ofreciendo al cliente producto fresco en el momento que lo demande. Vale resaltar que esta tecnología requiere de una inversión inicial en el equipamiento necesario para realizar el producto pero se compensa en un mediano plazo con ahorro de tiempo, mano de obra y control de devoluciones al no tener panes que pierdan sus propiedades sensoriales por la sencillez y la rapidez con que el consumidor puede acceder al mismo.⁴

En productos horneados como el pan, es conocido que la gelatinización del almidón es parte importante del pan recién horneado; también está dilucidado que

durante su enfriado y mientras se recristaliza o retrograda el almidón, el producto puede endurecer⁴. También se conoce que el pan en pocas horas varía en sus características sensoriales tendiendo a perder crocancia en su corteza, elasticidad en su miga y el aroma característico, llegando incluso a tornarse indeseable; las modificaciones descritas son el resultado de un proceso fisicoquímico conocido como endurecimiento, en el cual se considera intervienen múltiples factores como la migración de humedad, evaporación de agua y retrogradación del almidón⁵.

Los estudios de Quaglia⁵, han ilustrado que la temperatura de conservación ejerce una acción determinante en la velocidad de endurecimiento y es así que en el intervalo entre +50 y -7°C dicha velocidad aumenta a medida que se acerca a valores de temperatura de -2°C; y es a esta temperatura que el fenómeno de endurecimiento alcanza su máxima intensidad; también es sabido que a temperaturas inferiores o superiores se producen condiciones de relativa estabilidad y el producto elaborado puede conservar su estado de fresca por largo período de tiempo, se excluye la posibilidad de conservar pan a +50°C pues este valor de temperatura favorece el desarrollo de mohos y es así que permanece como única posibilidad para prolongar el estado de fresca del pan, la conservación por debajo de -8°C, es decir como producto congelado.

En efecto en éstas condiciones no se tiene lugar la migración de agua desde el almidón al gluten lo cual también es considerado como otra posible causa de endurecimiento pues el agua se encuentra en gran parte congelada; pero es de fundamental importancia para el éxito de la operación el que el pan elaborado

supere muy rápidamente la temperatura entre 0 y -2°C, zona en la cual se conoce que ocurre la máxima velocidad en el proceso de endurecimiento.

1.2. EL ENDURECIMIENTO

De acuerdo con Quaglia⁵, los productos a base de harina de trigo, sobre todo si tienen un elevado contenido de humedad encuentran dos fenómenos alteradores: el endurecimiento y la aparición de moho; ambos fenómenos pueden ser, si no anulados, al menos retardados, partiendo de particulares precauciones técnicas pues se sabe que el pan recién horneado presenta corteza crocante, miga mórbida, elástica, húmeda y no se desmigaja; pero con el paso del tiempo dichas características sufren cambios sustanciales, mientras su corteza se ablanda y luego endurece, la miga se desmigaja y endurece posteriormente. Por lo anterior, el conjunto de los cambios descritos forma parte de los fenómenos conocidos con el nombre de endurecimiento del pan y las causas de su proceso son múltiples y en parte aún desconocidas.

Durante la conservación, y especialmente en los momentos, que siguen a la cocción, en la superficie del producto se produce evaporación de la humedad lo cual inicialmente ablanda la corteza para después endurecerla; entonces para reducir dicho fenómeno debería mantenerse el producto en un ambiente cuya humedad relativa esté en el rango del 65 al 75% pues se sabe que a mayor humedad la evaporación aumenta. Por eso en la conservación del pan embalado es necesario emplear materiales permeables al agua para que la humedad generada pueda migrar salir a través de dicha envoltura.

Se ha estudiado que a veces el mecanismo que predomina en el envejecimiento de la miga es diferente y en efecto, el endurecimiento de la miga puede ocurrir incluso sin elevadas evaporaciones de agua. Así lo demuestran numerosas investigaciones indicando la existencia de variaciones en el contenido de humedad tanto en el almidón, como en el gluten.

Sobre esto último, algunos investigadores han demostrado que en el proceso de envejecimiento ocurre una migración de agua del almidón al gluten y otras veces de modo opuesto, sin embargo, otras experiencias han demostrado por el contrario que cuando la miga del pan contiene valores de humedad cercanas al 16.4% se retarda el endurecimiento pero, sólo cuando la humedad está comprendida dentro del rango del 16.4% y 16.8%.

De los estudios mencionados ha sido posible concluir lo siguiente:

- ◆ Después de la cocción del pan, la humedad del almidón es más elevada que la del gluten;
- ◆ La diferencia de humedad entre almidón y gluten es independiente de la humedad del almidón antes de la cocción;
- ◆ La diferencia de humedad entre el almidón y el gluten de la miga del pan puede superar el 5%;
- ◆ En las 24 horas después de la cocción no se ha comprobado ninguna migración del agua entre el almidón y el gluten y no parece que la aglomeración y endurecimiento de los gránulos de almidón puedan ser

decisivas para los cambios físicos que se producen en este período de tiempo en la miga.

En definitiva, según Quaglia⁵, los diversos datos y resultados obtenidos de numerosas y cuidadosas investigaciones, evidencian que los factores que intervienen en el proceso de endurecimiento, son múltiples y comprenden: migración de humedad, evaporación de agua y degradación del almidón.

Es interesante al respecto dilucidar las precauciones técnicas y aditivos que puedan retardar el endurecimiento; se conoce de algunos como: azúcar invertido, sorbitol, jarabe de malta, grasas especiales para la panificación y suero de leche, en lo referente a precauciones técnicas se sabe: elaboración de masa a baja temperatura mediante sistema indirecto y fermentación natural además cocción en la primera zona del horno a máxima temperatura, pues esta temperatura ejerce influencia determinante sobre la velocidad de endurecimiento y en particular para el pan, en el intervalo comprendido entre +50°C y -7°C, allí 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. Por otra parte temperaturas inferiores o superiores crean condiciones de relativa estabilidad y el producto puede mantener su estado de fresca por un largo período de tiempo.

1.2.1. Métodos para la valoración del endurecimiento.

Quaglia⁵ describe que diversos son los métodos utilizados para evaluar el grado de endurecimiento, van desde los más simples a los más sofisticados y se hace mediante técnicas instrumentales así:

- ◆ Métodos sensoriales:

Son sensibles y los primeros resultados se obtienen luego de 4-6 horas de la cocción del producto y en grado suficiente para percibir aromas propios derivados del proceso de envejecimiento pero, tienen el defecto de que algunos de ellos pueden ser subjetivos y no traducibles en términos numéricos.

- ◆ Métodos que evidencian la evolución de las estructuras del producto:

La estructura del producto puede evidenciarse con la determinación de trazadores de difracción de rayos X o mediante el empleo de resonancia magnética nuclear a baja resolución, pero dichas técnicas son utilizadas sólo con fines de investigación.

- ◆ Medidas de la propiedad reológica de la miga, emplea instrumentos como:

- ❖ Panímetro de Wensween (TNO-Wageningen);
- ❖ Compresímetro de Baker;
- ❖ Aparato Instron;
- ❖ Penetrómetro

Son instrumentos basados en medir el grado de deformación que se obtiene luego de un esfuerzo; los resultados se expresan como grado de compresibilidad o módulo de elasticidad.

- ◆ Estudio del estado físico del almidón:
 - ❖ Mediante análisis térmico para la fusión de la pasta se indican las diferencias según la estructura del producto.
 - ❖ El amilógrafo de Brabender, es un instrumento que permite registrar la viscosidad de una suspensión agua-harina a medida que aumenta la temperatura en el tiempo.
 - ❖ Aumento de la viscosidad de la pasta que se origina al gelatinizar el almidón, cuyo valor está influido por la acción de la enzima amilasa.
- ◆ Medida del contenido y de las características del almidón soluble:
 - ❖ Permite determinar la turbidez de un extracto de miga y posterior titulación fotométrica del complejo yodo-almidón.

Volviendo al tema de la congelación del pan, Quaglia⁵, advierte que experimentalmente se ha conseguido lo siguiente:

- ◆ Cada uno de los tipos de pan elaborados tiene una curva de enfriamiento, es así que: un producto con mayor tamaño requiere de mayor tiempo de congelación que uno más pequeño, en las mismas condiciones de trabajo;
- ◆ Cuanto más grande es la superficie de contacto, más rápida la congelación del producto;

- ◆ El enfriamiento es más rápido en congeladores de doble lámina con respecto a aquellos en los que el enfriamiento se produce sólo por debajo del producto; y es así que en el caso de congeladores de doble lámina se obtiene la congelación en un tiempo que se aproxima a la mitad del necesario en la congelación con lámina simple;
- ◆ La velocidad de enfriamiento disminuye con el aumento de la temperatura;. También es conocido que el volumen y la velocidad de la masa de aire que pasa sobre el producto influyen en la velocidad de la congelación.

Dado que el endurecimiento del pan se detiene en el momento en que el producto alcanza la temperatura de congelación, es decir entre -6 y -8°C será suficiente alcanzar este nivel térmico, para obtener el efecto deseado. En definitiva, considerando la importancia de la "Zona crítica" sobre la velocidad de congelación, debe resaltarse que este factor está influenciado por la temperatura, velocidad del aire, embalaje y características del pan; pero cuidado en el momento de introducir el pan en el congelador, este debe tener una temperatura comprendida en el rango de 30 a 40°C ; pues en otras ocasiones se aconseja temperaturas de $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

La temperatura del pan influye de modo apreciable sobre el tiempo de congelación y por consiguiente sobre el coste y además sobre las frigorías necesarias (Q_r), tabla 1. De allí se deduce que el valor acumulado del enfriamiento entre la salida

del horno y el fin de la congelación es tanto más alto, cuanto más elevada sea la temperatura del pan.

Tabla 1. Duración de la congelación y entidad del endurecimiento a diversas temperaturas de introducción del pan

Temperatura en el centro (°C)						
T° introducción	0	-5	-10	-15	-20	Entidad de endurecimiento (Qr)
30	1h16	2h00	2h40	3h02	3h25	2.800
70	0h55	1h20	1h55	2h40	3h15	2.380
22	0h35	0h45	1h00	1h20	2h00	2.000

FUENTE: Quaglia Giovanni. Ciencia y Tecnología de la panificación. Editorial Acribia. 1.991. Pg 404

1.3. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DEL TÚNEL EN LA CONGELACIÓN DEL PAN.

Teniendo en cuenta que es necesario pasar de +30°C a una temperatura de -8°C en menos de cuatro horas, las dimensiones de los elaborados constituyen limitantes. A igualdad de temperatura, como es obvio, la velocidad será tanto más elevada cuanto más reducidas sean las dimensiones del pan. De ello se deriva que las formas pequeñas (50g) pueden congelarse rápidamente aún disponiendo de temperaturas superiores a las consignadas.

Según Quaglia⁵, una temperatura de -30°C en el túnel de congelación, es más que suficiente para superar rápidamente la "Zona Crítica" con panes de 0.800 Kg.

Debido a que el punto de congelación del pan está comprendido entre -6 y -8°C , de donde se deriva que, a ese nivel, están prácticamente suspendidos los procesos de endurecimiento, por lo que no es necesario descender a temperaturas excesivamente bajas. Por otra parte no se tendrán mejores resultados y obtendremos un costo más reducido en la congelación y de otra forma se requería un equipo frigorífico más potente, con un mayor costo de instalación y servicio.

1.4. INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE AIRE EN LA CONGELACIÓN DEL PAN.

De acuerdo con Quaglia⁵, la velocidad del aire no influye prácticamente sobre la velocidad de congelación del pan embalado, mientras tiene una cierta influencia sobre el pan sin embalar debido a que el producto está en contacto directo con el aire. Se aconseja una velocidad del aire de 2.5-3 m/s. También la posición del pan respecto a la dirección del flujo del aire tiene influencia sobre la velocidad de congelación.

Para el pan no embalado, se nota, que poniéndolo en posición transversal respecto al flujo, la velocidad de congelación aumenta solo adoptando una alta velocidad del aire (3.5-6.6m/s), mientras que con baja velocidad (1m/s) la velocidad de congelación del producto no tiene sensibles variaciones.

Para el pan embalado, su posición no tiene ninguna influencia. En nuestro caso se utilizó pan no embalado.

1.5. LA DESCONGELACIÓN DEL PAN.

La fase final del tratamiento es la descongelación, operación igualmente delicada como las antes examinadas; sus condiciones son diferentes tratándose de pan cocido o semicocido; para el segundo, con la descongelación se debe completar la cocción a temperatura de 250°C durante 6-7 minutos; mientras que la descongelación del pan cocido a veces se hace en el mismo horno a temperaturas de 200-220°C durante cuatro minutos; sin embargo, otras veces se consigue, para el pan cocido, descongelación en aire caliente a temperatura de 50-70°C, con una humedad relativa del 60-70% durante 10-25 minutos y velocidad de aire de aproximadamente de 0.7m/s.

Tiene gran importancia para las características del producto optimizar la duración de la descongelación pues excesivo tiempo provoca espesamiento y endurecimiento de la corteza; no olvidar que el tiempo de descongelación debe regularse acorde con el tamaño del producto.⁵

1.6. TENDENCIAS ACTUALES EN PANIFICACIÓN.

Los cambios de estilo de vida de la sociedad moderna unidos al exigente deseo del consumidor por disponer de pan fresco de modo constante, han hecho evolucionar la panificación con una serie de tendencias actuales que distan bastante de la forma tradicional de elaborar pan (Tejero, 1992-1995; Guinet y Godon, 1996; Seoane, 1997). Estas tendencias pueden ser resumidas como sigue:

1.6.1. Tendencias que no incluyen aplicación de frío. Son tendencias que, como su nombre lo indica, no requieren de ninguna operación de refrigeración ni congelación durante su proceso de elaboración. Estas son:

- ◆ **Amasado intensificado.** Consiste en un amasado rápido a alta velocidad que ahorra mucho tiempo de amasado y oxigena mucho la masa lo que da como resultado panes de miga muy blanca, aunque en contrapartida son más insípidos.
- ◆ **Proceso continuo.** Consiste en el encadenamiento mecanizado de todas las etapas de panificación de modo que desde el amasado hasta la cocción inclusive todo el proceso se realiza de forma ininterrumpida. Esta forma de panificar es propia del sistema anglosajón en el que la tendencia general es la alta producción de un sólo tipo de pan.
- ◆ **Diversificación de productos.** Corresponde al sistema francés de panificación, que es asimismo el arraigado en España. Consiste en proporcionar al mercado una gama de productos lo suficientemente amplia como para atraer y satisfacer los gustos y necesidades de los consumidores. Esta forma de panificar es perfectamente mecanizable en su totalidad pero su procesado en continuo no suele ser rentable.

1.6.2. Tendencias con aplicación de frío. Son tendencias que durante su proceso de elaboración incluyen operaciones de refrigeración y/o congelación. Estas son:

- ◆ **Fermentación controlada.** Consiste en bloquear por frío la fermentación y reactivarla en el momento deseado. Su principal objetivo es permitir un constante suministro de pan fresco haciendo más llevadera la profesión del panadero, a menudo sometido a largos e intempestivos horarios.
- ◆ **Congelación de las masas.** Consiste en congelar masas crudas, ya sea antes o después del formado, con el fin de distanciar a voluntad el amasado y la cocción. Con un objetivo similar al anterior, esta técnica permite separar las etapas del proceso en el tiempo y en el espacio ya que es en los puntos de venta, frecuentemente grandes superficies distantes del punto de elaboración, donde se realiza la descongelación y cocción del pan. Esta técnica permite asimismo a las pequeñas panaderías disponer de una amplia gama de productos de menor venta sin tener que elaborar a diario.
- ◆ **Pan precocido congelado.** Consiste en cocer el pan en 2 etapas mediando entre ellas un periodo de congelación más o menos largo, lo que permite disponer de pan caliente de forma constante en terminales de cocción sin necesidad de disponer en ellos de personal altamente cualificado como es el caso del empleo de masas congeladas.

Actualmente, gran variedad de panes que tienen un volumen de ventas reducido, obligan a que el profesional recurra a las tendencias actuales en panificación que conllevan aplicación de frío industrial, con el fin de optimizar su producción y lograr así una mejor rentabilidad. Para estudiar la aplicación del frío en estos

procesos, abordaremos las diferencias que, tanto en las materias primas de la masa, como en la fase de producción, tendremos que tener presentes si hacemos normalmente el pan francés o si optamos por elaborarlo a partir de una de estas tecnologías.⁴

1.6.2.1. Materias primas.

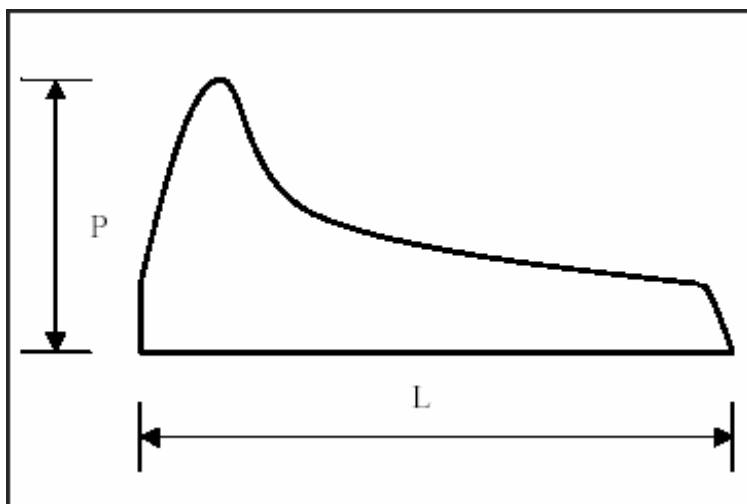
El pan elaborado mediante las tendencias actuales en panificación que conllevan aplicación de frío industrial, a diferencia del pan elaborado normalmente con los métodos tradicionales, tiene mayores problemas por ser un producto que envejece mucho antes que el tradicional, es decir, en menos de seis horas se puede llegar a tener un pan seco y consistencia dura, además, es difícil de alcanzar el mismo volumen, y suele ser de forma más redonda y más compacto. Si a esto se le añade la dificultad que supone el acentuado descascado, más acentuado en estos panes que en el tradicional, entonces nos encontramos con tres problemas de no fácil solución:

- ◆ Poco volumen
- ◆ Envejecimiento rápido
- ◆ Tendencia al descascarado

Por lo anterior, conseguir un buen pan a partir de estos procesos, exige contar con materias primas de buenas condiciones, y control de calidad sobre las mismas mucho más exhaustivo.

- ◆ **Harina.** La harina es el producto principal de la molienda del trigo y además constituye el elemento básico de la mayoría de productos de la industria de la panificación. Esta materia prima esencial en la elaboración del pan, debe ajustarse a unos parámetros de calidad para que sea adecuada en panificación. Entre ellos destaca la fuerza de masa elaborada con esa harina (fuerza de la harina W) la cual depende de la cantidad y calidad de gluten y se mide con el alveógrafo de Chopin. Este aparato mide la presión soportada por una burbuja de masa hasta que estalla y la registra sobre papel dando un alveograma como el del gráfico 1.¹⁴

Gráfico 1. Ejemplo de alveograma.



FUENTE: *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Vol. 3, No. 5, pp. 307-313, 2002
Copyright 2002 Asociación de Licenciados en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Galicia (ALTAGA)
ISSN 1135-8122

Atendiendo al tipo de alveograma obtenido en los ensayos de panificación existen distintos tipos de masa que corresponden a distintos tipos de harina: masas de mucha tenacidad (harinas de mucha fuerza) impiden un buen

levantado de la masa por lo que se destinan a la elaboración de pastas, masas equilibradas que desarrollan bien durante la fermentación y cocción y se destinan a panificación, masas de poca fuerza (harinas flojas) que no aguantan bien la presión del CO₂ durante la fermentación y cocción y se destinan a la elaboración de galletas y productos similares o bien a mezclarlas con harinas de mucha fuerza (Calvel, 1983; Tejero, 1992-1995).

El porcentaje de extracción de molindas normales y comerciales es de aproximadamente de 75-78% de harina panificable y de un 2.5-3.0% de harina fina, este producto es elemento importante en la obtención de buen pan bajo estas condiciones de consistencia firme, pues se ha encontrado que harinas “flojas”, provocan que este tipo de producto finalizado su proceso de producción, se arrugue y pierda volumen, lo cual tiene que ver con el contenido de proteína en la harina, es decir, proteína funcional llamada gluten, pues cuanto mayor sea la proporción de éste, mejor coagulará el pan y más firme y resistente será al hundimiento; por lo anterior, las características de la harina para la elaboración de pan a partir de procesos tecnológicos con aplicación de frío mediante refrigeración o congelación se presenta en la tabla 2, según los estudios realizados por Martínez¹ :

Tabla 2. Características de la harina para la elaboración de pan a partir de procesos tecnológicos con aplicación de frío.

CARACTERISTICAS	PORCENTAJE (%)
Almidón	65-70
Humedad	13-14.5
Proteína	8-13
Azúcares	1.5-2.0
Grasa	0.8-1.5
Ceniza	0.4-0.7
Celulosa	0.2

FUENTE: Martínez, Edgar. Congelación de masas en la industria panificadora de Carulla y Cia S.A. Tesis de grado. 1.996. Pg. 33.

La diferencia con el pan tradicional en cuanto al proceso comienza con la formulación en la cual se requiere de harina más fuerte con el fin de contrarrestar la corta vida que tiene este tipo de panes, es aconsejable emplear harina con W de 180 o superior y un equilibrio de masa de P/L 0,6; en razón a que el frío debilita la masa hasta el punto de dejarla débil a la hora de fermentar, situación que puede dar como respuesta pan de bajo volumen.⁴ Ahora bien, si la masa lleva en su formulación grasa, como en este caso, se debe utilizar harina con W superior a 200 y P/L de 0,8, pues es sabido que la grasa hace que la masa se relaje mucho antes de su congelación y durante el proceso.

- ◆ **Levadura.** En panadería se llama levadura al componente microbiano aportado a la masa con el fin de hacerla fermentar de modo que se produzca etanol y CO₂. Este CO₂ queda atrapado en la masa la cual se esponja y aumenta de volumen. A este fenómeno se le denomina levantamiento de la masa (Humanes, 1994; Tejero, 1992-1995; Guinet y Godon, 1996). Los

microorganismos presentes en la levadura son principalmente levaduras que son las responsables de la fermentación alcohólica, pero también se pueden encontrar bacterias que actúan durante la fermentación dando productos secundarios que van a conferir al pan determinadas características organolépticas, en concreto una cierta acidez.

❖ **Tipos de levadura utilizados en panificación**

- **Levadura natural o levadura de masa:** se prepara a partir de la microbiota de la propia harina. Para ello, en 3 ó 4 etapas sucesivas, se mezclan harina y agua, se amasa y se deja reposar la masa para que fermente de modo espontáneo. Poco utilizada en la actualidad como levadura única, salvo en elaboraciones artesanales muy concretas, tiene su principal aplicación en la elaboración de la masa madre empleada en el sistema de elaboración mixto (Tejero, 1992-1995).
- **Levadura comercial o levadura de panadería:** se prepara industrialmente a partir de cultivos puros generalmente de *Saccharomyces cerevisiae*. Se comercializa en distintas formas: prensada, líquida, deshidratada activa o instantánea, en escamas. Tiene aplicación en todos los sistemas actuales de elaboración de pan.
- **Levaduras químicas o impulsores de masas:** son aditivos gasificantes que básicamente consisten en la mezcla de un ácido y un compuesto alcalino que con el amasado y el calor de la cocción

reaccionan generando CO₂. Su aplicación real corresponde más a la pastelería que a la panificación (Humanes, 1994; Pérez y col., 2001).

Los factores que regulan la cantidad de levadura en estos tipos de pan son:

- ◆ Tiempo: a mayor tiempo, menor cantidad de levadura
- ◆ Clima: a mayor temperatura menor cantidad de levadura
- ◆ Harina de Trigo: si es fuerte se debe utilizar mayor cantidad de levadura.
- ◆ Formulación: Cuando es pan dulce se utiliza mayor cantidad de levadura.

Se debe incorporar un poco más de lo habitual pues durante el proceso de congelación muchas de sus células mueren, al rápido proceso de congelación, las células no tienen tiempo de liberar parte líquida, ocasionando la formación de cristales y la célula muera. Debe dosificarse al 2% o 3% máximo evitando de esta forma, rápida gasificación prematura de la masa; normalmente la dosis en gramos es de 15 a 25g/Kg de harina.⁶

- ◆ **Agua.** Es el segundo componente mayoritario de la masa y es el que hace posible el amasado de la harina. El agua hidrata la harina facilitando la formación del gluten, con ello y con el trabajo mecánico del amasado se le confieren a la masa sus características plásticas: cohesión, elasticidad, plasticidad y tenacidad o nervio.²⁰ La presencia de agua en la masa también es necesaria para el desarrollo de las levaduras que han de llevar a cabo la fermentación del pan. A la masa se le adiciona un 60% del total y al utilizar una

harina de fuerza media, la cantidad de proteína se considera alta. Con el porcentaje de agua referido para el tipo de harina empleada, se conseguirá que la consistencia de masa sea buena para elaborar buen pan con éste tipo de tecnologías. En el caso más específico de la fermentación controlada se aconseja reducir en 1% el volumen de agua de lo normalmente empleado, esto evitará en parte la formación de cristales cuando se mantengan las piezas de pan a 0°C en la cámara.⁶

- ◆ **Sal.** Su objetivo principal es dar sabor al pan.²¹ Además es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan.²⁰ Es aconsejable adicionar máximo un 2,2% del total de la harina. Esta cantidad permite que la masa fermentar recién salida del proceso de amasado, además, sirve para detener algo la fermentación luego del proceso de descongelación; pues no se debe olvidar que la masa contiene mayor cantidad de levadura de la habitual y al frenar los efectos de fermentación previa se evitará el riesgo de obtener pan con alveolos grandes y miga irregular. La sal y la levadura son materias primas que necesitan cambiar su dosificación respecto al proceso del pan común en cuanto a que se deben aumentar hasta un 5% por la cantidad de células de levadura que mueren durante el proceso de congelación.⁶

◆ **Otros componentes del pan.** Pueden ser simples aditivos o coadyuvantes tecnológicos que se emplean en baja proporción y cuyo único objetivo es favorecer el proceso tecnológico de elaboración del pan. En este caso se les denomina agentes mejorantes, su empleo no significa que el pan elaborado sea un pan especial y se trata de una mezcla conjunta conteniendo todos o algunos de los siguientes componentes:

- ❖ Mejoradores de harinas
- ❖ Alimento de levaduras
- ❖ Grasas emulsificantes
- ❖ Preparaciones enzimáticas
- ❖ Harina de leguminosas
- ❖ Leche en polvo
- ❖ Acido ascórbico
- ❖ Enzimas, etc. (Calvel, 1983; Tejero, 1992-1995; Miralbés, 2000).

El empleo de agente mejorante debe ser especial para el proceso de congelación, evitándose en lo más posible la presencia de harina de malta la cual produce pan más húmedo y muy dextrinado; sin embargo, como se describió anteriormente, se puede buscar un agente que tenga presencia de ácido ascórbico para reforzar las cadenas de gluten y dar mayor consistencia a la masa. Es indispensable no emplear dosis elevadas pues se corre el riesgo de obtener masa muy tenaz.

◆ **Otras materias primas.** Sus objetivos son: o bien aumentar el valor nutritivo del pan o bien proporcionarle un determinado sabor. Su empleo da siempre panes especiales. Entre los más comunes: azúcares, leche, materias grasas, huevos, frutas, etc. (Tejero, 1992-1995).

◆ **Masa madre.** Tendrá que ser poco ácida y su porcentaje en la masa estará vinculado al tipo de harina que se utilice. Es decir, cuando mayor sea la fuerza de la harina, menor porcentaje de masa madre utilizaremos y viceversa.

Para la elaboración de un pan mediante tecnologías con aplicación de frío, es necesario utilizar “Masa madre”, que será responsable de dar mayor sabor, olor y forma estable y compacta a la masa. Pero, eso si, no se debe tomar como referencia en la masa madre el tiempo de conservación, sino un pH de 4 a 4.5. En función de cómo se fermente la masa madre, de cómo se elabore y de cómo se conserve podremos encontrar infinidad de ellas, y por este motivo siempre se debe hacer para este tipo de productos masa madre igual.

Además, con el fin de evitar la elaboración de masa madre a diario, se puede recurrir a:

a. Levaduras liofilizadas secas (en polvo)

b. Levaduras frescas (masa madre fresca)

Estos productos garantizan en grandes producciones regularidad en todas las masas, aunque, lógicamente, su coste sea mayor. En la tabla 3 se encuentra descrita una formulación de masa madre para elaboración de panes a partir de tecnologías con aplicación de frío.⁶

Tabla 3. Formulación de masa madre.

Materias Primas	Porcentaje (%)
Harina	100
Pie de masa	25
Agua	50
Sal	2
Otras materias primas: (grasa, levadura, aditivo) según fabricante.	
Conservación: En frío (3-7°C)	
pH entre 4 y 4.5	

FUENTE: CALAVERAS, Jesús. Tratado de panificación y bollería. AMV Ediciones. Madrid, España. 1.996.

1.6.2.2. Sistemas de elaboración. Existen tres sistemas generales de elaboración de pan que vienen determinados principalmente por el tipo de levadura utilizado (Tejero, 1992-1995; Callejo, 2002), son los siguientes:

- ◆ **Directo:** es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un periodo de reposo de la masa de unos 45 minutos antes de la división de la misma. No es útil en procesos mecanizados con división automática volumétrica.
- ◆ **Mixto:** es el sistema más frecuente en la elaboración de pan con aplicación de frío y común. Utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) y levadura comercial. Requiere un reposo previo a la división de la masa de sólo 10–20 minutos. Es el más recomendable cuando la división de la masa se hace por medio de divisora volumétrica.

- ◆ **Esponja o «poolish»:** es el sistema universalmente empleado en la elaboración de pan francés y sobre todo en la de pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 – 40% del total de la harina, la totalidad de la levadura (comercial) y tantos litros de agua como kilos de harina. Se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y del agua y a partir de ahí se procede como en el método directo.

1.6.2.3. Proceso de elaboración. Con las particularidades propias de cada sistema de elaboración y de cada tipo de pan, el proceso de elaboración consta de las siguientes etapas (Quaglia, 1991; Kamel, 1993; Guinet y Godon, 1996; Cauvain y Young, 1998).

- ◆ **Dosificación y pesaje.** Ya es una norma en todas las panaderías el realizar un pesaje de todas las materias primas para garantizar una regularidad en las masas, incluso ya existen sistemas automáticos de pesaje donde sólo se aplica una numeración para cada formulación. Con este sistema de carrusel donde se puede tener hasta 8 depósitos distintos que garantiza esa regularidad en las cargas, aunque se debe utilizar levadura seca o líquida, ya que la utilización de levadura prensada debe hacerse de forma tradicional. Suelen utilizarse en procesos de amasado intensivos y con gran producción de masas.

- ◆ **Amasado.** Sus objetivos son lograr la mezcla íntima de los distintos ingredientes y conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de la masa así como su perfecta oxigenación. El amasado se realiza en máquinas denominadas amasadoras, que constan de una artesa móvil donde se colocan los ingredientes y de un elemento amasador cuyo diseño determina en cierto modo los distintos tipos de amasadoras, siendo las de brazos de movimientos variados (sistema Artofex) y las espirales (brazo único en forma de «rabo de cerdo») las más comúnmente utilizadas en la actualidad. Se debe procurar adicionar la sal casi al final consiguiendo una temperatura final de amasado menor e impedir que el gluten se refuerce desde el principio del amasado. Por otra parte, la levadura debe adicionarse antes de finalizar el amasado, pero eso sí antes de la sal; así la levadura empezará a actuar posteriormente. En el caso de la masa madre, también se debe agregar casi al final del amasado para facilitar y reducir su tiempo, pues una de las funciones de la masa madre es reforzar la malla de gluten gracias a su aporte en acidez para lograr finalmente una temperatura de amasado de 18-21°C.
- ◆ **División y pesado.** Su objetivo es dar a las piezas el peso justo. Si se trata de piezas grandes se suelen pesar a mano. Si se trata de piezas pequeñas se puede utilizar una porcionadora hidráulica, pesando a mano un fragmento de masa múltiplo del número de piezas que da la porcionadora. En las grandes panificadoras donde el rendimiento horario oscila entre las 1000 y 5000 piezas

se suele recurrir a las porcionadoras volumétricas continuas. Se aconseja que los panes no sean muy voluminosos ya que sino es así, cuando se coloquen los panes en congelación tardarán demasiado tiempo en congelarse en el centro, y podría darse el caso de que empiecen a fermentar. Si esto ocurre, se corre el riesgo de que en el proceso de fermentación, el pan no fermente convenientemente.

- ◆ **Boleado.** Consiste en dar forma de bola al fragmento de masa y su objetivo es reconstruir la estructura de la masa tras la división. Puede realizarse a mano, si la baja producción o el tipo de pan así lo aconsejan. O puede realizarse mecánicamente por medio de boleadoras siendo las más frecuentes las formadas por un cono truncado giratorio.
- ◆ **Reposo.** Su objetivo es dejar descansar la masa para que se recupere de la degasificación sufrida durante la división y boleado. Esta etapa puede ser llevada a cabo a temperatura ambiente en el propio obrador o mejor en las denominadas cámaras de fermentación, en las que se controlan la temperatura y el tiempo de permanencia en la misma. En los panes que van a ser sometidos a refrigeración o congelación se buscan tiempos largos de reposo que ayudarán a compensar la textura fresca y un mayor sabor durante más tiempo que en el producto tradicional.
- ◆ **Formado.** Su objetivo es dar la forma que corresponde a cada tipo de pan. Si la pieza es redonda, el resultado del boleado proporciona ya dicha forma. Si la pieza es grande o tiene un formato especial suele realizarse a mano. Si se

trata de barras, que a menudo suponen más del 85% de la producción de una panadería, se realiza por medio de máquinas formadoras de barras en las que dos rodillos que giran en sentido contrario aplastan el fragmento de masa y lo enrollan sobre si mismo con ayuda de una tela fija y otra móvil.

◆ **Fermentación.** Consiste básicamente en una fermentación alcohólica llevada a cabo por levaduras que transforman los azúcares fermentables en etanol, CO₂ y algunos productos secundarios. En el caso de utilizar levadura de masa se producen en menor medida otras fermentaciones llevadas a cabo por bacterias. Los objetivos de la fermentación son la formación de CO₂, para que al ser retenido por la masa ésta se esponje y mejorar el sabor del pan como consecuencia de las transformaciones que sufren los componentes de la harina. En un sentido amplio la fermentación se produce durante todo el tiempo que transcurre desde el amasado hasta que la masa ya dentro del horno alcanza unos 50°C en su interior. En la práctica se habla de varias fases o etapas:

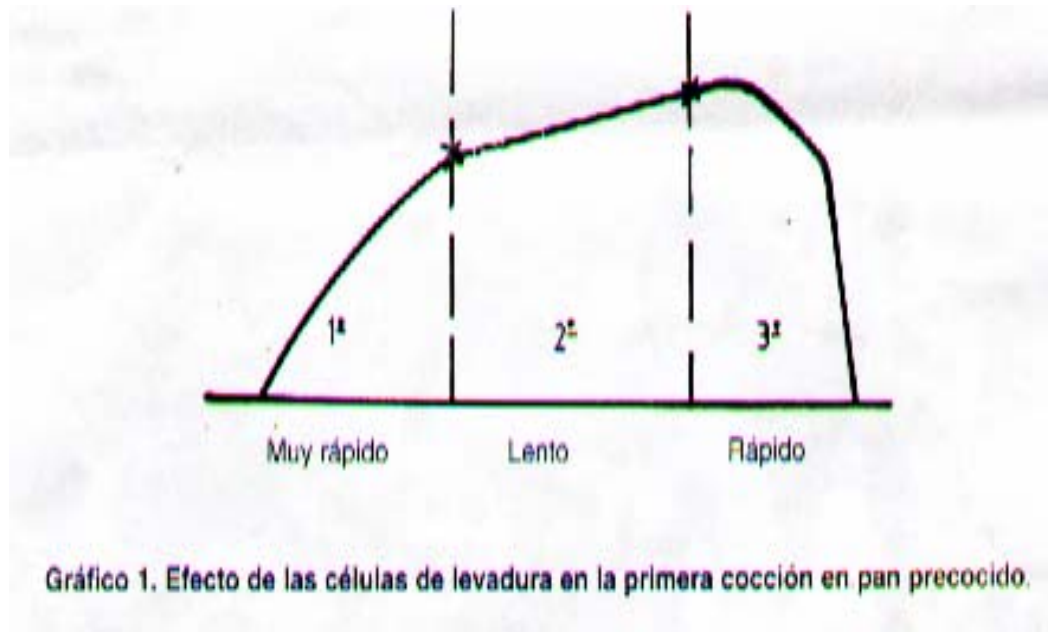
❖ **La prefermentación.** Correspondiente a la elaboración de la masa madre o de la esponja en los métodos indirectos.

❖ **La fermentación en masa.** Es el periodo de reposo que se da a la masa desde que finaliza el amasado hasta que la masa se divide en piezas. Es una etapa larga en la panificación francesa y en algunas elaboraciones españolas como la chapata gallega, pero es muy corta o inexistente en las elaboraciones mecanizadas del pan común.

- ❖ **La fermentación intermedia.** Es el periodo de reposo que se da a la masa en las cámaras de fermentación tras el boleado y antes del formado.
- ❖ **La fermentación final o fermentación en piezas.** Es el periodo de reposo que se da a las piezas individuales desde que se practicó el formado hasta que se inicia el horneado del pan. Esta fase suele realizarse en cámaras de fermentación climatizadas a 30 °C y 75% de humedad durante 60 a 90 minutos, aunque los tres parámetros pueden variar según las necesidades del panadero.
- ◆ **Corte.** Operación intermedia que se hace después de la fermentación, justo en el momento en que el pan va a ser introducido en el horno. Consiste en practicar pequeñas incisiones en la superficie de las piezas. Su objetivo es permitir el desarrollo del pan durante la cocción. En los panes sometidos a procesos de refrigeración o congelación durante su proceso deben realizarse cortes muy superficiales porque se puede perder volumen (y ya suelen ser productos de poco volumen por naturaleza).
- ◆ **Horneo.** Su objetivo es la transformación de masa fermentada en pan, lo que conlleva: evaporación de todo el etanol producido en fermentación, evaporación de parte del agua contenida en el pan, coagulación de proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores y pardeamiento de corteza. El horneado se realiza en hornos a temperaturas que van desde los 220 a los 260°C, aunque el interior de la masa nunca llega a rebasar los 100 °C. Los hornos utilizados en panadería pueden ser continuos (hornos de túnel),

cuando es posible alimentarlos con una secuencia ilimitada de piezas, o discontinuos cuando una vez cargados con la totalidad de las piezas hay que esperar a que se horneen para sacarlas e introducir una nueva carga (hornos de solera, hornos de pisos, hornos de carros, etc.). En el caso del pan precocido congelado debido a que se realizan dos horneos, en el primer horneado normalmente se da mucho más tiempo que en el segundo, pero en realidad lo que se busca es alcanzar en el interior del pan 55°C para que no se desarrolle la tercera actividad de las levaduras, ya que a esa temperatura se han inactivado por el calor. Nunca se debe dejar que el pan tome color, ya que es básicamente el horneado final el responsable de la caramelización de los azúcares, pero a su vez se debe dejar el pan precocido bien estructurado en proporción igualitaria de almidón y proteínas, puesto que es en esta etapa cuando la pieza queda formada totalmente.

A continuación en el gráfico 2 se describe el efecto de las células de levadura en el primer horneado del pan precocido congelado. En la primera fase del horneado observamos un consumo muy rápido de los azúcares libres (glucosa/fructosa) existentes en la harina, que comienza desde el momento del contacto de la levadura con la harina. Este proceso comienza en el amasado. En la segunda fase se da un consumo lento de los azúcares que se han producido por la degradación del almidón. La última fermentación se da en el horno hasta que la masa adquiere los 55°C , que es cuando mueren las levaduras. Es el último impulso de la masa, aumentando su volumen hasta que se cristaliza el almidón y se carameliza la corteza.



FUENTE: CALAVERAS, Jesús. Tratado de panificación y bollería. AMV Ediciones. Madrid, España. 1.996.

- ◆ **Enfriamiento.** Aquí es donde se suelen cometer el mayor número de errores. Esta fase debe hacerse de una forma Standard; no se puede enfriar un día a temperatura ambiente y otro a bajas temperaturas. En instalaciones específicas de pan sometido a algún proceso de refrigeración o congelación siempre se hace igual, y normalmente se dispone de una cámara de humedad y temperatura controlada para dejar los carros de pan.
- ◆ **Congelación.** Se garantiza un producto con caducidad de tres meses aproximadamente. Más tiempo puede tomar tonos pálidos y mala presencia. Su congelación se realiza a -8°C en el interior de la pieza, estando en el rango entre 0 y -4°C el menor tiempo posible, porque es en ese tramo donde más

pérdida de agua tienen los alimentos. Para la fase de congelación se puede utilizar nitrógeno líquido o frío mecánico, en función de las instalaciones disponibles. Para congelar el pan o la masa hemos de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- ❖ Tener un congelador que alcance los -40°C . Si no fuera así, hay que tener presente que cuantos menos grados pueda alcanzar el congelador menos tiempo podrá conservarse el pan.
- ❖ Cuando el pan o la masa estén congelados, que más o menos será al cabo de 8 horas, hay que protegerlo del aire para que la superficie no se quemara porque si esto sucede, al ser horneados, propiciará la aparición de un color pálido y blanco, y con mucha corteza. El frío también puede resecar la masa. Así, pues, para evitar estos inconvenientes, lo que debe hacerse una vez congelado el producto es resguardarlo en bolsas de plástico.
- ◆ **Almacenamiento.** Como ya se ha mencionado, es posible mantener el producto en almacenamiento en congelación hasta por tres meses, que es lo más común sin perder la cadena de frío que mantenga el punto frío (interior de la pieza) del pan a -8°C . Su distribución debe realizarse en cajas que faciliten la paletización y su orden dentro del almacén. Cuando se almacena en carros, las constantes diferencias de temperatura pueden afectar el producto, por tanto es recomendable evitar este sistema.
- ◆ **Descongelación.** Algunos técnicos recomiendan una descongelación parcial del producto, porque se dice que la humedad aún estará dentro de la barra,

pero si no hacemos una descongelación total podemos encontrarnos que el pan toma color por fuera rápidamente y el interior continúa estando compacto, por lo que hace que ese pan se envejezca muy pronto. Normalmente se recomienda al cliente descongelar a temperatura ambiente en el rango de 15 a 24°C durante 20 a 30 minutos.

◆ **Segundo Horneo.** Es la fase más importante y de mayor cuidado pues es necesario almacenar el producto supervisando que no tenga pérdida excesiva de humedad. En algunos casos suele suministrarse vapor al pan; este vapor ayuda a tomar color dorado característico haciéndolo llamativo. Es esta etapa se obtiene lo siguiente:

- ❖ Volumen: bueno
- ❖ Corteza: fina y crujiente, de color dorado y con brillo
- ❖ Miga: tierna y blanca
- ❖ Descascarado: No debe que existir
- ❖ Duración: Mínimo seis horas de vida, manteniéndose blando el producto.

La temperatura de horneo para pan elaborado a partir de tendencias con influencia de frío debe estar en el orden de los 10 a 20° C menor a la habitual, además, se debe tener en cuenta lo anterior porque al tener esta especialidad un tiempo largo de fermentación, las enzimas degradan más el almidón en maltosa, ocasionando pan con más coloración de lo habitual, sin embargo, para evitar este problema, al margen de una menor temperatura de cocción, no

olvidemos utilizar harina que tenga un Número de Caída de 300 segundos determinados en el Falling Number.

De acuerdo con Calaveras⁶, un envejecimiento rápido del pan sometido a procesos de refrigeración o congelación viene provocado básicamente por:

- ❖ Volumen excesivo
- ❖ Cocción prolongada a baja temperatura
- ❖ Falta de proteínas o gluten en la masa
- ❖ Masa madre demasiado vieja

A continuación en la tabla 4, se realiza un comparativo entre los procesos de fermentación controlada, congelación de masas y pan precocido congelado y sus diferentes condiciones de operación.

Tabla 4. Cuadro comparativo entre los procesos de fermentación controlada, congelación de masas y pan precocido congelado y sus diferentes condiciones de operación.

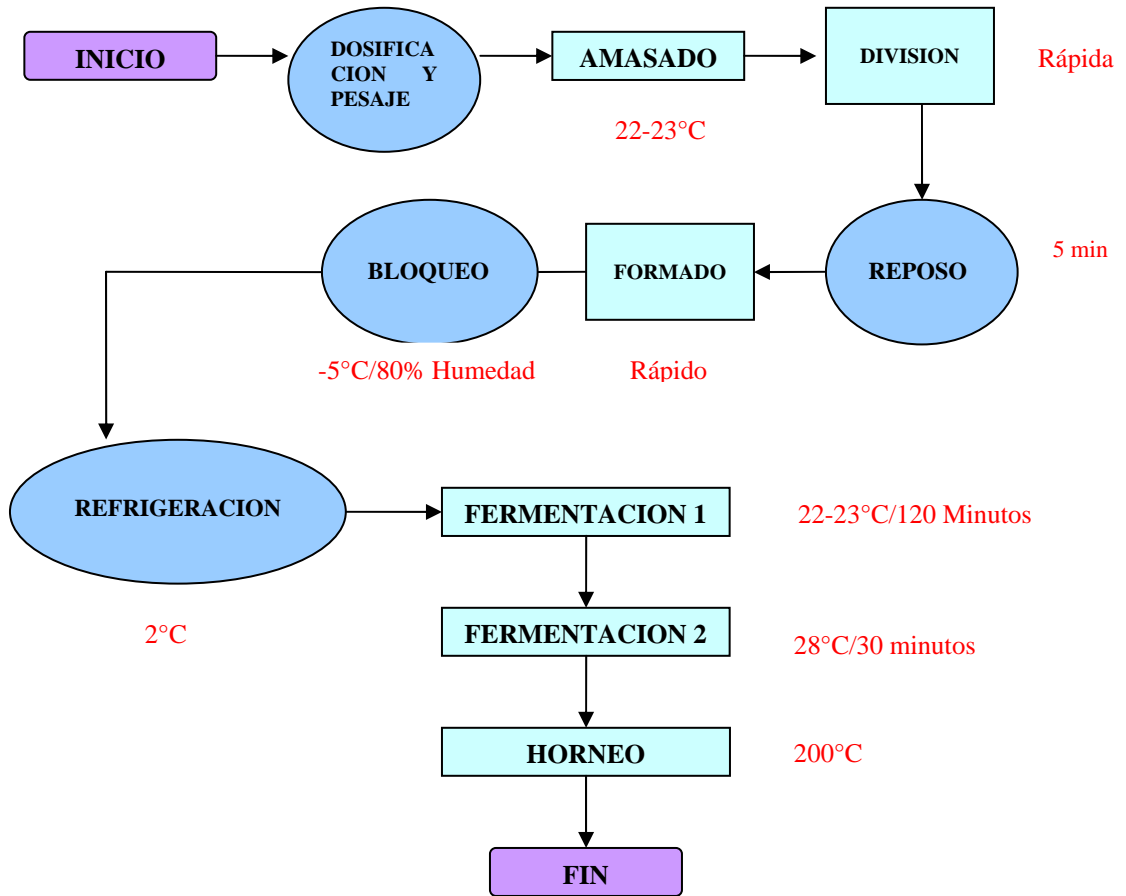
OPERACIÓN	FERMENTACION CONTROLADA	CONGELACION DE MASAS	PAN PRECOCIDO CONGELADO
Dosificación y pesaje	Se realiza pesaje de todas las materias primas para garantizar una regularidad en la masa. Se incorporan en la mezcladora.		
Amasado	Sistema de elaboración mixto, directo, temperatura de amasado de 22 a 23°C.	Sistema de elaboración mixto, estándar y temperatura de amasado de 21°C.	
División y pesado	Proceso de división rápido, porciones de bajo peso para que sea más fácil refrigerarlas o congelarlas.		
Boleado	Dar forma de bola al fragmento de masa con el objetivo de reconstruir la estructura de la masa tras la división.		

Reposo	5 min en bolas.	Dos reposos de 5 min. cada uno. Uno en masa y otro en bolas.	60 min. en masa.
Formado	Rápido después del reposo.	Panes pequeños después del segundo reposo.	Panes pequeños Después del reposo.
Fermentación	Se realizan dos operaciones de fermentación. La primera a un rango de temperatura de 22 a 23°C/120 min. y la segunda a 28°C/30 min. Después de la refrigeración.	Se realizan dos operaciones de fermentación. La primera a 10°C/600min. y la segunda a 25°C/90min./70%HR después de la Congelación.	60 min./HR70-80% /25°C
Corte	Señalado muy superficial antes de la fermentación.		
Horneo	200°C/23min. después de la segunda fermentación.	210°C/20min. después de la segunda fermentación.	Se realizan dos hornos. El primero a 200°C/12min. después de la fermentación y el segundo a 200°C/10min. Después de la descongelación
Enfriamiento	No hay		18°C/75% HR/hasta 25°C.
Aplicación de frío	2°C. Refrigeración antes de los procesos de fermentación.	Hasta temperatura en el centro de -8°C±4°C. Congelación.	
Almacenamiento	Entre 12 y 48 horas en refrigeración.	Hasta tres meses en congelación.	

FUENTE: La autora.

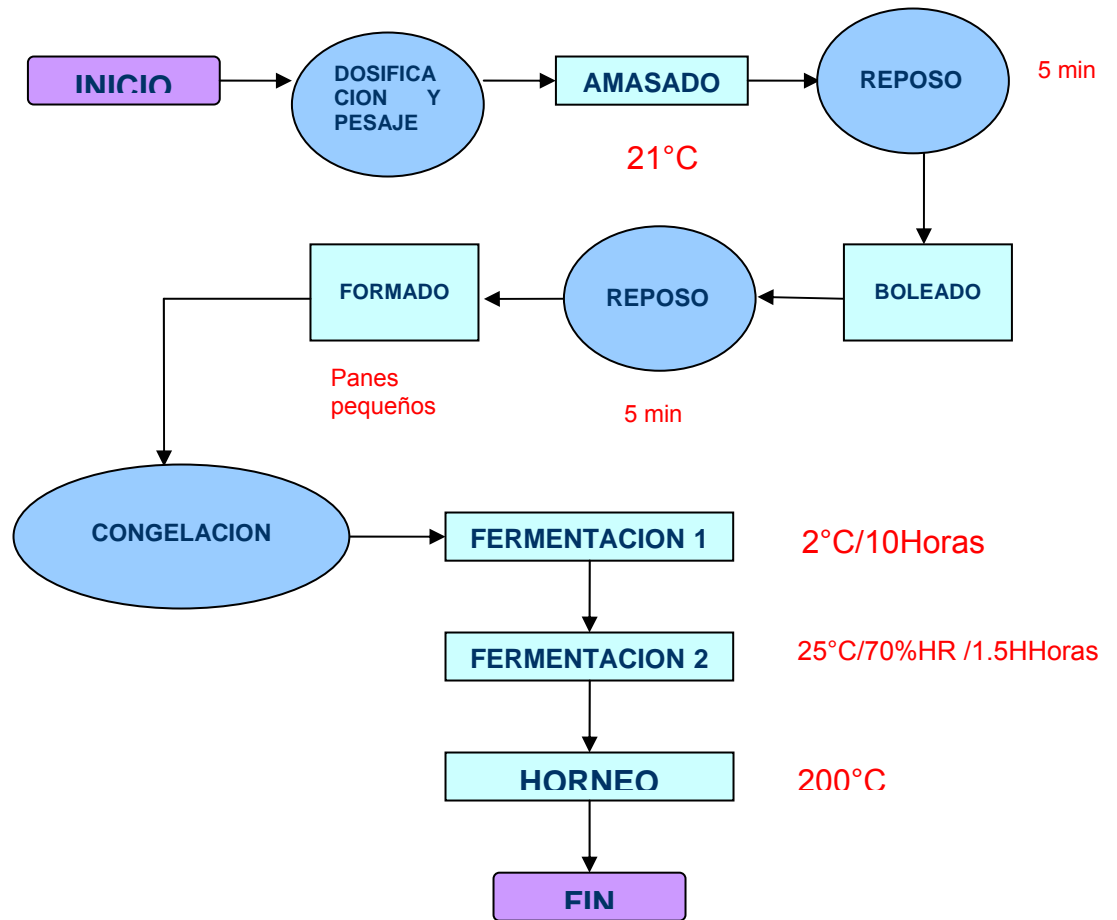
En los diagramas 1, 2 y 3 se ilustran los correspondientes procesos de elaboración de las tecnologías descritas en la tabla 4:

Diagrama 1. Proceso de Fermentación controlada



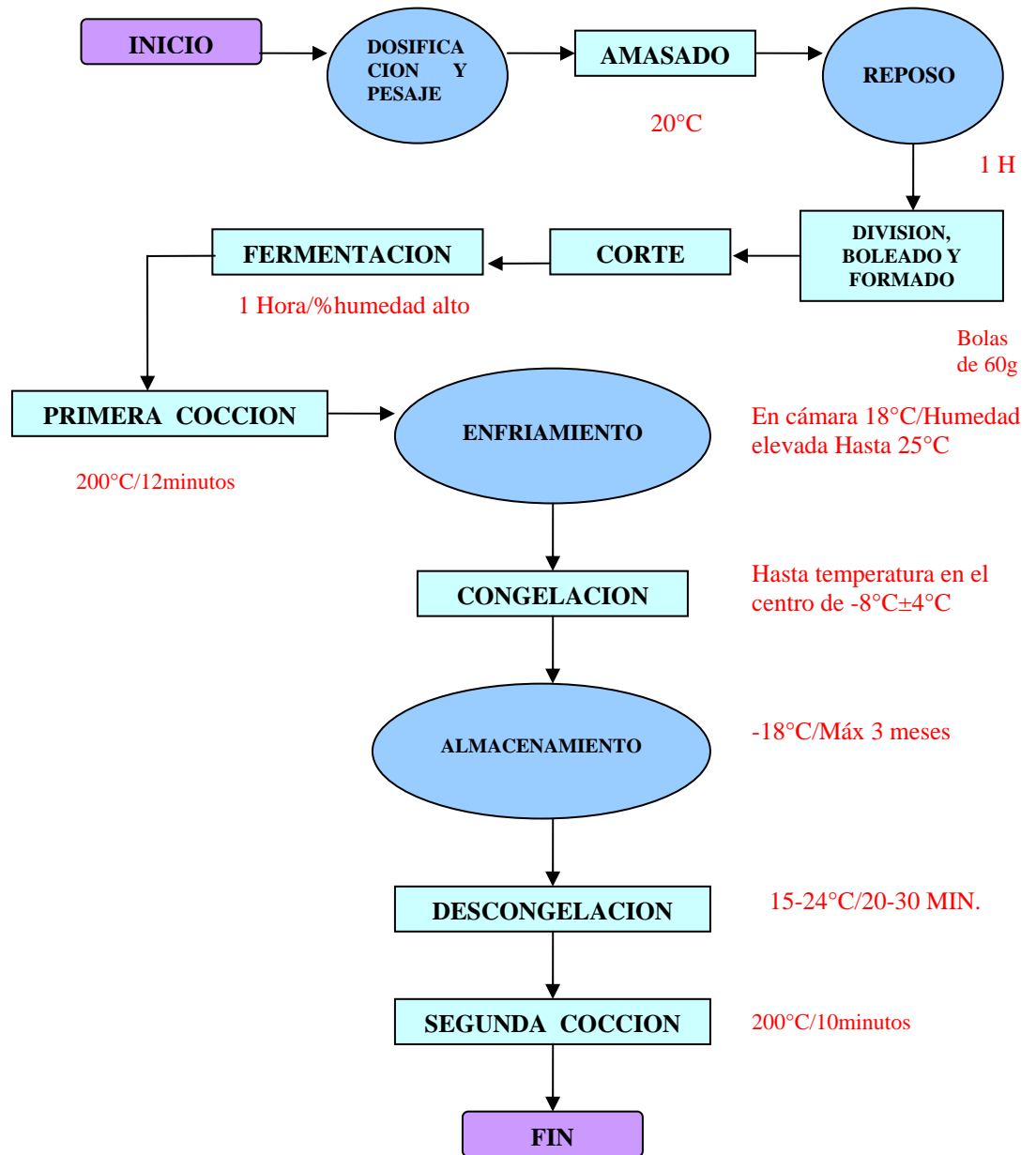
FUENTE: La autora

Diagrama 2. Proceso de masas congeladas.



FUENTE: La autora.

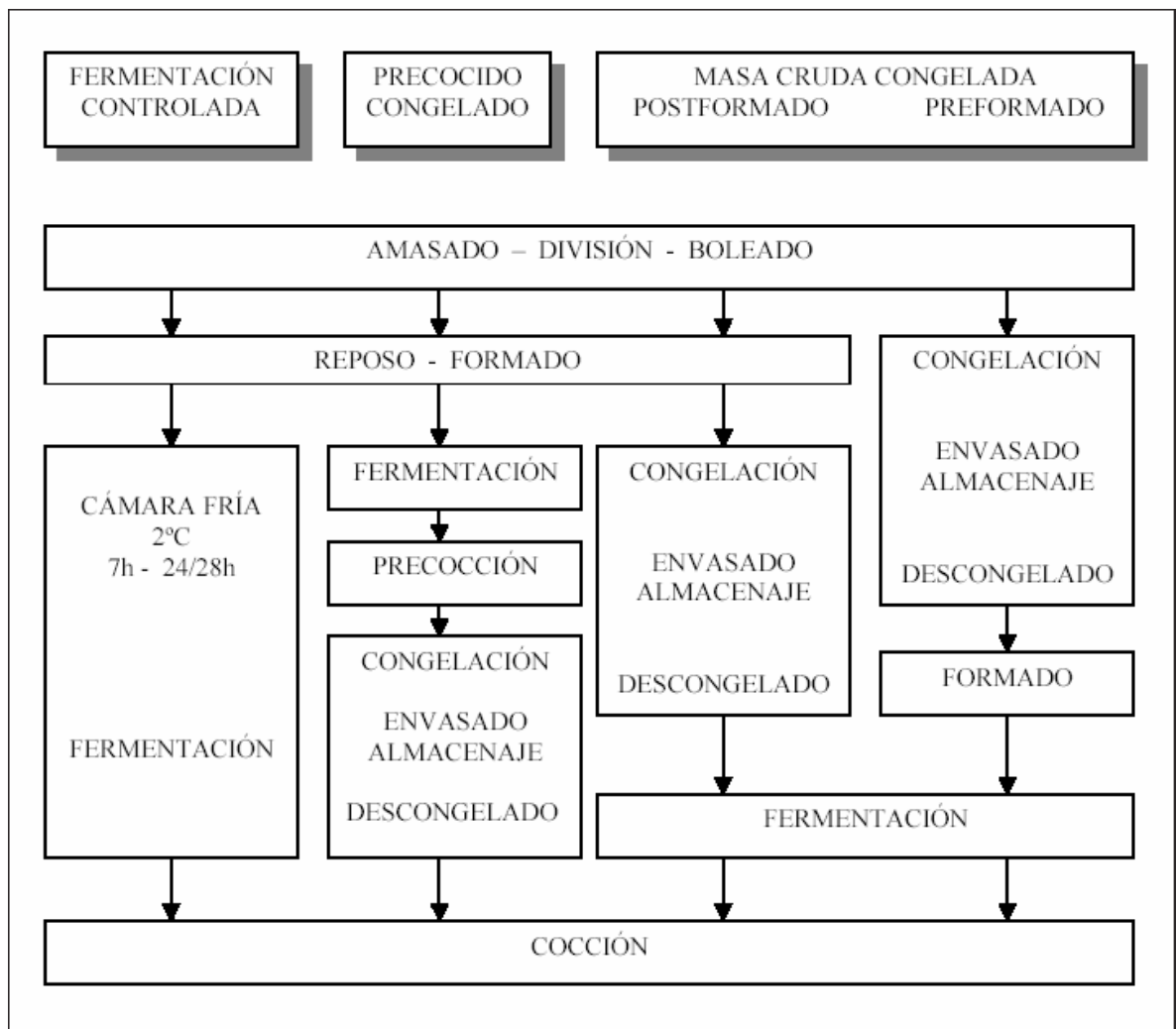
Diagrama 3. Proceso de pan precocido congelado



FUENTE: La autora.

En el diagrama 4 se comparan los diagramas de flujo de las tendencias actuales de panificación que conllevan aplicación de frío. En ella se constata que salvo por el momento de aplicación del frío el proceso es semejante en todos los casos y no muy distinto del proceso tradicional.

Diagrama 4. Diagramas de flujo comparativos de las tendencias actuales en panificación que conllevan aplicación de frío industrial.



FUENTE: *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Vol. 3, No. 5, pp. 307-313, 2002

Copyright 2002 Asociación de Licenciados en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Galicia (ALTAGA)
ISSN 1135-8122.

En esta ocasión se trabajó con pan de corteza precocido congelado debido a que en estos momentos es el producto que centra la atención de un numeroso grupo de panificadores a nivel mundial los cuales ven en ésta técnica de elaboración la solución para ofrecer a su clientela pan caliente y fresco a cualquier hora del día. ⁶ A continuación encontramos las ventajas e inconvenientes de este tipo de producto:

1.6.2.4. Ventajas e inconvenientes del pan precocido congelado. Calaveras⁶, describe que, el incremento en la cuota de mercado es factor para valorar las ventajas del pan precocido congelado en relación con sus inconvenientes.

◆ **Ventajas:**

- ❖ Acceso al cliente de pan fresco y caliente.
- ❖ Control en devoluciones, pues el producto se va horneando acorde con la demanda.
- ❖ Posibilidad de ofrecer un amplio surtido de panes
- ❖ Ahorro de tiempo y mano de obra
- ❖ Para un punto caliente no es elevada la inversión en maquinaria, al eliminarse el obrador
- ❖ Stock suficiente de producto que garantiza el suministro de pan caliente a cualquier hora del día

◆ Inconvenientes

- ❖ Un pan de menos volumen y aún hay clientes que compran por mucho volumen
- ❖ Envejecimiento mucho más rápido que en el pan normal
- ❖ Presencia de descascarado

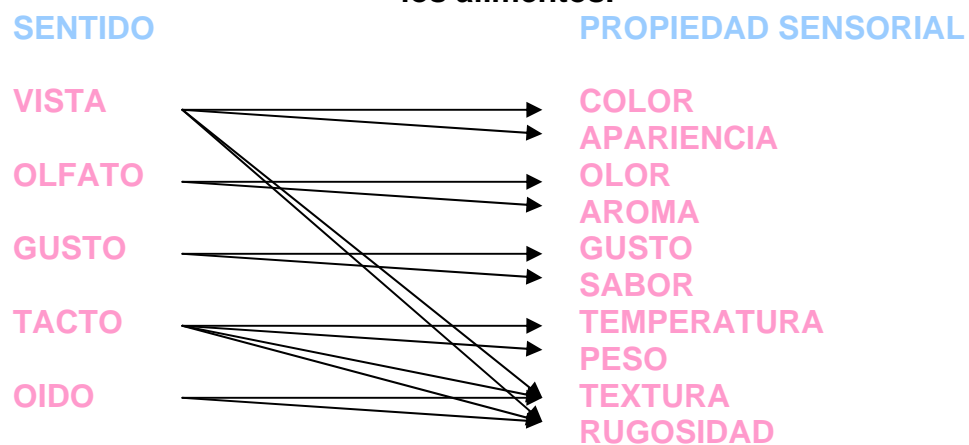
1.7. EVALUACIÓN SENSORIAL.

1.7.1. Propiedades sensoriales.

Para Anzaldúa⁷, las propiedades sensoriales son atributos de los alimentos que se detectan mediante los sentidos; pero algunas se perciben por medio de un solo sentido, mientras que otras son detectadas por dos o más.

El gráfico 3 muestra la relación entre los atributos sensoriales y los cinco sentidos.

Gráfico 3. Relación entre los cinco sentidos y las propiedades sensoriales de los alimentos.



FUENTE: ANZALDUA, Antonio. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Acibía. Zaragoza, España. 1.994. 198p.

1.7.1.1. El Color. Esta propiedad es la percepción de la luz de una cierta longitud de onda reflejada por un objeto. Un cuerpo rojo, por ejemplo, refleja la luz con la longitud de onda correspondiente al rojo y absorbe la luz de todas las demás longitudes de onda del espectro visible. Los objetos blancos reflejan la luz de todas las longitudes de onda del visible, mientras que los cuerpos negros no reflejan luz alguna.

La medición del color puede efectuarse usando **escalas de color**. Estas pueden consistir de ejemplos típicos de alimentos, mostrando toda la gama de colores que pueden presentarse en las muestras o usando para ello fotografías o modelos hechos de plástico o de yeso coloreado. O bien, puede tratarse de escalas construidas basándose en un **atlas de colores**, o con muestras de catálogos o folletos de colorantes o pinturas.

1.7.1.2. El Olor. El olor es la percepción, **por medio de la nariz**, de sustancias volátiles liberados en los objetos. En el caso de los alimentos – y la mayoría de las sustancias olorosas – esta propiedad es diferente para cada uno y no ha sido posible establecer clasificaciones ni taxonomías completamente adecuadas para los olores. Cuando se llevan a cabo pruebas sensoriales de olor, es muy necesario ventilar bien el lugar de prueba entre las evaluaciones de una y otra muestra, y dar tiempo suficiente a los jueces entre una y otra prueba para que la sensación olfativa desaparezca. En las evaluaciones de olor es muy importante que no haya contaminación de un olor con otro, por lo que las sustancias o alimentos que vayan a ser evaluados deberán ser mantenidos en recipientes herméticamente

cerrados, y deberán usarse en forma tal que su olor pueda evaluarse sin que las otras muestras se contaminen con él. Para esto pueden emplearse tiras delgadas de papel secante, o papel filtro, impregnadas con la sustancia olorosa y – ya secas – guardadas en tubos o botellas de vidrio con tapón de rosca y una tapa interna de plástico. También puede recurrirse a olores **microencapsulados** y presentados a los jueces en tarjetas de cartulina. El juez debe rascar con la uña o rayar con un lápiz la parte donde está adherido el olor y sólo entonces podrá detectar el olor.

1.7.1.3. El Aroma. Esta propiedad consiste en la percepción de las sustancias olorosas o **aromáticas** de un alimento después de haberse puesto éste en la boca. Dichas sustancias se disuelven en la mucosa del paladar y la faringe, y llegan – a través de la trompa de Eustaquio – a los centros sensores del olfato. El aroma es el principal componente del sabor de los alimentos y esto podemos comprobarlo cuando tenemos un resfriado o constipado, ya que entonces, si probamos una manzana, una patata cruda, y una cebolla, las tres sabrán igual. Ya que el aroma no es detectado por la nariz son en la boca, ésta puede quedar insensibilizada a los aromas y sabores por el uso y el abuso del tabaco, drogas o alimentos picantes o muy condimentados.

1.7.1.4. El Gusto o “Sabor Básico”. El gusto o sabor básico de un alimento puede ser **ácido (agrio), dulce, salado** o **amargo**; o bien, puede haber una combinación de dos o más de estos cuatro. Esta propiedad es detectada por

medio de la **lengua**. Hay personas que pueden percibir con mucha agudeza un determinado gusto, pero para los otros gustos, o sabores básicos, su percepción es pobre o nula. Es necesario determinar, pues, qué sabores básicos puede detectar cada juez para después poder dejarles participar en pruebas de **sabor**. Si se van a probar caramelos u otros alimentos dulces, se deben emplear jueces con habilidad para determinar el gusto dulce, mientras que para probar café o cerveza, los jueces con sensibilidad adecuada para el gusto amargo pueden llevar a cabo más eficientemente las evaluaciones, si la muestra a probar es una fruta, entonces se requieren jueces que tengan habilidad tanto para la detección del gusto dulce como para percibir la acidez y así, para los demás alimentos, es necesario considerar qué sabores básicos, o gustos, tienen éstos para seleccionar a los jueces que puedan apreciarlos o medirlos adecuadamente.

Para las pruebas de sabor es necesario conocer la habilidad de los jueces para la percepción del gusto del alimento, así como la **concentración de umbral** de sabor para el grupo de jueces. Esta es la concentración mínima a la cual la mayoría de los jueces pueden percibir correctamente el gusto en cuestión.

1.7.1.5. El Sabor. Este atributo de los alimentos es muy complejo, ya que combina tres propiedades: el **olor**, el **aroma** y el **gusto**. El sabor es la suma de las tres características y, por lo tanto, su medición y apreciación son más complejas que las de cada propiedad por separado. El sabor es lo que diferencia a un alimento de otro y no el gusto, ya que si se prueba un alimento con los ojos cerrados y la nariz tapada, solamente se podrá juzgar si es dulce, salado, amargo

o ácido. En cambio, en cuanto se perciba el olor, se podrá decir, de qué alimento se trata. Por ello, cuando se realizan pruebas de evaluación de sabor, no sólo es importante que la lengua del juez esté en buenas condiciones, sino también que no tenga problemas con su nariz y garganta. El sabor se ve influido por el color y la textura.

1.7.1.6. La Textura. Es difícil establecer una definición clara de textura. Sin embargo, el nombre **textura** es de uso tan común y corriente que muchas personas lo emplean y saben – hasta cierto punto- qué quiere decir, como pudo ser comprobado en investigaciones realizadas tanto en México como en otros países. Por lo tanto, ha sido necesario establecer definiciones de textura que, aunque no estén en los diccionarios, correspondan al uso que se le da al término. Varias definiciones han sido propuestas por diferentes autores y de éstas, podríamos escoger a la siguiente como la definición más adecuada:

“Textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación”.

No puede hablarse de **“La textura de un alimento”** como si fuera una sola característica de éste, sino que – más correctamente – hay que referirse a los **atributos de textura**, o las **características o propiedades de textura del alimento**. Todas esas propiedades satisfacen la definición anteriormente mencionada y, entre todas, contribuyen a darle al alimento una textura agradable o desagradable. En una investigación realizada en México, se encontró que los

consumidores mexicanos – de diversos estratos de edad, escolaridad, y de ambos sexos – están conscientes de la textura de los alimentos, y, al efectuar una prueba de **asociación libre de ideas**, sus respuestas acerca de un cierto número de alimentos dieron origen a un gran número de términos que pudieron ser clasificados como atributos de textura. Algunas de las palabras mencionadas por las personas entrevistadas en dicho estudio se presentan en la tabla 5. El estudio indicó que la textura es una propiedad importante y, por tanto, es necesario estudiar su medición.

Las propiedades o características de textura han sido clasificadas en tres categorías: atributos **mecánicos, geométricos** y de **composición**. Los primeros dan una indicación del comportamiento mecánico del alimento ante la deformación, y pueden, a su vez, dividirse en **primarios** y **secundarios**.

Los primarios son los que se correlacionan con una propiedad mecánica tal como fuerza, deformación o energía, mientras que los secundarios son los que resultan de la combinación de propiedades primarias. La tabla 6 muestra el significado de algunas de estas propiedades.

Los atributos geométricos son aquellos relacionados con la forma o la orientación de las partículas del alimento. Los atributos de composición son los que aparentemente indican la presencia de algún componente en el alimento.

Tabla 5. Términos clasificados como atributos de textura.

Palabra	No. menciones	Palabra	No. menciones
Duro	97	Chicloso	2
Suave	73	Estirable	2
Jugoso	32	Fibroso	2
Grasoso	31	Mantecoso	2
Espeso	27	Pastoso	2
Seco	23	Tembloroso	2
Blando	20	Viscoso	2
Tostado	14	Caldoso	1
Baboso	12	Seboso	1
Tronador	11	Sebudo	1
Creimoso	9	Compacto	1
Pegajoso	9	Chicludo	1
Aguado	9	Denso	1
Desmoronable	7	Embadurnable	1
Líquido	7	Frágil	1
Masudo	7	Gomoso	1
Carnoso	6	Granuloso	1
Esponjoso	5	Grueso	1
Gelatinoso	5	Harinoso	1
Aceitoso	3	Hiloso	1
Acuoso	3	Húmedo	1
Crujiente	3	Liso	1
Esponjado	3	Mojado	1
Granulado	3	Polvoso	1
Graso	3	Remojado	1
Grumoso	3	Semiduro	1
Masticable	3	Sólido	1
Quebradizo	2	Tembladizo	1
Pegosteoso	2	Tenso	1
Adhesivo	2	Textura	1
Aterciopelado	2	Terroso	1

FUENTE: ANZALDUA, Antonio. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Acibia. Zaragoza, España. 1.994. 198p.

Tabla 6. Definiciones de algunas características mecánicas primarias de textura.

PROPIEDADES	DEFINICIONES
Dureza	<p>Física: Fuerza necesaria para una deformación dada. Sensorial: Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas (sólidos) o entre la lengua y el paladar (semisólidos).</p>
Cohesividad	<p>Física: Qué tanto puede deformarse un material antes de romperse. Sensorial: Grado hasta el que se comprime una sustancia entre los dientes antes de romperse.</p>
Viscosidad	<p>Física: Tasa de flujo por unidad de fuerza. Sensorial: Fuerza requerida para pasar un líquido de una cuchara hacia la lengua.</p>
Elasticidad	<p>Física: Tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante. Sensorial: Grado hasta el cual regresa u producto a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes.</p>
Adhesividad	<p>Física: Trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto. Sensorial: Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente al paladar) durante su consumo.</p>

FUENTE: ANZALDUA, Antonio. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Acibia. Zaragoza, España. 1.994. 198p.

Tabla 7. Definiciones de algunas características mecánicas secundarias de textura

PROPIEDADES	DEFINICIONES
Fragilidad	<p>Física: Fuerza con la cual se fractura un material (alto grado de dureza y bajo de cohesividad).</p> <p>Sensorial: Fuerza con la que un material se desmorona, cruje o se estrella.</p>
Masticabilidad	<p>Física: energía requerida para masticar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido (una combinación de dureza, cohesividad y elasticidad)</p> <p>Sensorial: Tiempo requerido para masticar la muestra, a una tasa constante de aplicación, para reducirla a una consistencia adecuada para tragarla.</p>
Gomosidad	<p>Física: Energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado físico para deglutirlo (Combinación de baja dureza y alta cohesividad).</p> <p>Sensorial: Densidad que persiste a lo largo de la masticación, energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado adecuado para tragarlo.</p>

FUENTE: ANZALDUA, Antonio. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1.994. 198p.

1.7.2. Los jueces y las condiciones de prueba

- ◆ **Los jueces:** De acuerdo con Anzaldúa⁷, la selección y el entrenamiento de las personas que tomarán parte en pruebas de evaluación sensorial son factores de los que dependen en gran parte el éxito y la validez de las pruebas. Es necesario determinar, en primer lugar, el número de jueces que deben participar, y después hay que seleccionarlos, explicarles en forma adecuada cómo han de realizar sus evaluaciones, y darles el entrenamiento adecuado.

- ❖ **Tipos de jueces:** El número de jueces necesarios para que una prueba sensorial sea válida depende del tipo de juez que vaya a ser empleado. Existen cuatro tipos de jueces: el **juez experto**, el **juez entrenado** o de **laboratorio**, y el **juez consumidor**.
- **Juez experto:** El juez experto, es como en el caso de los **catadores** de vino, té, café, quesos, y otros productos, una persona que tiene gran experiencia en probar un determinado tipo de alimento, posee una gran sensibilidad para percibir las diferencias entre muestras y para distinguir y evaluar las características del alimento.
- **Juez entrenado:** Un juez entrenado es una persona que posee bastante habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial o algún sabor o textura en particular, que ha percibido cierta enseñanza teórica y práctica acerca de la evaluación sensorial, y que sabe qué es exactamente lo que se desea medir en una prueba. Además, suele realizar pruebas sensoriales con cierta periodicidad.
- **Juez semientrenado o “de laboratorio”:** Se trata de personas que han recibido un entrenamiento teórico similar al de los jueces entrenados, que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad, pero que generalmente solamente participan en pruebas **discriminativas sencillas**, las cuales no requieren de una definición muy precisa de términos o escalas.
- **Juez consumidor:** Se trata de personas que no tienen que ver con las pruebas, ni trabajan con alimentos como Investigadores o empleados de

fábricas procesadoras de alimentos, ni han efectuado evaluaciones sensoriales periódicas. Por lo general son personas tomadas al azar, ya sea en la calle, o en una tienda, escuela, etc.

Los jueces de este tipo deben emplearse solamente para pruebas **afectivas** y nunca para discriminativas o descriptivas.

❖ **Tipos de pruebas:**

➤ **Pruebas afectivas:** Aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta. Si lo acepta o lo rechaza, si lo prefiere a otro.

✚ **Pruebas de preferencia:** Se desea conocer si los jueces prefieren cierta muestra sobre otra. La prueba consiste en pedirle al juez cuál de las dos muestras prefiere, se debe incluir en el cuestionario una sección de comentarios para que diga pro qué le gusta. Para la interpretación de los resultados, es sólo necesario consultar una tabla (tabulada). En esta se localiza el número de jueces que intervinieron en la prueba y entonces se encuentra el número de respuestas mínimo coincidentes para que haya una diferencia significativa. Se debe haber escogido previamente el nivel de significancia con el que se va a trabajar (aproximadamente 5%).

✚ **Pruebas de medición del grado de satisfacción:** Estas pruebas son intentos para mejorar objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuanto les gusta o les disgusta un alimento. Se utilizan escalas hedónicas que son un instrumento que

sirve para la medición de las sensaciones placenteras o desagradables producidas por un alimento.

✚ **Pruebas de aceptación:** El que un alimento le guste a alguien no quiere decir que esa persona vaya a querer comprarlo, el deseo de una persona para adquirir el producto es lo que se llama ACEPTACIÓN. No sólo depende de la impresión agradable o desagradable que el juez percibe al probarlo, sino de aspectos culturales, socioeconómicos, de hábitos, etc.

➤ **Pruebas Discriminativas:** Aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento, sino que se desea establecer si hay diferencia o no entre dos o más muestras. Se pueden utilizar jueces semientrenados para pruebas sencillas.

✚ **Comparación apareada simple:** Se comparan dos muestras y se determina si son iguales o distintas en alguna característica sensorial.

1. **Prueba Triangular:** Se dan tres muestras al panelista. Dos son iguales y una es diferente; él debe establecer cual es la diferente y por qué.

2. **Dúo – Trío:** A cada integrante del panel se le presentan dos productos y un patrón que es idéntico a una de las dos muestras y se le pide determinar cual de ellas es igual al patrón.

3. **Pares disecionados:** A cada panelista se le presentan simultáneamente dos productos y se le pide determinar cual de

las dos muestras presenta mayor intensidad en la característica de estudio.

4. Prueba de ordenamiento: El Juez debe ordenar las muestras de mayor a menor según su preferencia o aceptación en general por una característica en particular.

➤ **Pruebas descriptivas:** Se trata de definir las propiedades del alimento y medirlas de la manera más objetiva posible. Estas pruebas proporcionan mucho más información acerca del producto que las otras, sin embargo, son más difícil de realizar. Se utilizan jueces entrenados.

2. METODOLOGIA

2.1. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.1. Equipos, instrumentos y utensilios.

Es indispensable determinar como primera medida si se cuenta con los equipos, instrumentos y utensilios necesarios para la elaboración y valoración del producto fresco y precocido congelado; estos son los siguientes:

- ◆ Balanza gramera
- ◆ Batidora o mezcladora con dispositivo de horquilla (gancho)
- ◆ Cámara de fermentación
- ◆ Horno con aplicación de vapor
- ◆ Túnel de congelación
- ◆ Congelador
- ◆ Balanza de humedad
- ◆ Penetrómetro
- ◆ Higrómetro
- ◆ Cronómetro
- ◆ Termómetro
- ◆ pHmetro

- ◆ Papel aluminio
- ◆ Espátula
- ◆ Jarra plástica
- ◆ Cuchillo
- ◆ Rodillo laminador
- ◆ Guantes de carnaza
- ◆ Bolsas plástica

2.1.2. Materias primas.

- ◆ Harina de trigo para panificación producida por Harinera INDUPAN S.A.; en la tabla 8 se presentan sus características alveográficas y farinográficas.

Tabla 8. Características alveográficas y farinográficas de la harina utilizada para elaborar pan precocido congelado.

CARACTERISTICA	VALOR
W	190
P/L	0.7
PROTEINA	11.97%
HUMEDAD	14%
ABSORCION	60%
TIEMPO MEZCLA	5 min.
ESTABILIDAD	11 min.

FUENTE: Harinera INDUPAN S.A.

Tabla 9. Características alveográficas y farinográficas de la harina utilizada para elaborar pan fresco.

CARACTERISTICA	VALOR
W	130
P/L	0.3
PROTEINA	11%
HUMEDAD	14%
ABSORCION	60%
TIEMPO MEZCLA	5 min.
ESTABILIDAD	7.5 min.

FUENTE: Harinera INDUPAN S.A.

- ◆ Agua
- ◆ Levadura fresca (*Saccharomyces cerevisiae*) LEVAPAN S.A.
- ◆ Sal Yodada (REFISAL)
- ◆ Masa madre (pH 4.2)
- ◆ Azúcar refinada (RIOPAILA)
- ◆ Margarina (MAURIPAN)

2.1.3. Preparación de las muestras.

La evaluación de la vida útil de alta calidad en pan de corteza precocido congelado se realizó en muestras de pan francés de 50g elaboradas en la Planta Piloto de Cereales de la Universidad de La Salle almacenadas de una (1) semana hasta

doce (12) a temperatura de -18°C. Previamente se realizó ensayos de panificación para pan francés precocido con diferente formulación hasta lograr obtener una con la que se produzca pan francés precocido que luego congelarse y almacenarse; simultáneamente, se valoró materias primas que respondieran con los requisitos necesarios para la obtención final del producto. Estas formulaciones ensayadas se indican comparativamente en la tabla 10:

Tabla 10. Tabla comparativa de formulaciones ensayadas.

FORMULACIONES	FORMULACIÓN 1	FORMULACIÓN 2	FORMULACIÓN 3
MATERIA PRIMA	PORCENTAJE (%)	PORCENTAJE (%)	PORCENTAJE (%)
Harina	100	100	100
Sal	2	2.4	2
Azúcar	-	-	6
Margarina	-	-	12
Huevos	-	-	6
Leche en polvo	-	-	5
Levadura	1.5	2.4	3
Masa Madre	1	1	5
Agua	65	68	60

FUENTE: WWW. Geocities.com/collegepark.

A continuación se describe de igual manera en la tabla 11 una comparación entre los procesos de elaboración de las anteriores formulaciones:

Tabla 11. Tabla comparativa de procesos de elaboración de las formulaciones ensayadas.

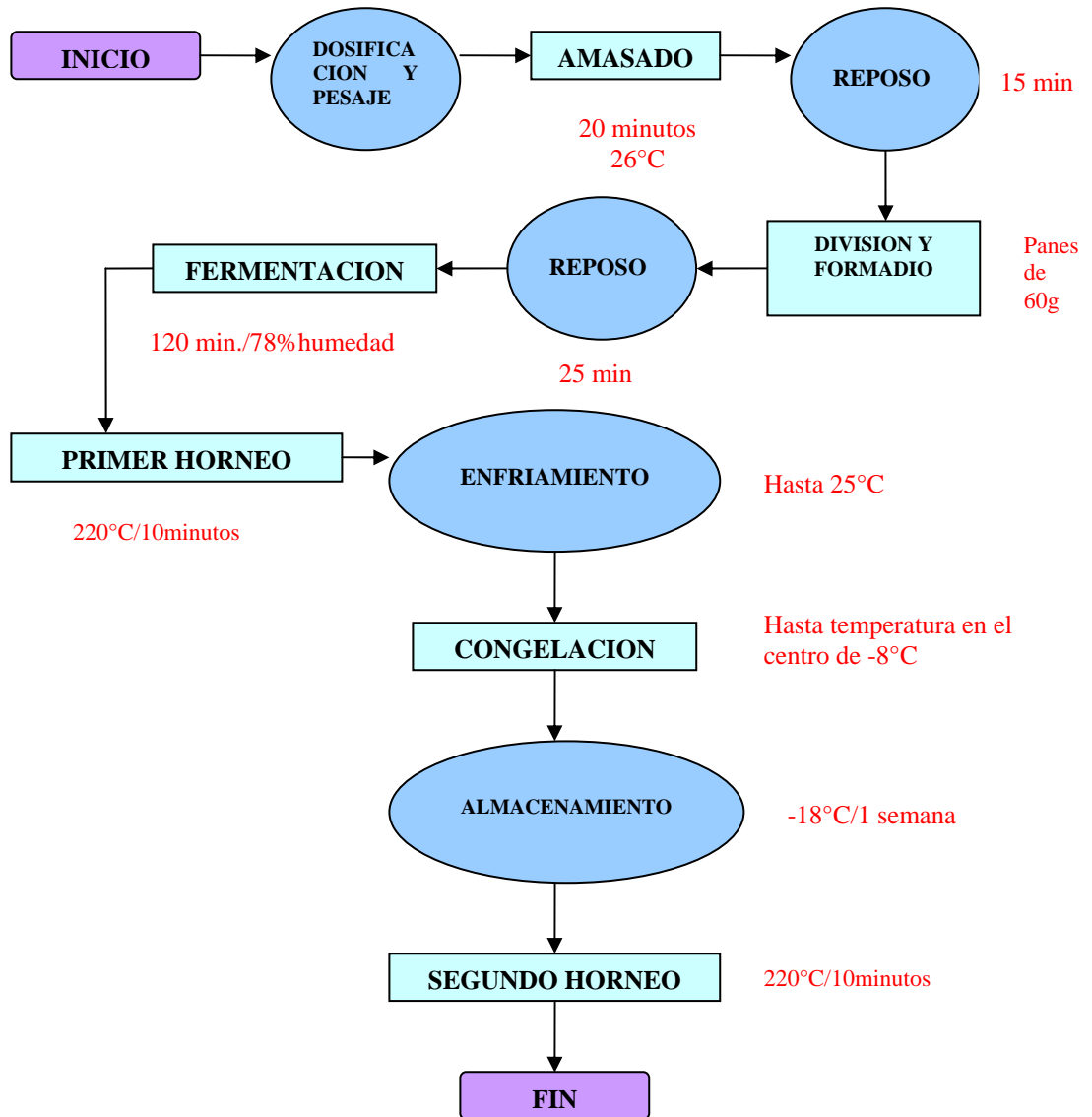
OPERACIÓN	FORMULACIÓN 1	FORMULACION 2	FORMULACION 3
Dosificación y pesaje	Cada una de las materias primas utilizadas fueron pesadas sobre una hoja de papel aluminio (REYNOLDS) en una balanza gramera (OHAUS triple beam 750 SW) y dosificadas mediante el uso de una espátula.		
Amasado	Se realizó amasado estándar mediante el uso de una mezcladora con gancho de balde abierto. (Batidora industrial KITCHEN AID modelo KSM5) por 20 minutos a una T° de 26°C. Se adicionaron en su orden: Harina, levadura, sal, masa madre y el agua.	Se realizó amasado estándar a mano durante 20 minutos. Se adicionaron en su orden: Harina, levadura, sal, masa madre y el agua.	Se amasaron las materias primas en el orden de la formulación mediante el uso de una mezcladora con gancho de balde abierto (Batidora industrial KITCHEN AID modelo KSM5) a una temperatura de 23°C.
Reposo	15 minutos	-	60 minutos
Fermentación	-	En cámara de fermentación (ENZIPAN S.A.) por 90 minutos.	-
División boleado y formado	Se cortó la masa, formando bolas de alrededor de 60g cada una. Se laminó con el rodillo cada bola y se formaron los cilindros.	Se cortó la masa en piezas de 60g aprox. Cada pieza se laminó y se espolvoreó con abundante harina.	Se cortó la masa, formando bolas de alrededor de 60g cada.
Reposo	Los panes formados se dejaron reposar por 25 minutos	-	Los panes formados se dejaron reposar por 30 minutos
Formado	-	-	Cada una de las bolas se laminó y se formaron los cilindros.

Fermentación	En cámara de fermentación (ENZIPAN S.A.) por 120 minutos con 78%HR	En cámara de fermentación (ENZIPAN S.A.) por 90 minutos a 25°C.	En cámara de fermentación (ENZIPAN S.A.) por 120 minutos a 25°C.
Corte	Señalado muy superficial con el cuchillo.		
Primer horneo	En el horno (TEDESCO) a 220°C por 10 minutos	En el horno (TEDESCO) a 200°C por 12 minutos	
Enfriamiento	Hasta 25°C a temperatura ambiente.		
Congelación	En el túnel de congelación hasta temperatura de -8°C en el centro.		
Almacenamiento	En el congelador (ARTEGEL-ITALIA LTDA) por una semana dentro de bolsa plástica a temperatura de -18°C por una semana.		
Descongelación	-		Descongelación total a temperatura ambiente.
Segundo horneo	En el horno (TEDESCO) a 220°C por 10 minutos	En el horno (TEDESCO) a 200°C por 8 minutos	

FUENTE: la autora.

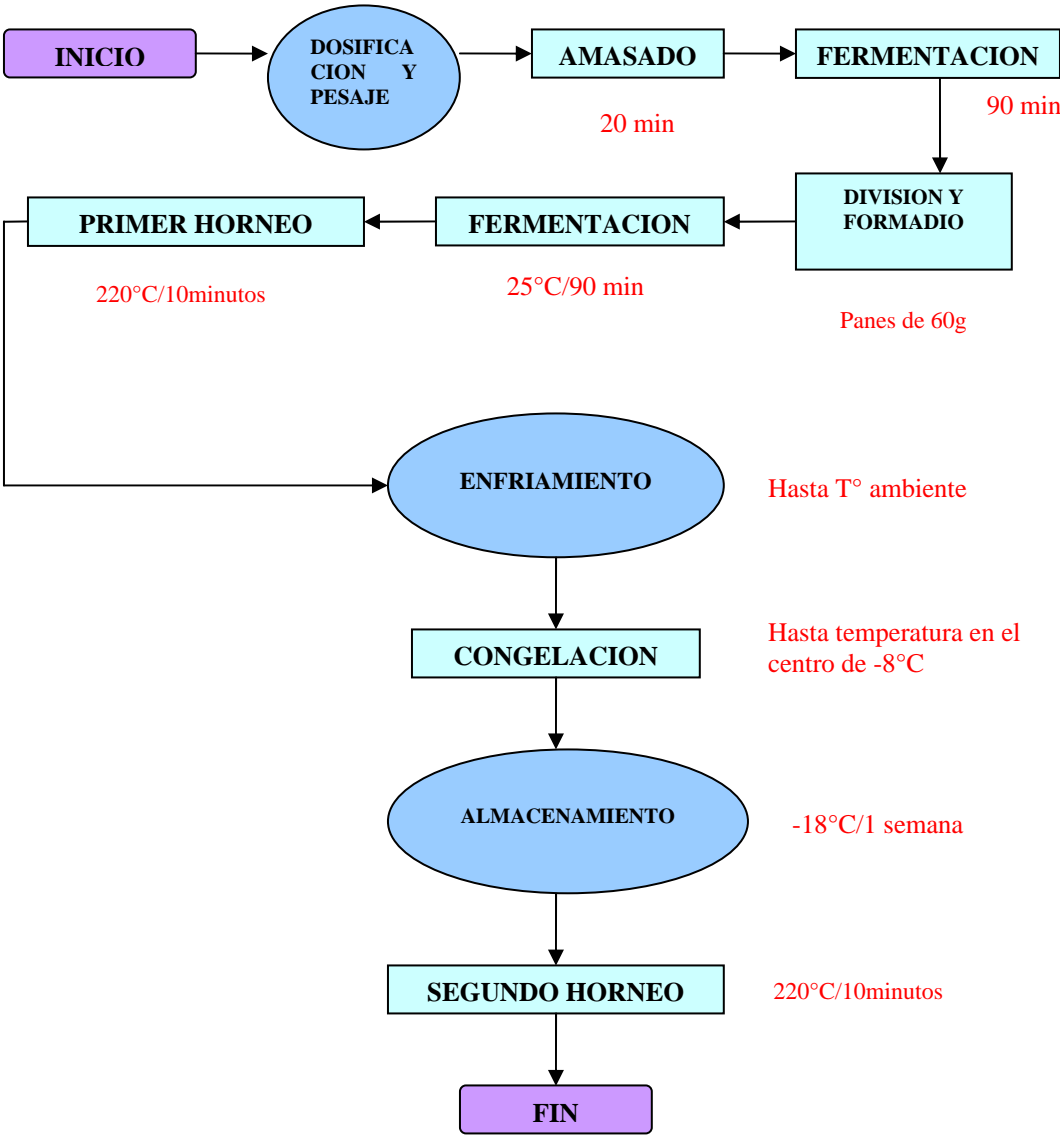
En los diagramas 5, 6 y 7 se ilustran los correspondientes procesos de elaboración de las formulaciones descritas en la tabla 11:

Diagrama 5. Proceso de elaboración para la formulación 1



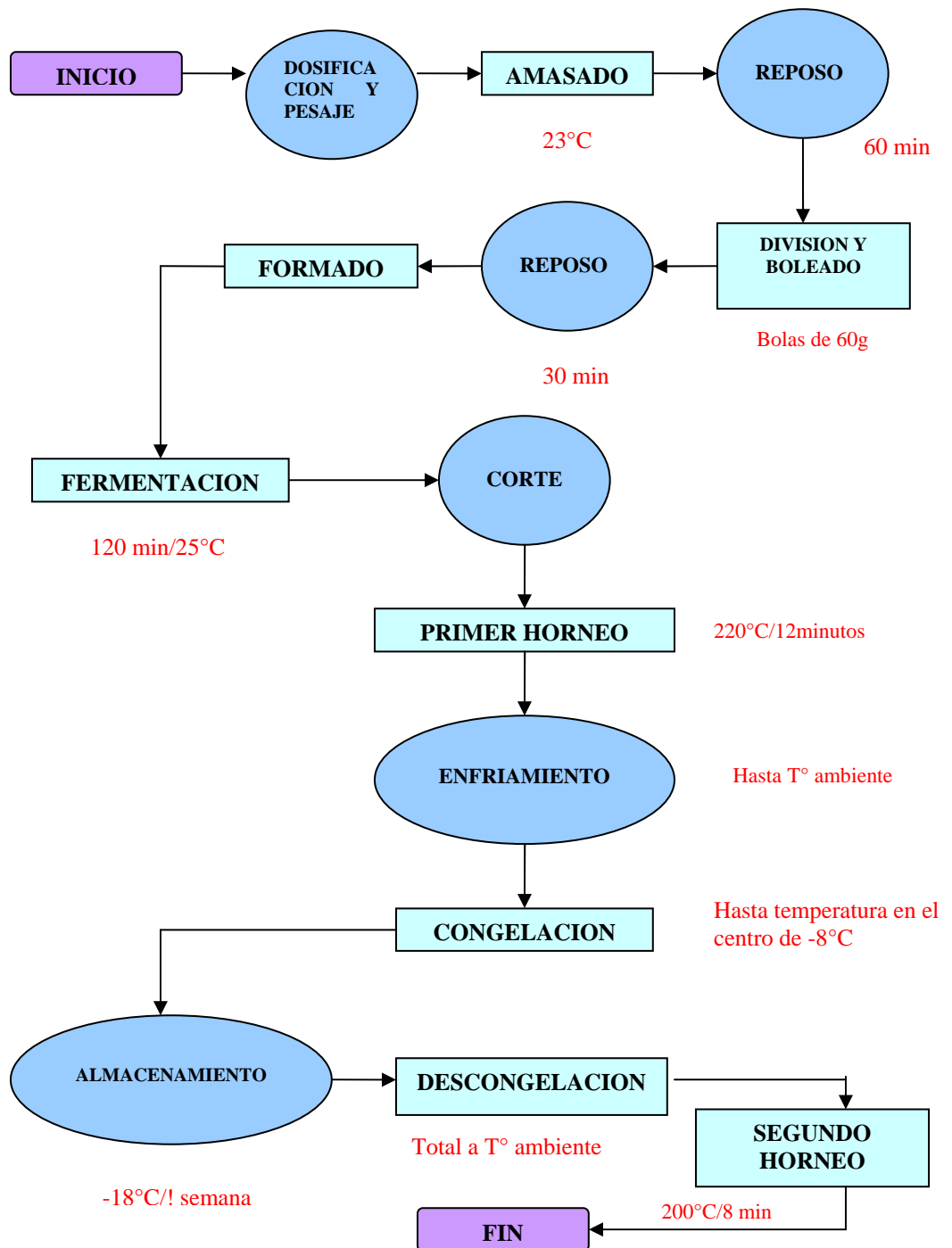
FUENTE: La autora.

Diagrama 6. Proceso de elaboración para la Formulación 2



FUENTE: La autora.

Diagrama 7. Proceso de elaboración para la Formulación 3



FUENTE: La autora.

2.1.3.1. Formulación obtenida para la elaboración de pan francés precocido congelado.

Para poder obtener la siguiente formulación descrita en la tabla 12, se tuvo en cuenta las materias primas incluidas en cada una de las formulaciones realizadas así como las características del pan obtenido. Se puede observar que en las tres formulaciones están incluidas las materias primas básicas que se estudiaron anteriormente (Numeral 1.6.2.1.). Adicionalmente, podemos ver que en las Formulaciones 1 y 2 las materias primas a utilizar son las mismas, sin embargo, el porcentaje de incorporación de estas es diferente en cada una. La formulación 3 incluye adicionalmente otras materias primas como son: azúcar, mantequilla, huevos y leche en polvo. Con estas formulaciones se obtuvo un pan con buenas características sensoriales el cual fue sometido a los procesos de precocido y congelación. Sin embargo, al realizar la segunda cocción de los respectivos panes, se pudo observar que los elaborados utilizando las formulaciones 1 y 2, empezaron a mostrar envejecimiento después de cuatro (4) horas, en cambio los elaborados con la formulación 3, mantuvieron sus características (Crocancia, dureza, corteza sin descascarillado) durante aproximadamente 6 horas.

Al comprobar esto, se procedió a investigar qué materias primas son las necesarias para obtener un pan que no envejezca tan rápidamente y se encontró que según Calaveras¹⁰, las formulaciones para pan precocido absorben mayor cantidad de agua y por ello es necesario incluir en la formulación una parte grasa para que la masa quede más compacta y elástica. Asimismo, este mismo autor indica que el azúcar es necesario para dar al pan terminado color dorado en la

corteza, sabor y especialmente para “alimentar” las células de levadura por lo que se decidió incluir estas dos materias primas en la formulación.

Con respecto a los porcentajes de adición se tomó la harina como base de cálculo (100%), en el caso de la sal y el azúcar, se llegó a este valor (2.5%), teniendo en cuenta que se encuentra dentro de los parámetros estudiados y principalmente que se obtuvo un buen sabor; en el caso de la margarina con éste porcentaje (2.5%), hubo mejor incorporación de las materias primas, se obtuvo una masa más elástica y una mejor textura de miga, el porcentaje de levadura (2.5%), también está dentro de los parámetros y se obtuvo buen volumen en los panes elaborados; de igual manera sucedió con el contenido de masa madre (5%) además de que se mejoró el aroma y el sabor del producto; finalmente, el contenido de agua (58%), de igual manera se encuentra dentro de los parámetros establecidos y fue la adecuada para obtener una masa compacta y elástica.

En cuanto al proceso de elaboración podemos observar que todos los procesos de elaboración evaluados tienen básicamente las mismas operaciones. Sin embargo, también podemos observar que en dos de éstos no aparece el proceso de descongelación del pan y en uno sí. Experimentalmente se encontró que si no se descongela el pan, la corteza de este toma color rápidamente y el interior continúa estando compacto, por lo que hace que ese pan se envejezca muy pronto, por ello es necesario incluir esta operación en el proceso de elaboración de éste tipo de pan. La formulación y el proceso de elaboración para los dos tipos de panes fueron obtenidos bajo la orientación de un panadero profesional.

Tabla 12. Tabla comparativa de formulaciones ensayadas Vs. formulación obtenida.

FORMULACIONES	F 1	F 2	F 3	Formulación obtenida
MATERIA PRIMA	(%)	(%)	(%)	(%)
Harina	100	100	100	100
Sal	2	2.4	2	2.6
Azúcar	-	-	6	2.5
Margarina	-	-	12	2.5
Huevos	-	-	6	-
Leche en polvo	-	-	5	-
Levadura	1.5	2.4	3	2.5
Masa Madre	1	1	5	5
Agua	65	68	60	58

FUENTE: La autora.

2.1.3.2. Proceso de elaboración obtenido para pan francés precocido congelado.

- ◆ **Dosificación y Pesaje de materias primas.** Cada una de las materias primas utilizadas fueron pesadas sobre una hoja de papel aluminio (REYNOLDS) en una balanza gramera (OHAUS triple beam 750 SW) y dosificadas mediante el uso de una espátula.
- ◆ **Amasado.** Se realizó una masa mediante el uso de una batidora o mezcladora con dispositivo de horquilla (gancho) de balde abierto (Batidora industrial KITCHEN AID modelo KSM5) durante 20 minutos a una temperatura de 23°C. Se realizó un amasado estándar y se adicionaron en su orden: Harina, levadura, margarina, azúcar, sal, masa madre y el agua.

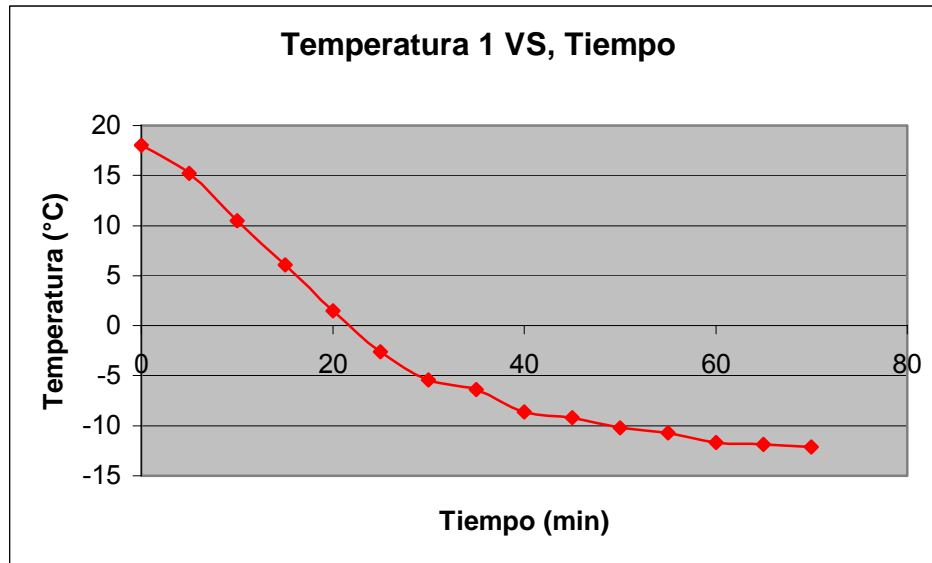
- ◆ **División y Boleado.** Seguidamente se procedió a cortar la masa, formando bolas de alrededor de 60g cada una debido a que durante el proceso de horneado, congelación y almacenamiento hay pérdidas de humedad y necesitamos un pan de 50g de peso.
- ◆ **Reposo.** Las bolas elaboradas en el procedimiento anterior se dejan reposar durante 60 minutos.
- ◆ **Formado.** Se laminó cada bola con el rodillo y se formaron los panes de manera apretada para evitar que se escape el gas producido en la posterior fermentación. Se realizaron cortes diagonales para evitar que el pan se “explote”. Estos cortes no fueron muy profundos.
- ◆ **Fermentación.** Después de lo anterior, los panes se dejaron fermentar por una hora en cámara de fermentación (ENZIPAN S.A.) con una humedad del 75% y a una temperatura de 25°C.
- ◆ **Primer horneado.** Los panes fueron introducidos en el horno (TEDESCO) a una temperatura de 200°C, por 12 minutos y se les añadió vapor al comienzo de este procedimiento.
- ◆ **Enfriamiento.** Se realizó en la cámara de fermentación (ENZIPAN S.A.) a una temperatura de 18°C y una humedad del 75% hasta alcanzar una temperatura de 25°C.
- ◆ **Congelación.** Este procedimiento se realizó en el túnel de congelación de la Universidad de La Salle el cual está estructurado en lámina de acero brillante de 1,20m de frente por 0,9m de fondo por 1,10m de alto y sus paredes son de

4 pulgadas de espesor. Además posee un tablero electrónico de 1HP con controlador electrónico Danfoss y un evaporador de 6.000 BTU/h además de una unidad condensadora de 1HP.

El procedimiento se realizó con una temperatura de -20°C en el interior de la cámara y con una la velocidad de aire de 1.5 m/s hasta llegar a una temperatura de -8°C en el interior del pan. Esta temperatura se controla por medio de cuatro termocuplas las cuales indican el valor de la misma en cuatro muestras diferentes de pan.

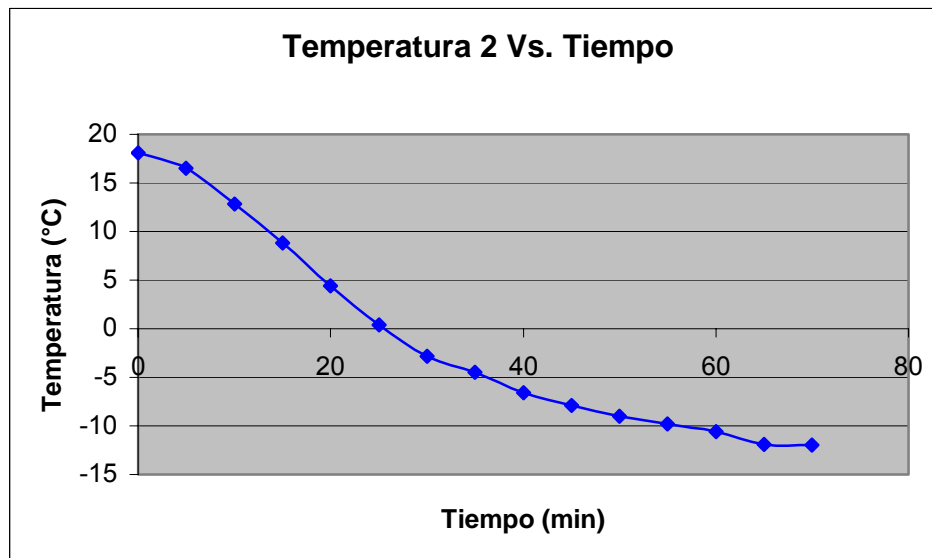
Para este procedimiento se obtuvo las siguientes curvas de congelación (graficos 4-7) en las cuales se puede apreciar el tiempo total necesario para congelar totalmente el pan y la temperatura aproximada de congelación del mismo. De igual manera se puede observar que las curvas son muy semejantes para las cuatro muestras diferentes de pan lo que nos indica que el túnel de congelación trabaja de una manera uniforme y todos los panes fueron congelados bajo las mismas condiciones:

Grafico 4. Curva de congelación para la muestra 1.



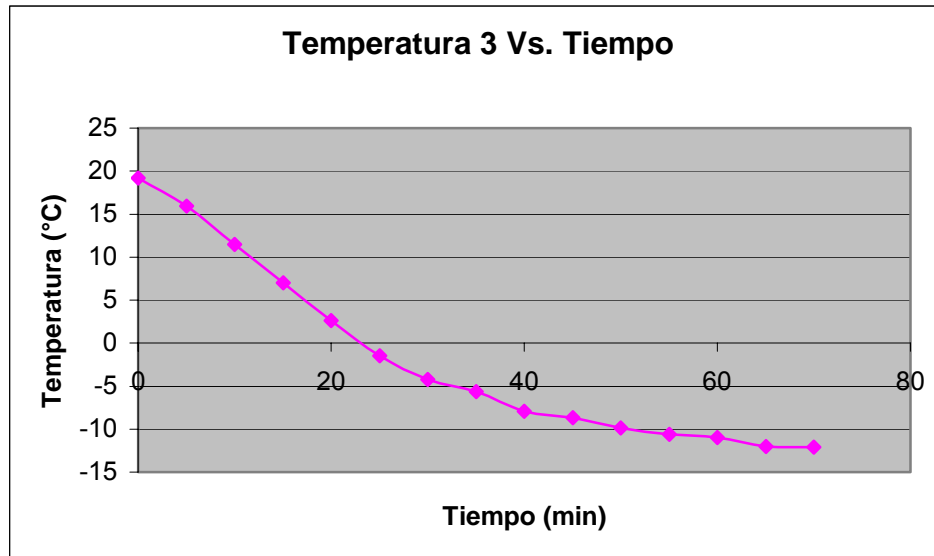
FUENTE: La autora.

Gráfico 5. Curva de congelación para la muestra 2.



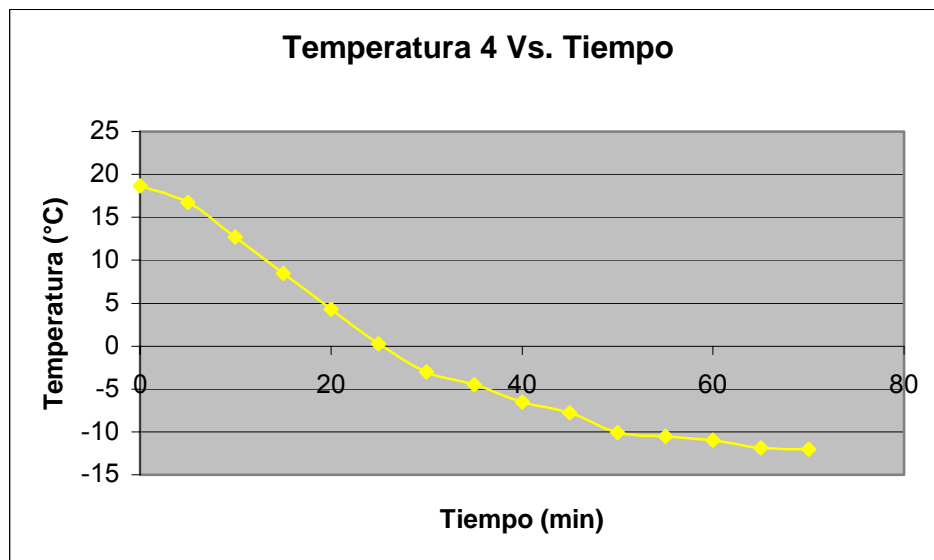
FUENTE: La autora.

Gráfico 6. Curva de congelación para la muestra 3.



FUENTE: La autora.

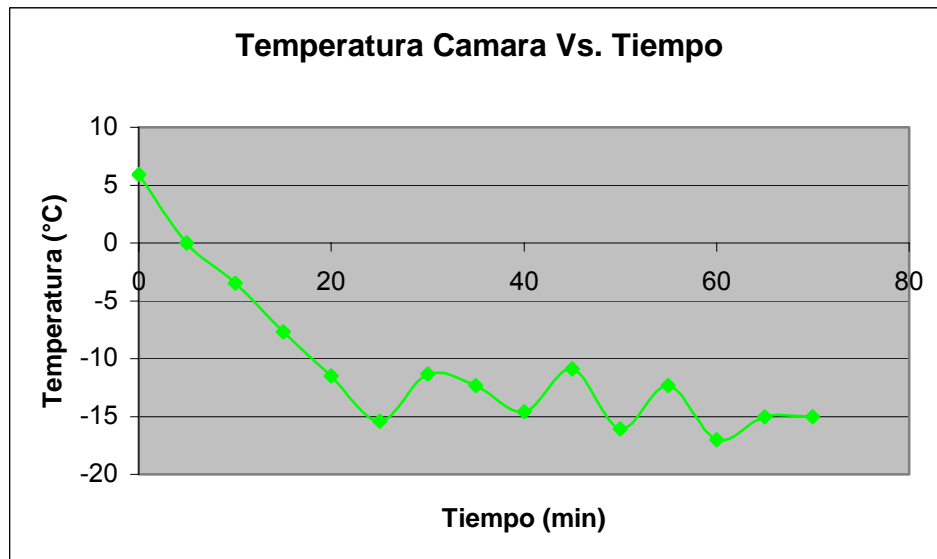
Gráfico 7. Curva de congelación para la muestra 4.



FUENTE: La autora.

También se lleva un control de la temperatura de la cámara de congelación para la cual se obtuvo la siguiente gráfica en la cual podemos observar cómo va disminuyendo la temperatura a través del tiempo:

Gráfico 8. Temperatura de la cámara Vs. Tiempo.



FUENTE: La autora.

- ◆ **Almacenamiento.** Este se realizó a -18°C durante 1-12 semanas en bolsas plásticas para evitar que la corteza del pan se queme.
- ◆ **Descongelación.** Se realizó a temperatura ambiente por un tiempo de 30 minutos.
- ◆ **Segunda Cocción.** Se dió vapor al pan para ayudar a tomar ese color dorado característico del pan llamativo. Este proceso dura 8 minutos y se realizó a una temperatura de 200°C .

2.1.3.3. Formulación obtenida para la elaboración de pan francés fresco

Como se realizaron pruebas triangulares, el pan francés precocido congelado y almacenado se comparó con pan francés fresco. Para el pan francés fresco se obtuvo la formulación descrita en la tabla 13 partiendo de la obtenida para el pan precocido y teniendo en cuenta que se utilizó otro tipo de harina:

Tabla 13. Formulación obtenida para la elaboración de pan francés fresco

Materias Primas	Porcentaje (%)
Harina	100
Sal	2.5
Azúcar	2.5
Levadura	2.5
Margarina	2.5
Agua	50

FUENTE: La autora.

2.1.3.4. Proceso de elaboración obtenido para pan francés fresco.

- ◆ **Dosificación y Pesaje de materias primas.** Cada una de las materias primas utilizadas fueron pesadas sobre una hoja de papel aluminio (REYNOLDS) en una balanza gramera (OHAUS triple beam 750 SW) y dosificadas mediante el uso de una espátula.
- ◆ **Amasado.** Se realizó una masa mediante el uso de una batidora o mezcladora con dispositivo de horquilla (gancho) de balde abierto (Batidora industrial

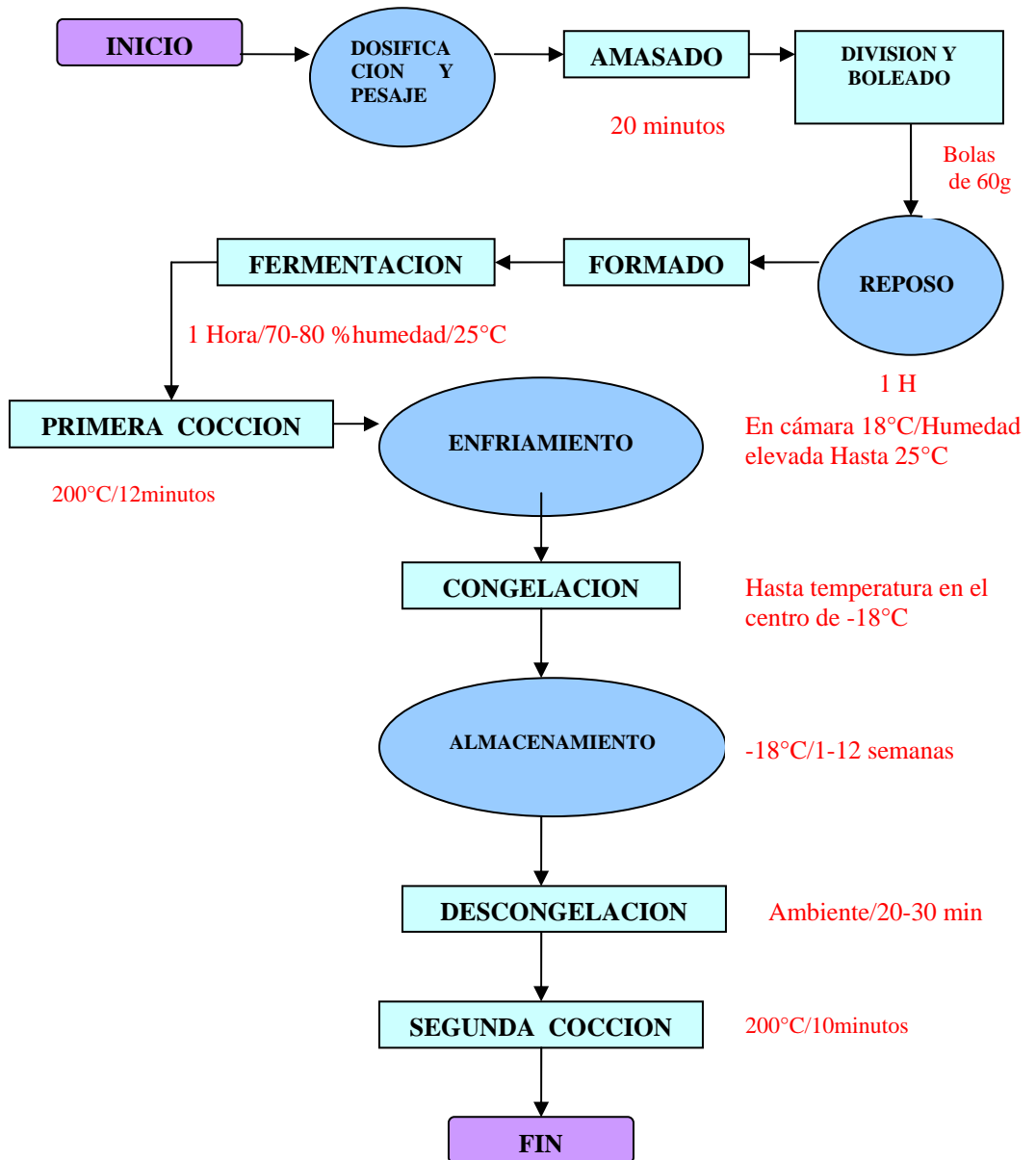
KITCHEN AID modelo KSM5) durante 20 minutos a una temperatura de 23°C.

Se adicionaron en su orden: Harina, levadura, margarina, azúcar, sal y el agua.

- ◆ **División y Boleado.** Seguidamente se procedió a cortar la masa, formando bolas de alrededor de 60g cada una debido a que durante el proceso de horneado hay pérdidas de humedad y necesitamos un pan de 50g de peso.
- ◆ **Reposo.** Las bolas elaboradas en el procedimiento anterior se dejan reposar durante 60 minutos.
- ◆ **Formado.** Se laminó cada bola con el rodillo y se formaron los panes de manera apretada para evitar que se escape el gas producido en la posterior fermentación. Se realizaron cortes diagonales para evitar que el pan se “explote”. Estos cortes no fueron muy profundos.
- ◆ **Fermentación.** Después de lo anterior, los panes se dejaron fermentar por una hora en cámara de fermentación (ENZIPAN S.A.) con una humedad del 75% y a una temperatura de 25°C.
- ◆ **Horneado.** Se realizó por 20 minutos a una temperatura de 200°C.

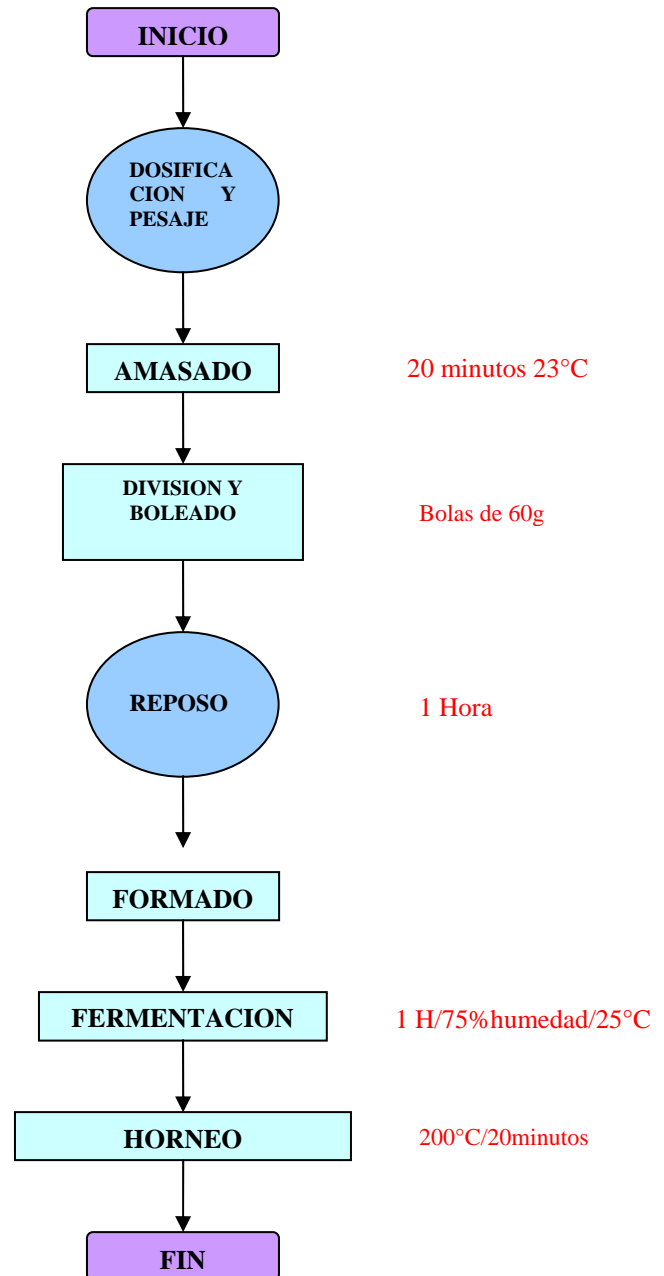
A continuación en los diagramas 8 y 9 se describen los procesos de elaboración del pan precocido congelado y el pan fresco respectivamente:

Diagrama 8. Proceso de elaboración obtenido para pan francés precocido congelado.



FUENTE: La autora.

Diagrama 9. Proceso de elaboración obtenido para pan francés fresco



FUENTE: La autora.

2.1.4. Evaluación Sensorial para producto terminado

Todas las muestras de pan precocido que se evaluaron durante el desarrollo del trabajo se elaboraron el mismo día (martes) en la semana cero (0). Cada siete días (una semana) se elaboró pan francés fresco para luego realizar el panel de evaluación sensorial el cual se conformó por cinco personas entrenadas (LEVAPAN S.A) los cuales evaluaron por duplicado las diferencias encontradas entre producto fresco y precocido congelado almacenado a una temperatura de -18°C por un tiempo de hasta 12 semanas, mediante el método de pruebas triangulares. Las diferencias se tabularon en formato realizado con anterioridad (ANEXO O), para luego ser analizadas estadísticamente. Cabe recordar que se tuvo en cuenta que según Pedrero⁹, el número mínimo de juicios correctos es ocho (8) para establecer significancia con un $p = 0.01$ y siete (7) con un $p = 0.05$ en relación con 10 juicios realizados. (ANEXO N).

2.1.5. Medidas físicas. Se realizaron análisis de dureza mediante el uso del Penetrómetro (Pocket Penetrometer CL-700 A SOIL TEST. INC. USA) y de humedad mediante el uso de la balanza de humedad (OHAUS MOISTURE DETERMINATION BALANCE) que hacen parte de la planta piloto de cereales de la Universidad de la Salle. Se tomaron tres datos por análisis para poder calcular un promedio de estos valores por semana.

2.1.6. Análisis estadístico de resultados.

Cabe recordar que según Singh², la vida útil de alta calidad es el tiempo transcurrido entre la congelación de un producto de alta calidad y el momento en que, por valoración sensorial se observa una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.01$), con respecto a la alta calidad inicial (inmediatamente después de la congelación). La diferencia observada se define como *diferencia apenas advertida*. Pedrero⁹, describe que en un test triangular realizado para detectar sensorialmente la calidad de un producto contando con 10 juicios, el número mínimo de juicios correctos para establecer diferencia significativa es 8 a un $p = 0.01$ y 7 a un $p = 0.05$, lo anterior se determina mediante tabla tabulada. (ANEXO N).

Como adicionalmente se realizaron análisis de contenido de humedad y endurecimiento en pan fresco y precocido; se tomaron tres (3) lecturas o valores semanales (cada uno en un pan diferente) para cada análisis con el fin de poder calcular el valor medio de estos siguiendo la metodología de Martínez⁸ así:

◆ % Humedad promedio en el pan de corteza fresco:

$$\%HP_{pf} = \frac{\sum \%H_{pf}}{No.datos} \quad \text{donde,}$$

$\%HP_{pf}$ = % Humedad promedio en el pan de corteza fresco.

$\sum \%H_{pf}$ = \sum % Humedad en el pan de corteza fresco

◆ **% Humedad promedio en el pan de corteza precocido congelado:**

$$\%HP_{pc} = \frac{\sum \%H_{pc}}{No.datos} \text{ donde,}$$

$\%HP_{pc}$ = % Humedad promedio en el pan de corteza precocido congelado.

$\sum \%H_{pc}$ = \sum %Humedad en el pan de corteza precocido congelado.

◆ **Dureza promedio en el pan de corteza fresco:**

$$DP_{pf} = \frac{\sum D_{pf}}{No.datos} \text{ donde,}$$

DP_{pf} = Dureza promedio en el pan de corteza fresco.

$\sum D_{pf}$ = \sum Dureza en el pan de corteza fresco.

◆ **Dureza promedio en el pan de corteza precocido congelado:**

$$DP_{pc} = \frac{\sum D_{pc}}{No.datos} \text{ donde,}$$

DP_{pc} = Dureza promedio en el pan de corteza precocido congelado.

$\sum D_{pc}$ = \sum Dureza en el pan de corteza precocido congelado.

Después de determinar el valor medio de humedad y endurecimiento en el pan de corteza fresco y en el pan de corteza precocido congelado de cada semana, se realizó análisis de varianza de dos vías con el fin de establecer si existe o no diferencia significativa entre valores y poder definir la presencia de cambios con el

tiempo y verificar que formulaciones y proceso de elaboración fueron realmente estandarizados. El análisis se realizó según Pedrero⁹ así:

◆ **Factor de corrección:**

$$FC = \frac{(\sum Totaldatos)^2}{No.datos}$$

◆ **Suma de cuadrados para semanas:**

$$SCs = \left[\frac{(\sum DS_1)^2 + (\sum DS_2)^2 + (\sum DS_3)^2}{No.Muestras} \right] - FC \text{ donde,}$$

SCs = Suma de cuadrados para semanas.

$\sum DS$ = \sum Datos tomados cada siete días (cada semana).

FC = Factor de corrección

◆ **Grados de libertad para semanas:**

$$gls = No.Totalsemanas - 1 \quad \text{donde,}$$

gls = Grados de libertad para semanas.

◆ **Suma de cuadrados para muestras:**

$$SCm = \left[\frac{(\sum DM_1)^2 + (\sum DM_2)^2 + \dots (\sum DM_n)^2}{No.Semanas} \right] - FC$$

donde,

SCm = Suma de cuadrados para muestras.

$\sum DM$ = \sum Datos de cada muestra tomados en el tiempo total de estudio
(12 semanas).

FC = Factor de corrección

◆ **Grados de libertad para muestras:**

$$gls = No.MS - 1 \quad \text{donde,}$$

gls = Grados de libertad para muestras.

No.MS = Número de muestras semanales.

◆ **Suma de cuadrados total:**

$$SCt = \left[(D_1)^2 + (D_2)^2 + \dots (D_n)^2 \right] - FC \quad \text{donde,}$$

SCt = Suma de cuadrados total.

D = Datos tomados en el tiempo total de estudio (12 semanas).

◆ **Grados de libertad total:**

$$glt = No.totaldatos - 1. \quad \text{donde,}$$

glt = Grados de libertad total.

◆ **Suma de cuadrados del error:**

$$SCe = SCt - SCs - SCm \quad \text{donde,}$$

SCe = Suma de cuadrados del error.

SCt = Suma de cuadrados total.

SCs = Suma de cuadrados para semanas.

SCm = Suma de cuadrados para muestras.

◆ **Grados de libertad del error:**

$$gle = glt - gls - glm \quad \text{donde,}$$

gle = Grados del error.

glt = Grados de libertad totales.

gls = Grados de libertad para semanas.

glm = grados de libertad para muestras.

◆ **Cuadrados medios:**

$$CMm = \frac{SCm}{glm} \quad \text{donde,}$$

CMm = Cuadrado medio para muestras.

SCm = Suma de cuadrados para muestras.

glm = Grados de libertad para muestras.

$$CMs = \frac{SCs}{gls} \quad \text{donde,}$$

CMs = Cuadrado medio para semanas.

SCs = Suma de cuadrados para semanas.

gls = Grados de libertad para semanas.

$$CMe = \frac{SCe}{gle} \quad \text{donde,}$$

CMe = Cuadrado medio del error.

SCe = Suma de cuadrados del error.

gle = Grados de libertad del error.

◆ **Relación de variación por muestras:**

$$FM = \frac{CMm}{CMe} \quad \text{donde,}$$

Fm = Relación de variación por muestras.

CMm = Cuadrado medio para muestras.

CMe = Cuadrado medio del error.

◆ **Relación de variación para semanas:**

$$Fs = \frac{CMs}{CMe} \quad \text{donde,}$$

Fs = Relación de variación por semanas.

CMs = Cuadrado medio para semanas..

CMe = Cuadrado medio del error.

De acuerdo con Pedrero⁹, luego de haber realizado los cálculos correspondientes con las ecuaciones anteriores, los valores obtenidos de la relación de variación (F), se comparan con los valores de las tablas: Valores críticos para F (ANEXOM). Si los valores calculados son mayores que los de las tablas, se establecerá que existe diferencia significativa al 5% o al 1%, según corresponda.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. MUESTRAS.

3.1.1. Balance de materia para el pan francés precocido congelado.

El balance de materia se realizó para cada equipos que se utilizó en la elaboración del producto así: mezcladora, cámara de fermentación, horno, túnel de congelación y congelador (ANEXO A), se obtuvo los siguientes resultados:

A = Harina de trigo = 4750g	}	⇒	G = Mezcla 1 = 5457.25g
B = Levadura = 118.75g			
C = Azúcar = 118.75g			
D = Margarina = 118.75g			
E = Sal = 123.5g			
F = Masa Madre = 227.5g			
H = Agua = 2755g			
I = Merma 1 = 41.06g			
J = Mezcla 2 = 8171.19g			
K = Agua + gases de fermentación = 37.89g			
L = Panes fermentados = 8209.08g			
M = Merma 2 = 820.9g			
N = Pan precocido = 7388.18g			
O = Merma 3 = 92.35g			
P = Pan precocido congelado = 7295.82g			
Q = Merma 4 = 164.89g			
R = Pan precocido congelado almacenado = 7130.93g			

S = Merma 5 = 499.16g

T = Pan precocido terminado = 6631.76g

◆ Balance General

$$\begin{aligned} \mathbf{E} &= \mathbf{S} \\ G + H + K &= I + M + O + Q + S + T \\ (2755 + 5457.25 + 37.89)\text{g} &= (41.06 + 820.9 + 92.35 + 164.89 + 499.16 \\ &\quad + 6631.76)\text{g} \\ 8250.14\text{g} &= 8250.14\text{g} \end{aligned}$$

3.1.2. Balance de materia para el pan francés fresco.

El balance de materia fue realizado en cada uno de los equipos que se utilizan en la elaboración del producto como: mezcladora, cámara de fermentación, horno (ANEXO B) y se obtuvieron los siguientes resultados:

A = Harina de trigo = 500g	}	⇒	F = Mezcla 1 = 550g
B = Levadura = 12.5g			
C = Azúcar = 12.5g			
D = Margarina = 12.5g			
E = Sal = 12.5g			
G = Agua = 250g			
H = Merma 1 = 3.82g			
I = Mezcla 2 = 796.18g			
J = Agua + gases de fermentación = 26.23g			
K = Panes fermentados = 822.41g			
L = Merma 2 = 128.39g			
M = Pan fresco terminado = 694.02g			

◆ **Balance General**

$$\begin{aligned} E &= S \\ F + G + I &= H + L + M \\ (250 + 237.5 + 26.23)g &= (3.82 + 128.39 + 681.52)g \\ 813.73g &= 813.73g \end{aligned}$$

3.1.3. Balance de energía para el pan francés precocido congelado

El balance de energía se determinó en las diferentes etapas del proceso de elaboración del producto, en donde existe un cambio de temperatura lo cual produce ganancia o pérdida de calor (ANEXO C). Para la determinación de este balance se utilizó las siguientes ecuaciones:

◆ Para la mezcladora:

$$Q = P \cdot t \quad \text{donde,}$$

Q = Calor (Kwh)
P = Potencia (Kw)
t = Tiempo (h)

◆ Para la cámara de fermentación, el horno y el túnel de congelación, :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \text{donde,}$$

Q = Calor (J)
m = masa de pan (g)
C_p = Calor específico del pan (J/g°C)
ΔT = Gradiente de temperatura (°C)

Para la determinación del calor específico del pan precocido se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_{p_p} = y_1 C_{p_1} + Y_2 C_{p_2} + Y_3 C_{p_3} + Y_4 C_{p_4} + Y_5 C_{p_5} + Y_6 C_{p_6} \quad \text{donde,}$$

C_{p_p} = Calor específico del pan .

y₁ = Fracción en masa de agua

Cp_1 = Calor específico del agua
 Y_2 = Fracción en masa de margarina
 Cp_2 = Calor específico de la margarina
 Y_3 = Fracción en masa de harina
 Cp_3 = Calor específico de la harina
 Y_4 = Fracción en masa de azúcar
 Cp_4 = Calor específico del azúcar
 Y_5 = Fracción en masa de sal
 Cp_5 = Calor específico de la sal
 Y_6 = Fracción en masa de levadura
 Cp_6 = Calor específico de la levadura

Los calores específicos de las materias primas se encuentran en la tabla 14:

Tabla 14. Calores específicos de las materias primas.

Materia Prima	Cp (J/g°C)
Agua	4.18
Hielo	2.09
Margarina	2.92
Harina	1.88
Azúcar	1.95
Sal	1.902
Levadura	2.31

FUENTE: VELANDIA T, Silvia P. Diseño del proceso productivo del pandebono congelado en Carulla y Cia. S.A. de Bogotá.

Al realizar los cálculos correspondientes se obtuvo los resultados de la tabla 15:

Tabla 15. Consumo calórico por equipo para el pan francés precocido congelado.

Equipo	Consumo (Kwh)
Mezcladora	0.012
Cámara de fermentación	0.051
Horno (primer horneó)	0.31
Túnel de congelación	-0.17
Horno (segundo horneó)	0.422
TOTAL	0.965
VALOR Kwh	\$250
COSTO CONSUMO	\$241.25

FUENTE: La autora.

Durante el proceso de elaboración del pan francés precocido congelado el equipo que mayor consumo calórico requirió fue el horno debido a que maneja temperaturas muy altas y a que se deben realizar dos horneos.

Durante cada una de las etapas hubo ganancia de calor a diferencia de la etapa de congelación en donde se presentó una pérdida de calor requerida para disminuir la temperatura del producto y por consiguiente la energía del proceso.

3.1.4. Balance de energía para el pan francés fresco.

El balance de energía se determinó para el tiempo total de evaluación (12 semanas) en las diferentes etapas del proceso de elaboración del producto, en donde existe un cambio de temperatura lo cual produce ganancia o pérdida de calor (ANEXO D). Para la determinación de este balance se utilizó las siguientes ecuaciones:

- ◆ Para la mezcladora:

$$Q = P \cdot t \quad \text{donde,}$$

Q = Calor (Kwh)
P = Potencia (Kw)
t = Tiempo (h)

- ◆ Para la cámara de fermentación y el horno:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad \text{donde,}$$

Q = Calor (J)
m = masa de pan (g)
C_p = Calor específico del pan (J/g°C)
ΔT = Gradiente de temperatura (°C)

Al realizar los cálculos correspondientes se tuvo como resultado los valores de la tabla 16:

Tabla 16. Consumo calórico por equipo para el pan francés fresco.

Equipo	Consumo (Kwh)
Mezcladora	0.42
Cámara de fermentación	0.060
Horno	0.534
TOTAL	1.014
VALOR Kwh	\$250
COSTO CONSUMO	\$253.5

FUENTE: La autora.

Durante el proceso de elaboración del pan francés fresco el equipo de mayor consumo calórico fue el horno debido a la alta temperatura requerida para la cocción del producto.

3.2. EVALUACION SENSORIAL DEL PRODUCTO TERMINADO

Aplicando la teoría de Pedrero⁹, el número mínimo de juicios correctos para establecer significancia con un $p = 0.01$ es ocho (8) y siete (7) con un $p = 0.05$ en relación con 10 juicios realizados (ANEXO N), por lo tanto, se encontró diferencia significativa entre la décima (10) semana 10 y la doceava (12) semana.

La identificación satisfactoria de cada muestra por parte de los panelista se muestra en la tabla 17:

Tabla 17. Datos obtenidos en el panel de evaluación sensorial durante 12 semanas.

Semana	Panelista 1		Panelista 2		Panelista 3		Panelista 4		Panelista 5		Observaciones
1	*	*	*	*	*		*				Más salado, más crocante.
2	*		*	*	*	*					Más salado, más crocante.
3	*		*		*		*		*		Más salado, más crocante, miga con menos huecos.
4	*	*							*		Más salado, miga con menos huecos.
5			*						*		Más crocante.
6					*	*			*		Más crocante, menos volumen, menos sabor.
7					*						Más duro, menos sabor, mas crocante.
8	*		*		*				*	*	Mas crocante, menos aroma, un poco descascarillado.
9	*		*	*			*	*	*		Menos aroma, más crocante, mas duro, menos sabor, un poco descascarillado.
10	*	*	*		*		*	*	*		Un poco descascarillado, menos aroma, mas duro, menos sabor.
11	*				*	*	*		*	*	Un poco descascarillado, menos aroma, menos sabor, mas duro.
12	*	*	*		*	*	*	*	*	*	Un poco descascarillado, menos sabor, menos aroma, mas duro.

* Identificación satisfactoria de la muestra diferente (Pan francés precocido congelado).

FUENTE: La autora.

De acuerdo con lo observado en la tabla 17, durante las cuatro (4) primeras semanas el pan tiene un sabor ligeramente más salado, esto debido a que la formulación para el pan precocido congelado tiene 0.1% más contenido de sal, a partir de la semana seis (6), se empiezan a captar variaciones insignificativas en cuanto a sabor, dureza y crocancia. A partir de la semana ocho (8), empieza a ser captada la pérdida de aroma y la aparición de descascarillado en la corteza. Todas estas variaciones se dieron debido posiblemente a la pérdida de humedad durante el tiempo de almacenamiento en congelación.

3.2.1. Identificación satisfactoria del producto (pan francés precocido congelado).

Como se indicó en el capítulo 2, de acuerdo con Pedreros⁹ hay diferencia significativa cuando de 10 juicios hay identificación satisfactoria de 8 de ellos y esto se observa entre la semana 10 y la semana 12.

3.3. MEDIDAS FISICAS

Para los factores de humedad y endurecimiento del pan francés precocido congelado se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 18. Resultados promedio en % de humedad para el pan de francés precocido congelado durante 12 semanas.

SEMANA	%HUMEDAD PROMEDIO
1	3.46
2	2.06
3	1.93
4	1.46
5	2.03
6	2.03
7	1.7
8	1.43
9	1.36
10	1.4
11	1.23
12	1.2

FUENTE: La autora.

Como se puede observar de los valores % promedio de humedad en el pan francés precocido congelado disminuyó a la medida que transcurrió el tiempo pasando de 3.46% en la primera semana a 1.2% en la última; sin embargo, al realizar el análisis de varianza (ANEXO G) para determinar si la diferencia fue o no significativa se encontró lo siguiente:

H_0 = No hay diferencia significativa en el contenido de humedad

H_a = Por lo menos uno de los valores obtenidos es diferente.

Tabla 19. Cuadro de análisis de varianza (%Humedad pan francés precocido congelado)

Fuente de variación	gl	SC	CM	F
Semanas	11	12.762	1.16	218.455
Muestras	2	0.003	0.0015	0.282
Error	22	0.117	$5.31 \cdot 10^{-3}$	
TOTAL	35	12.882		

FUENTE: La autora.

Tabla 20. Tabla de comparación del valor F para semanas (%Humedad pan francés precocido congelado)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	2.2725	<	218.455	SI
0.05	3.2025	<	218.455	SI

FUENTE: La autora.

Tabla 21. Tabla de comparación del valor F para muestras (%Humedad pan francés precocido congelado)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	3.44	>	0.282	NO
0.05	5.72	>	0.282	NO

FUENTE: La autora.

Como se puede observar en la tabla 20, al comparar el valor de la relación de variación F calculados Vs. Los valores tabulados (ANEXO M), estos fueron menores indicando que el % de humedad en el pan francés precocido congelado tiene variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) a medida que transcurre el tiempo de

congelación, por tanto, se toma como referencia la hipótesis alterna H_a , lo que quiere decir que los valores obtenidos para el % de humedad mostraron diferencia de una semana a otra. De igual manera, podemos observar en la tabla 21 que al comparar el valor de la relación de variación F calculados Vs. Los valores tabulados, estos son mayores indicando que el % de humedad en el pan francés precocido no tiene una variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) entre muestras, por tanto se toma como referencia la hipótesis nula H_0 .

Tabla 22. Resultados promedio de dureza en Kg/cm^2 para el pan francés precocido congelado durante 12 semanas.

SEMANA	DUREZA PROMEDIO (Kg/cm^2)
1	0.71
2	0.74
3	0.74
4	0.7
5	0.68
6	0.71
7	0.79
8	0.67
9	0.76
10	0.79
11	0.87
12	0.91

FUENTE: La autora.

Como se puede observar los valores promedio para la dureza en el pan francés precocido congelado aumentaron a medida que transcurrió el tiempo de congelación pasando de 0.71Kg/cm^2 en la primera semana a 0.91 Kg/cm^2 en la última. Sin embargo, fue necesario realizar un análisis de varianza para determinar

si esta diferencia es significativa o no. Este análisis se realizó como se indica en el capítulo 2 (ANEXO H) y se obtuvo los siguientes resultados:

H_0 = No hay diferencia significativa en la dureza del producto.

H_a = Por lo menos uno de los valores obtenidos es diferente.

Tabla 23. Cuadro de análisis de varianza (Dureza pan francés precocido congelado)

Fuente de variación	GI	SC	CM	F
Semanas	11	42.024	3.821	-2.011
Muestras	2	0.002	0.001	$-5.26 \cdot 10^{-4}$
Error	22	-41.815	-1.9	
TOTAL	35	0.211		

FUENTE: La autora.

Tabla 24. Tabla de comparación del valor F para semanas (Dureza pan francés precocido congelado)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	2.2725	>	-2.011	NO
0.05	3.2025	>	-2.011	NO

FUENTE: La autora.

Tabla 25. Tabla de comparación del valor F para muestras (Dureza pan francés precocido congelado)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	3.44	>	$-5.26 \cdot 10^{-4}$	NO
0.05	5.72	>	$-5.26 \cdot 10^{-4}$	NO

FUENTE: La autora.

Como se puede observar en la tabla 24, al comparar el valor de la relación de variación F calculados Vs. los valores tabulados (ANEXO M), estos son mayores que los primeros lo que nos indica que la dureza en el pan francés precocido tiene una variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) a medida que transcurre el tiempo. De igual manera, podemos observar en la tabla 25 que al comparar el valor de la relación de variación F calculados Vs. los valores tabulados, estos son mayores que los primeros lo que nos indica que la dureza en el pan francés precocido no tiene una variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) de una muestra con respecto a otra, por tanto, para estos dos análisis se toma como referencia la hipótesis nula H_0 .

Los resultados del porcentaje promedio de humedad y dureza en Kg/cm^2 para el pan de corteza fresco fueron los siguientes:

Tabla 26. Resultados promedio en % de humedad para el pan francés fresco durante 12 semanas.

SEMANA	%HUMEDAD PROMEDIO
1	1.8
2	1.93
3	1.76
4	1.73
5	1.7
6	1.63
7	1.73
8	1.7
9	1.63
10	1.76
11	1.76
12	1.66

FUENTE: La autora.

Como se puede observar de los valores % promedio de humedad en el pan francés fresco no tuvo mucha variación a la medida que transcurrió el tiempo; sin embargo, al realizar el análisis de varianza (ANEXO K) para determinar si la diferencia fue o no significativa se encontró lo siguiente:

H_0 = No hay diferencia significativa en el contenido de humedad

H_a = Por lo menos uno de los valores obtenidos es diferente.

Tabla 27. Cuadro de análisis de varianza (%Humedad en el pan francés fresco)

Fuente de variación	gl	SC	CM	F
Semanas	11	231.897	21.08	-2.011
Muestras	2	0.0045	0.0022	-2.099*10 ⁻⁴
Error	22	-230.584	-10.48	
TOTAL	35	1.317		

FUENTE: La autora.

Tabla 28. Tabla de comparación del valor F para semanas (%Humedad en el pan francés fresco)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	2.2775	>	-2.011	NO
0.05	3.2025	>	-2.011	NO

FUENTE: La autora.

Tabla 29. Tabla de comparación del valor F para muestras (%Humedad en el pan de corteza fresco)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	3.44	>	$-2.099 \cdot 10^{-4}$	NO
0.05	5.72	>	$-2.099 \cdot 10^{-4}$	NO

FUENTE: La autora.

Como se puede observar en la tabla 28, al comparar el valor de la relación de variación F calculados Vs. Los valores tabulados (ANEXO M), estos son mayores indicando que el % de humedad en el pan francés fresco no tiene una variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) a medida que transcurre el tiempo. Igual comportamiento se observó entre muestras, por tanto, se toma como referencia la hipótesis nula H_0 para los dos casos.

Tabla 30. Resultados promedio de dureza en Kg/cm^2 para el pan francés fresco durante 12 semanas.

SEMANA	DUREZA PROMEDIO (Kg/cm^2)
1	0.78
2	0.87
3	0.75
4	0.73
5	0.7
6	0.75
7	0.74
8	0.79
9	0.75
10	0.77
11	0.75
12	0.78

FUENTE: La autora.

Como se puede observar en la tabla anterior la dureza promedio en el pan francés fresco es prácticamente igual o tuvo diferencias mínimas a medida que transcurrió el tiempo de congelación; sin embargo, fue necesario realizar un análisis de varianza para determinar si esta diferencia es significativa o no. Este análisis se realizó como se indica en el capítulo 2 (ANEXO L) y se obtuvo los siguientes resultados:

H_0 = No hay diferencia significativa en la dureza del producto.

H_a = Por lo menos uno de los valores obtenidos es diferente.

Tabla 31. Cuadro de análisis de varianza (Dureza en el pan francés fresco)

Fuente de variación	gl	SC	CM	F
Semanas	11	42.407	3.855	-2.006
Muestras	2	0.0004	0.0002	$-1.039 \cdot 10^{-4}$
Error	22	-42.338	-1.924	
TOTAL	35	0.069		

FUENTE: La autora.

Tabla 32. Tabla de comparación del valor F para semanas (Dureza en el pan francés fresco)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	2.2725	>	-2.006	NO
0.05	3.2025	>	-2.006	NO

FUENTE: La autora.

Tabla 33. Tabla de comparación del valor F para muestras (Dureza en el pan francés fresco)

Nivel de significancia	Tabla F	Comparativo	Valor F calculado	Diferencia significativa
0.01	3.44	>	$-1.039 \cdot 10^{-4}$	NO
0.05	5.72	>	$-1.039 \cdot 10^{-4}$	NO

FUENTE: La autora.

Como se puede observar en la tabla 32, al comparar el valor de la relación de variación F calculados Vs. los valores tabulados (ANEXO M), estos son mayores indicando que la dureza en el pan francés fresco no tiene una variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) a medida que transcurre el tiempo de congelación. Igual comportamiento se observó entre muestras, por tanto se toma como referencia la hipótesis H_0 .

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ◆ Se logró evaluar la vida útil de alta calidad del pan de corteza precocido congelado durante almacenamiento a temperatura de -18°C , sin que se notaran diferencias significativas en sus propiedades sensoriales hasta la décima (10) semana.
- ◆ La textura y humedad del pan de corteza precocido congelado en comparación con pan de corteza fresco presenta similares características, de igual manera sucedió con las características sensoriales (sabor, color, aroma, etc).
- ◆ A partir de la semana 11, el producto mostró modificaciones en sus características sensoriales como descascaradote la corteza, pérdida de aroma y de sabor y endurecimiento.
- ◆ Para obtener siempre un producto precocido congelado con características de sabor, color, olor, textura, y volumen constantes, los equipos que se utilicen para su elaboración deberán guardar siempre las mismas condiciones de tiempo, temperatura, humedad relativa, velocidad de aire y otros factores según sea el caso.
- ◆ La adopción de ésta tecnología sólo requiere de una inversión inicial alta por el costo de adquisición de los equipos, principalmente el túnel de congelación, lo

cual será recompensado a mediano plazo, con la eliminación de mano de obra en turnos nocturnos.

- ◆ Estadísticamente, el % de humedad en el pan de corteza precocido congelado mostró significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) con las semanas de almacenamiento, lo que nos indica que este tipo de pan pierde humedad a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento de las muestras en congelación.
- ◆ De igual manera, se puede concluir que el contenido de humedad en el pan de corteza precocido congelado no tiene una variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) entre muestras, lo que indica que los datos fueron tomados correctamente en las diferentes muestras y que las condiciones de proceso fueron las mismas para las tres.
- ◆ También se concluye al realizar el análisis de varianza para la dureza tanto para el pan de corteza precocido congelado como para el fresco, que no mostraron variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) con las semanas de almacenamiento, lo que nos indica que la formulación y el proceso de elaboración si fueron estandarizados y no hubo cambios de estos durante el desarrollo del experimento además de que el almacenamiento en congelación no aumenta significativamente la dureza del pan terminado. Igual comportamiento se presentó entre muestras.
- ◆ De igual manera % de humedad en el pan de corteza fresco no mostró variación significativa ($p=1\%$ y $p=5\%$) con las semanas de almacenamiento, lo que nos indica que la formulación y el proceso de elaboración si fueron

estandarizados y no hubo cambios de estos durante el desarrollo del experimento.

- ◆ Se obtuvo una formulación y proceso de elaboración para pan de corteza precocido congelado, para ello es muy importante la orientación de un panadero profesional.
- ◆ De igual manera, se puede concluir que el consumo energético es demasiado bajo como se demostró mediante el cálculo del balance total de energía.
- ◆ Quien adopte esta tecnología, sólo necesita de un congelador y un horno para tener producto caliente disponible a cualquier hora del día y de la noche, de igual manera no necesita contar con mano de obra calificada en estos debido a que al producto precocido sólo le falta un horneado de 10 minutos.
- ◆ Al utilizar el pan precocido congelado como nuevo proceso tecnológico, se ofrece al cliente pan caliente, no existe la devolución de pan duro ya que se va horneando según la demanda de clientela, hay ahorro de tiempo y mano de obra y además con la finalidad de que los consumidores obtengan pan fresco (del día) de una manera sencilla.
- ◆ Para optimizar el proceso de elaboración del pan precocido congelado de alta calidad es necesario tener en cuenta que los requerimientos y características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas de las materias primas sean excelentes así como otros factores entre los cuales están principalmente la influencia de la temperatura del túnel de congelación y de la

velocidad del aire utilizada dentro del mismo así como del proceso de descongelación del producto.

- ◆ Para la elaboración de un pan precocido congelado es conveniente utilizar “Masa madre”, que será responsable de dar mayor sabor, olor y la forma estable y compacta a la masa.
- ◆ La harina de trigo óptima para la producción de panes precocidos congelados tiene que ser, en general, de tipo fuerte.
- ◆ Al realizar el panel de evaluación sensorial es necesario tener en cuenta que las muestras deben tener máximo 3 horas de elaboradas para garantizar que estas no han perdido calidad.
- ◆ Para realizar un buen amasado es necesario utilizar el dispositivo en forma de gancho el cual se emplea para mezclar y amasar masas leudadas como las utilizadas en este caso.
- ◆ Durante el proceso de fermentación es indispensable tener un control de la temperatura así como de la humedad debido a que el producto puede fermentarse excesivamente y adquirir un sabor desagradable. Esto se puede realizar mediante el uso de un higrómetro.
- ◆ El túnel de congelación debe ser calibrado con anterioridad además de que debe tener únicamente productos de panadería, ya que si se llega a incluir otro tipo de producto dentro de éste, el pan puede tomar olores y sabores extraños lo que llevaría la modificación de sus características sensoriales disminuyendo por tanto su calidad inicial.

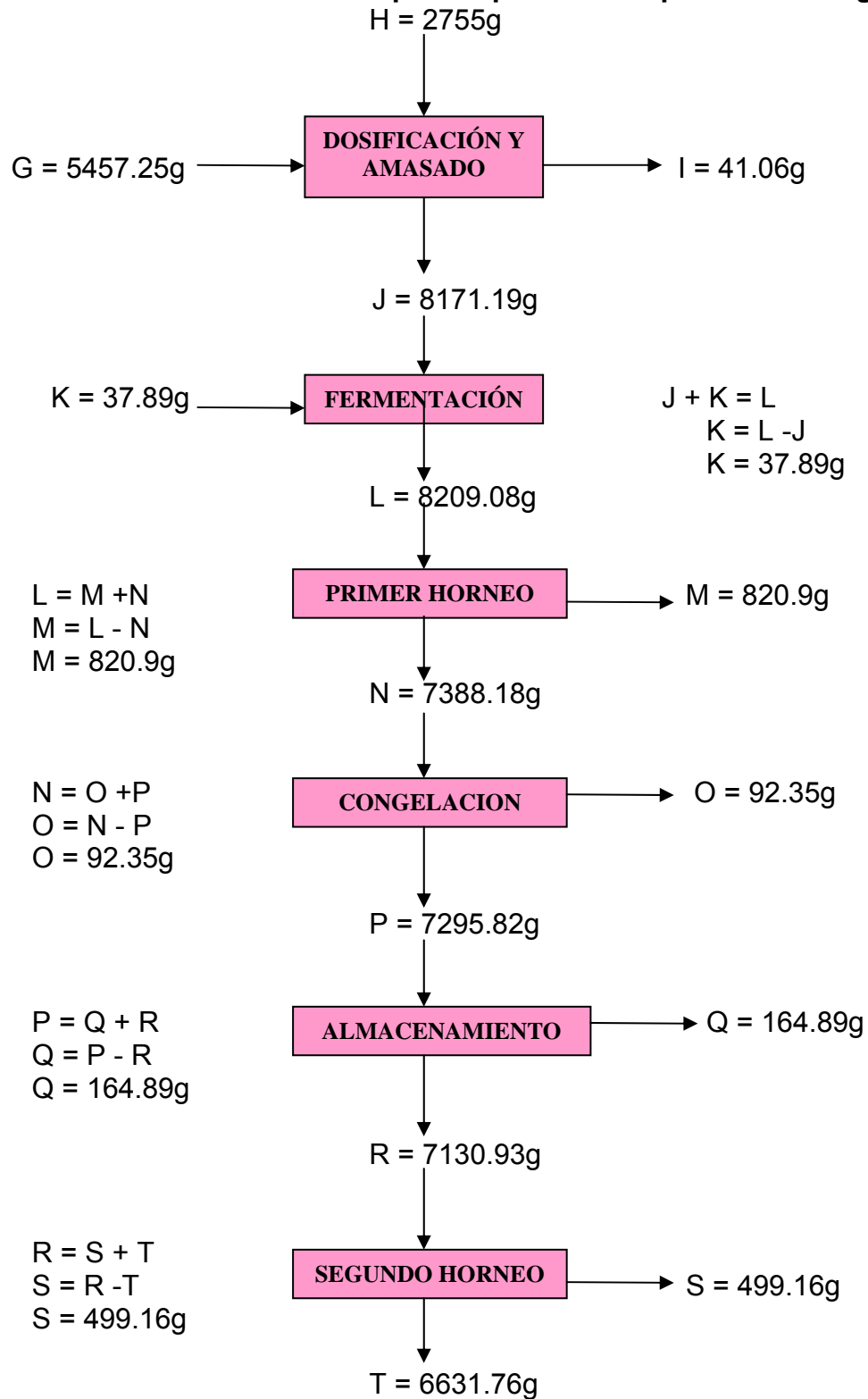
BIBLIOGRAFIA

1. MARTINEZ, Edgar. Congelación de masas en la industria panificadora de Carulla y Cia S.A. Postgrado Evaluación y desarrollo de proyectos Universidad Nuestra Señora del Rosario, Facultad de Economía. Santafé de Bogotá D.C. 1.996.
2. SINGH, Paul. Introducción a la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1.993. 544p.
3. VELANDIA T, Silvia P. Diseño del proceso productivo del pandebono congelado en Carulla y Cia. S.A. de Bogotá. Tesis Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería de Alimentos. Bogotá D.C. 2.000.
4. WWW. Geocities.com/collegetpark
5. QUAGLIA, Giovanni. Ciencia y Tecnología de la panificación. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1.991. 485p.
6. CALAVERAS, Jesús. Tratado de panificación y bollería. AMV Ediciones. Madrid, España. 1.996. 464p.
7. ANZALDUA, Antonio. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1.994. 198p.
8. MARTINEZ, Ciro. Estadística y 600 problemas resueltos. Tercera edición, Editorial Ecoe. 1.984. 922p.
9. PEDRERO, Daniel. Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Alambra

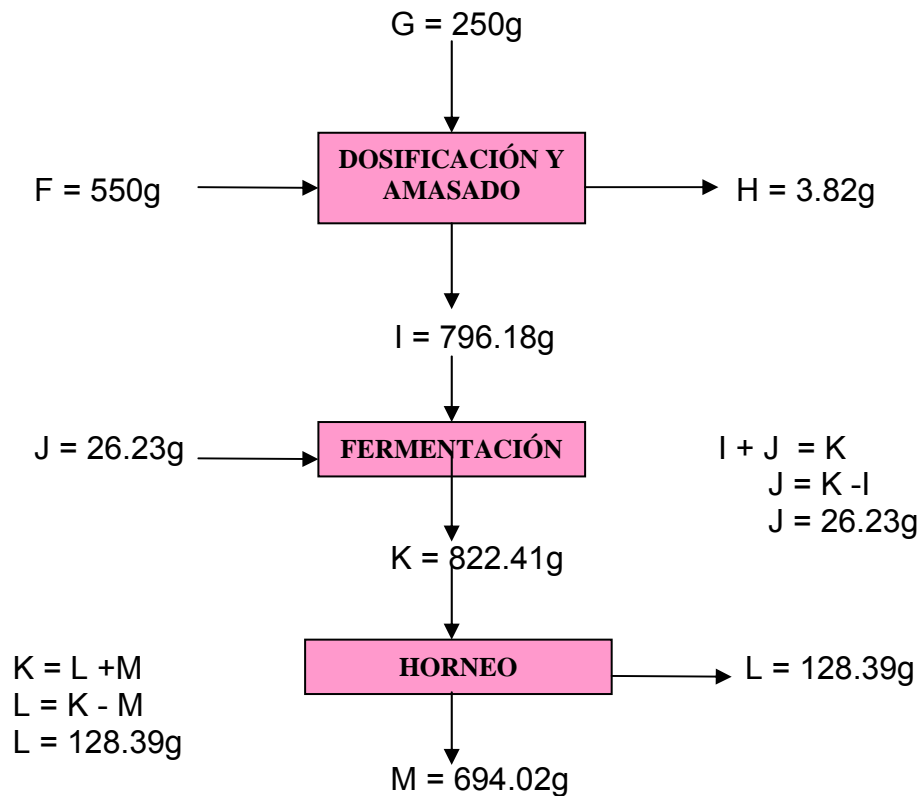
- mexicana. Primera reimpresión. Mexico D.F. 1.996
10. HERRERA V, Diana P. Estudio de la Alternativa de producción de panes crocantes y blandos a partir de masas precocidas congeladas. Tesis Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería de Alimentos. Santafé de Bogotá D.C., 1.995.
 11. HERNANDEZ, Roberto y otros. Metodología de la Investigación. Ed. México McGraw Hill. 1.998.
 12. ICONTEC. Norma para harina de trigo 267.
 13. KENT. N.L. Tecnología de los cereales. España. Acribia, 1987.
 14. Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Vol. 3, No. 5, pp. 307-313, 2002
Copyright 2002 Asociación de Licenciados en Ciencia y Tecnología de los Alimentos de Galicia (ALTAGA) ISSN 1135-8122.
 15. HUMANES, J.P. 1994. Pastelería y Panadería. Ed. McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España.
 16. TEJERO, F. 1992-1995. Panadería Española. (2 Vols.). Ed. Montagud, Barcelona, España.
 17. GUINET, R.; GODON, B. 1996. La Panificación. Ed. Montagud, Barcelona, España.
 18. CALLEJO, M. J. 2002. Industrias de Cereales y Derivados. Ed. AMV-Mundi-Prensa, Madrid, España.
 19. PÉREZ, N.; MAYOR, G.; NAVARRO, V.J. 2001. Procesos de Pastelería y Panadería. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
 20. CALVEL, R. 1983. La Panadería Moderna. Ed. AméricaLee, Buenos Aires.

21. CALVEL, R. 1994. El Sabor del Pan. Ed. Montagud, Barcelona, España. G
22. CAUVAIN, S.P.; YOUNG, L.S. 1998. Technology of Breadmaking. Ed. Blackie Academic & Professional, London.

ANEXO A
(Cálculos balance de materia para el pan francés precocido congelado)



ANEXO B
(Cálculos balance de materia para el pan francés fresco)



ANEXO C
(Cálculos balance de energía para el pan francés precocido congelado)

$$C_{p_p} = 0.58 \left(4.18 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) + 0.025 \left(2.92 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) + 1 \left(1.88 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) + 0.025 \left(1.95 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) +$$

$$0.026 \left(1.902 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) + 0.025 \left(2.31 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) = 4.533 \frac{J}{g^{\circ}C}$$

$$C_{p_p} = 4.533 \frac{J}{g^{\circ}C} \text{ (Con agua en estado líquido)}$$

$$C_{p_{pp}} = 3.321 \frac{J}{g^{\circ}C} \text{ (Con agua en estado sólido)}$$

◆ Consumo calórico:

❖ Mezcladora

$$\text{Potencia} = \frac{1}{2} \text{ Hp} = 3.728 \cdot 10^{-2} \text{ Kw}$$

$$\text{Tiempo} = 20 \text{ min} = 0.334 \text{ h}$$

$$Q = (3.728 \cdot 10^{-2} \text{ Kw})(0.334 \text{ h}) = 0.012 \text{ Kwh}$$

❖ Cámara de fermentación

$$T^{\circ} \text{ entrada del pan} = 20^{\circ} \text{ C}$$

$$T^{\circ} \text{ salida del pan} = 25^{\circ} \text{ C}$$

$$Q = 8171.19 \text{ g} \left(4.533 \frac{\text{J}}{\text{g}^{\circ} \text{C}} \right) (25-20)^{\circ} \text{ C} = 185200.02 \text{ J} = 0.051 \text{ Kwh}$$

❖ Horno (primer horneado)

$$T^{\circ} \text{ entrada del pan} = 25^{\circ} \text{ C}$$

$$T^{\circ} \text{ salida del pan} = 55^{\circ} \text{ C}$$

$$Q = 8209.08 \text{ g} \left(4.533 \frac{\text{J}}{\text{g}^{\circ} \text{C}} \right) (55-25)^{\circ} \text{ C} = 1116352.789 \text{ J} = 0.31 \text{ Kwh}$$

❖ Túnel de congelación

$$T^{\circ} \text{ entrada del pan precocido} = 25^{\circ} \text{ C}$$

$$\text{Punto de congelación del pan precocido} = -8^{\circ} \text{ C}$$

$$T^{\circ} \text{ salida del pan precocido} = -10^{\circ} \text{ C}$$

$$Q_1 = 7388.18 \text{ g} \left(4.533 \frac{\text{J}}{\text{g}^{\circ} \text{C}} \right) (-8-25)^{\circ} \text{ C}$$

$$Q_1 = -1105190.458 \text{ J} = -1105.190 \text{ Kj}$$

$$Q_2 = 7388.18g \left(3.321 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) (-10+8)^{\circ}C$$

$$Q_2 = -49072.291 J = -49.072Kj$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

$$Q_3 = -1154.262Kj$$

$$Q_4 = m\lambda$$

$$Q_4 = 7388.18g(16.8Cal/g) = 124121.424Cal = 519.671Kj$$

$$Q_{\text{total túnel}} = Q_3 + Q_4 = -1154.262Kj + 519.67Kj = -634.592Kj = -0.176Kwh$$

❖ Horno (segundo horneo)

$$T^{\circ} \text{ entrada del pan} = 13^{\circ}C$$

$$T^{\circ} \text{ salida del pan} = 60^{\circ}C$$

$$Q = 7130.93g \left(4.533 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) (60-13)^{\circ}C = 1519251.767J = 0.422Kwh$$

ANEXO D

(Cálculos balance de energía para el pan francés fresco)

◆ Consumo calórico:

❖ Mezcladora

$$\text{Potencia} = 105w = 0.105Kw$$

$$\text{Tiempo} = 20 \text{ min} = 0.334h$$

$$Q = (0.105Kw)(0.334h) = 0.035Kwh * 12 = 0.42Kwh$$

❖ Cámara de fermentación

$$T^{\circ} \text{ entrada del pan} = 20^{\circ}C$$

$$T^{\circ} \text{ salida del pan} = 25^{\circ}C$$

$$Q = 796.18g \left(4.533 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) (25-20)^{\circ}C = 18045.41J = 5.01 \cdot 10^{-3}Kwh$$

$$Q = 5.01 \cdot 10^{-3}Kwh \cdot 12 = 0.060Kwh$$

❖ Horno

T° entrada del pan = 25°C

T° salida del pan = 68°C

$$Q = 822.41g \left(4.533 \frac{J}{g^{\circ}C} \right) (68-25)^{\circ}C = 160303.334J = 0.045Kwh$$

$$Q = 0.045Kwh \cdot 12 = 0.534Kwh$$

ANEXO E

(Cálculos % Humedad promedio en el pan francés precocido congelado)

Como se indicó en el capítulo 2 el cálculo del valor medio para el % de humedad para el pan francés precocido congelado se calcula con las siguientes ecuaciones:

◆ **% Humedad promedio en el pan de corteza precocido congelado:**

$$\%HP_{pc} = \frac{\sum \%H_{pc}}{No.datos} \text{ donde,}$$

%HP_{pc} = % Humedad promedio en el pan de corteza precocido congelado.

∑%H_{pc} = ∑%Humedad en el pan de corteza precocido congelado.

➤ **Semana 1:**

$$\%HP_{pc} = \frac{3.5 + 3.5 + 3.4}{3} = 3.46$$

➤ **Semana 2:**

$$\%HP_{pc} = \frac{2.0 + 2.1 + 2.1}{3} = 2.06$$

➤ **Semana 3:**

$$\%HP_{pc} = \frac{2.0 + 1.9 + 1.9}{3} = 1.93$$

➤ **Semana 4:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.5 + 1.5 + 1.4}{3} = 1.46$$

➤ **Semana 5:**

$$\%HP_{pc} = \frac{2.1 + 2.0 + 2.0}{3} = 2.03$$

➤ **Semana 6:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.9 + 2.1 + 2.1}{3} = 2.03$$

➤ **Semana 7:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.7 + 1.7 + 1.7}{3} = 1.7$$

➤ **Semana 8:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.5 + 1.3 + 1.5}{3} = 1.43$$

➤ **Semana 9:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.4 + 1.3 + 1.3}{3} = 1.36$$

➤ **Semana 10:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.4+1.4+1.4}{3} = 1.4$$

➤ **Semana 11:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.3+1.2+1.2}{3} = 1.23$$

➤ **Semana 12:**

$$\%HP_{pc} = \frac{1.2+1.1+1.3}{3} = 1.2$$

ANEXO F

(Cálculos Dureza promedio en el pan francés precocido congelado)

Como se indicó en el capítulo 2 el cálculo del valor medio para la dureza (teniendo en cuenta los valores de la tabla anterior) para el pan de corteza precocido congelado se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$DP_{pc} = \frac{\sum D_{pc}}{No.datos} \quad \text{donde,}$$

DP_{pc} = Dureza promedio en el pan de corteza precocido congelado.

$\sum D_{pc}$ = \sum Dureza en el pan de corteza precocido congelado.

➤ **Semana 1:**

$$DP_{pc} = \frac{0.69+0.72+0.72}{3} = 0.71$$

➤ **Semana 2:**

$$DP_{pc} = \frac{0.72 + 0.75 + 0.75}{3} = 0.74$$

➤ **Semana 3:**

$$DP_{pc} = \frac{0.72 + 0.75 + 0.75}{3} = 0.74$$

➤ **Semana 4:**

$$DP_{pc} = \frac{0.75 + 0.6 + 0.75}{3} = 0.7$$

➤ **Semana 5:**

$$DP_{pc} = \frac{0.69 + 0.72 + 0.72}{3} = 0.68$$

➤ **Semana 6:**

$$DP_{pc} = \frac{0.72 + 0.7 + 0.73}{3} = 0.71$$

➤ **Semana 7:**

$$DP_{pc} = \frac{0.78 + 0.8 + 0.8}{3} = 0.79$$

➤ **Semana 8:**

$$DP_{pc} = \frac{0.65 + 0.7 + 0.68}{3} = 0.67$$

➤ **Semana 9:**

$$DP_{pc} = \frac{0.78 + 0.75 + 0.75}{3} = 0.76$$

➤ **Semana 10:**

$$DP_{pc} = \frac{0.8 + 0.78 + 0.78}{3} = 0.79$$

➤ **Semana 11:**

$$DP_{pc} = \frac{0.9 + 0.85 + 0.88}{3} = 0.87$$

➤ **Semana 12:**

$$DP_{pc} = \frac{0.9 + 0.95 + 0.9}{3} = 0.91$$

ANEXO G
(Cálculos Análisis de Varianza para % de Humedad en pan francés precocido congelado)

MUESTRA	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	TOTAL
1	3.5	2	2	1.5	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	21.5
2	3.5	2.1	1.9	1.5	2	2.1	1.7	1.3	1.4	1.4	1.2	1.1	21.2
3	3.5	2.1	1.9	1.4	2	2.1	1.7	1.5	1.3	1.4	1.2	1.3	21.3
TOTAL	10.4	6.2	5.8	4.4	6.1	6.1	5.7	4.3	4.1	4.2	3.7	3.6	64
MEDIA	3.46	2.06	1.93	1.46	2.03	2.03	1.9	1.43	1.36	1.4	1.23	1.2	

◆ **Factor de corrección:**

$$FC = \frac{(64)^2}{3 * 12} = 113.778$$

◆ **Suma de cuadrados para semanas:**

$$SC_s = \left[\frac{(10.4)^2 + (6.2)^2 + (5.8)^2 + (4.4)^2 + (6.1)^2 + (6.1)^2 + (5.1)^2 + (4.3)^2 + (4.1)^2 + (4.2)^2 + (3.7)^2 + (3.6)^2}{3} \right] - 113.778$$

$$SCs = 12.762$$

◆ **Grados de libertad para semanas:**

$$gls = 12 - 1 = 11$$

◆ **Suma de cuadrados para muestras:**

$$SCm = \left[\frac{(21.5)^2 + (21.2)^2 + (21.3)^2}{12} \right] - 113.778$$

$$SCm = 0.003$$

◆ **Grados de libertad para muestras:**

$$glm = 3 - 1 = 2$$

◆ **Suma de cuadrados total:**

$$SCt = \left[\begin{array}{l} (3.5)^2 + (2)^2 + (2)^2 + (1.5)^2 + (2.1)^2 + (1.9)^2 + (1.7)^2 + (1.5)^2 \\ + (1.4)^2 + (1.4)^2 + (1.3)^2 + (1.2)^2 + (3.5)^2 + (2.1)^2 + (1.9)^2 + \\ (1.5)^2 + (2)^2 + (2.1)^2 + (1.7)^2 + (1.3)^2 + (1.4)^2 + (1.4)^2 + (1.2)^2 \\ + (1.1)^2 + (3.4)^2 + (2.1)^2 + (1.9)^2 + (1.4)^2 + (2)^2 + (2.1)^2 + (1.7)^2 \\ + (1.5)^2 + (1.3)^2 + (1.4)^2 + (1.2)^2 + (1.3)^2 \end{array} \right] - 113.778$$

$$SCt = 12.882$$

◆ **Grados de libertad total:**

$$glt = 36 - 1 = 35$$

◆ **Suma de cuadrados del error:**

$$SCe = 12.882 - 0.003 - 12.762 = 0.117$$

◆ **Grados de libertad del error:**

$$gle = 35 - 2 - 11 = 22$$

◆ Cuadrados medios:

$$CMs = \frac{12.762}{11} = 1.16$$

$$CMm = \frac{0.003}{2} = 0.0015$$

$$CMe = \frac{0.117}{22} = 5.31 * 10^{-3}$$

◆ Relación de variación por semanas:

$$Fs = \frac{1.16}{5.31 * 10^{-3}} = 218.455$$

◆ Relación de variación por muestra:

$$Fm = \frac{0.0015}{5.31 * 10^{-3}} = 0.282$$

ANEXO H
(Cálculos Análisis de Varianza para dureza en pan francés precocido congelado)

MUESTRA	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	TOTAL
1	0.69	0.72	0.72	0.75	0.7	0.72	0.78	0.65	0.78	0.8	0.9	0.9	9.11
2	0.72	0.75	0.75	0.6	0.65	0.7	0.8	0.7	0.75	0.78	0.85	0.95	9.0
3	0.72	0.75	0.75	0.75	0.7	0.73	0.8	0.68	0.75	0.8	0.88	0.9	9.21
TOTAL	2.13	2.22	2.22	2.1	2.05	2.15	2.38	2.03	2.28	2.38	2.63	2.75	27.32
MEDIA	0.71	0.74	0.74	0.7	0.68	0.71	0.79	0.67	0.76	0.79	0.87	0.91	

◆ Factor de corrección:

$$FC = \frac{(27.32)^2}{3 * 12} = 20.732$$

◆ **Suma de cuadrados para semanas:**

$$SC_s = \left[\frac{(2.13)^2 + (2.22)^2 + (2.22)^2 + (2.1)^2 + (2.05)^2 + (2.15)^2 + (2.38)^2 + (2.03)^2 + (2.28)^2 + (2.38)^2 + (2.63)^2 + (2.75)^2}{3} \right] - 20.732$$

$$SC_s = 42.024$$

◆ **Grados de libertad para semanas:**

$$gls = 12 - 1 = 11$$

◆ **Suma de cuadrados para muestras:**

$$SC_m = \left[\frac{(9.11)^2 + (9.0)^2 + (9.21)^2}{12} \right] - 20.732$$

$$SC_m = 0.002$$

◆ **Grados de libertad para muestras:**

$$glm = 3 - 1 = 2$$

◆ **Suma de cuadrados total:**

$$SC_t = \left[\begin{aligned} &(0.69)^2 + (0.72)^2 + (0.72)^2 + (0.75)^2 + (0.7)^2 + (0.72)^2 \\ &+ (0.78)^2 + (0.65)^2 + (0.78)^2 + (0.8)^2 + (0.9)^2 + (0.9)^2 + \\ &(0.72)^2 + (0.75)^2 + (0.75)^2 + (0.6)^2 + (0.65)^2 + (0.7)^2 \\ &+ (0.8)^2 + (0.7)^2 + (0.75)^2 + (0.78)^2 + (0.85)^2 + (0.95)^2 + \\ &(0.72)^2 + (0.75)^2 + (0.75)^2 + (0.75)^2 + (0.7)^2 + (0.73)^2 \\ &+ (0.8)^2 + (0.68)^2 + (0.75)^2 + (0.8)^2 + (0.88)^2 + (0.9)^2 \end{aligned} \right] - 20.732$$

$$SC_t = 0.211$$

◆ **Grados de libertad total:**

$$gl_t = 36 - 1 = 35$$

◆ **Suma de cuadrados del error:**

$$SC_e = 0.211 - 0.002 - 42.024 = -41.815$$

◆ **Grados de libertad del error:**

$$gl_e = 35 - 2 - 11 = 22$$

◆ **Cuadrados medios:**

$$CM_s = \frac{42.04}{11} = 3.821$$

$$CM_m = \frac{0.002}{2} = 0.001$$

$$CM_e = \frac{-41.85}{22} = -1.9$$

◆ **Relación de variación por semanas:**

$$F_s = \frac{3.821}{-1.9} = -2.011$$

◆ **Relación de variación por muestra:**

$$F_m = \frac{0.001}{-1.9} = -5.26 * 10^{-4}$$

ANEXO I
(Cálculos % Humedad promedio en el pan francés fresco)

Como se indicó en el capítulo 2 el cálculo del valor medio para el % de humedad (teniendo en cuenta los valores de la tabla anterior) para el pan de corteza fresco se calcula con las siguientes ecuaciones:

◆ **% Humedad promedio en el pan de corteza fresco:**

$$\%HP_{pf} = \frac{\sum \%H_{pf}}{No.datos} \text{ donde,}$$

$\%HP_{pf}$ = % Humedad promedio en el pan de corteza fresco.

$\sum \%H_{pf}$ = \sum %Humedad en el pan de corteza fresco.

➤ **Semana 1:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.7 + 1.8 + 1.9}{3} = 1.8$$

➤ **Semana 2:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.9 + 2.0 + 1.9}{3} = 1.93$$

➤ **Semana 3:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.8 + 1.7 + 1.7}{3} = 1.76$$

➤ **Semana 4:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.7 + 1.7 + 1.8}{3} = 1.73$$

➤ **Semana 5:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.7+1.7+1.7}{3} = 1.7$$

➤ **Semana 6:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.7+1.6+1.6}{3} = 1.63$$

➤ **Semana 7:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.8+1.7+1.7}{3} = 1.73$$

➤ **Semana 8:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.7+1.7+1.7}{3} = 1.7$$

➤ **Semana 9:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.6+1.7+1.6}{3} = 1.63$$

➤ **Semana 10:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.8+1.8+1.7}{3} = 1.76$$

➤ **Semana 11:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.7+1.8+1.8}{3} = 1.76$$

➤ **Semana 12:**

$$\%HP_{pf} = \frac{1.7+1.7+1.6}{3} = 1.66$$

ANEXO J (Cálculos Dureza promedio en el pan francés fresco)

Como se indicó en el capítulo 2 el cálculo del valor medio para la dureza (teniendo en cuenta los valores de la tabla anterior) para el pan de corteza precocido congelado se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$DP_{pf} = \frac{\sum D_{pf}}{No.datos} \quad \text{donde,}$$

DP_{pf} = Dureza promedio en el pan de corteza fresco.

$\sum D_{pf}$ = \sum Dureza en el pan de corteza fresco.

➤ **Semana 1:**

$$DP_{pf} = \frac{0.75 + 0.78 + 0.81}{3} = 0.78$$

➤ **Semana 2:**

$$DP_{pf} = \frac{0.88 + 0.9 + 0.85}{3} = 0.87$$

➤ **Semana 3:**

$$DP_{pf} = \frac{0.72 + 0.78 + 0.75}{3} = 0.75$$

➤ **Semana 4:**

$$DP_{pf} = \frac{0.75 + 0.7 + 0.75}{3} = 0.73$$

➤ **Semana 5:**

$$DP_{pf} = \frac{0.68 + 0.73 + 0.7}{3} = 0.7$$

➤ **Semana 6:**

$$DP_{pf} = \frac{0.75 + 0.75 + 0.75}{3} = 0.75$$

➤ **Semana 7:**

$$DP_{pf} = \frac{0.74 + 0.75 + 0.75}{3} = 0.74$$

➤ **Semana 8:**

$$DP_{pf} = \frac{0.8 + 0.78 + 0.78}{3} = 0.79$$

➤ **Semana 9:**

$$DP_{pf} = \frac{0.75 + 0.75 + 0.75}{3} = 0.75$$

➤ **Semana 10:**

$$DP_{pf} = \frac{0.78 + 0.75 + 0.8}{3} = 0.77$$

➤ **Semana 11:**

$$DP_{pf} = \frac{0.75 + 0.75 + 0.75}{3} = 0.75$$

➤ **Semana 12:**

$$DP_{pf} = \frac{0.78 + 0.78 + 0.78}{3} = 0.78$$

ANEXO K
(Cálculos Análisis de Varianza para % de Humedad en pan francés fresco)

MUESTRA	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	TOTAL
1	1.7	1.9	2	1.7	2.3	1.7	1.8	1.7	1.5	1.8	1.7	1.7	21.5
2	1.8	2	2.1	1.7	2.1	1.6	1.7	1.7	1.4	1.8	1.8	1.7	21.4
3	1.9	1.9	2	1.8	2.1	1.6	1.7	1.7	1.4	1.7	1.8	1.6	21.2
TOTAL	5.4	5.8	6.1	5.2	6.5	4.9	5.2	5.1	4.3	5.3	5.3	5	64.1
MEDIA	1.8	1.93	1.76	1.73	1.7	1.63	1.73	1.7	1.63	1.76	1.76	1.66	

◆ **Factor de corrección:**

$$FC = \frac{(64.1)^2}{3 * 12} = 114.133$$

◆ **Suma de cuadrados para semanas:**

$$SC_s = \left[\frac{(5.4)^2 + (5.8)^2 + (6.1)^2 + (5.2)^2 + (6.5)^2 + (4.9)^2 + (5.2)^2 + (5.1)^2 + (4.3)^2 + (5.3)^2 + (5.3)^2 + (5)^2}{3} \right] - 114.133$$

$SC_s = 231.897$

◆ **Grados de libertad para semanas:**

$$gls = 12 - 1 = 11$$

◆ **Suma de cuadrados para muestras:**

$$SC_m = \left[\frac{(21.5)^2 + (21.4)^2 + (21.2)^2}{3} \right] - 114.133$$

$$SC_m = 0.0045$$

◆ **Grados de libertad para muestras:**

$$glm = 3 - 1 = 2$$

◆ **Suma de cuadrados total:**

$$SCt = \left[\begin{array}{l} (1.7)^2 + (1.9)^2 + (2)^2 + (1.7)^2 + (2.3)^2 + (1.7)^2 + (1.8)^2 + (1.7)^2 \\ + (1.5)^2 + (1.8)^2 + (1.7)^2 + (1.7)^2 + (1.8)^2 + (2)^2 + (2.1)^2 + \\ (1.7)^2 + (2.1)^2 + (1.6)^2 + (1.7)^2 + (1.7)^2 + (1.4)^2 + (1.8)^2 + (1.8)^2 \\ + (1.7)^2 + (1.9)^2 + (1.9)^2 + (2)^2 + (1.8)^2 + (2.1)^2 + (1.6)^2 + (1.7)^2 \\ + (1.7)^2 + (1.4)^2 + (1.7)^2 + (1.8)^2 + (1.6)^2 \end{array} \right] - 114.133$$

◆ **Grados de libertad total:**

$$gl_t = 36 - 1 = 35$$

◆ **Suma de cuadrados del error:**

$$SCe = 1.317 - 0.0045 - 231.897 = -230.584$$

◆ **Grados de libertad del error:**

$$gle = 35 - 2 - 11 = 22$$

◆ **Cuadrados medios:**

$$CMs = \frac{231.897}{11} = 21.08$$

$$CMm = \frac{0.0045}{2} = 0.0022$$

$$CMe = \frac{0.117}{22} = -10.48$$

◆ **Relación de variación por semanas:**

$$Fs = \frac{21.08}{-10.48} = -2.011$$

◆ **Relación de variación por muestra:**

$$Fm = \frac{0.0022}{-10.48} = -2.099 * 10^{-4}$$

ANEXO L
(Cálculos Análisis de Varianza para dureza en pan francés fresco)

MUESTRA	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	TOTAL
1	0.75	0.88	0.72	0.75	0.68	0.75	0.74	0.8	0.75	0.78	0.75	0.78	9.13
2	0.78	0.9	0.78	0.7	0.73	0.75	0.75	0.8	0.75	0.75	0.75	0.78	9.22
3	0.81	0.85	0.75	0.75	0.7	0.75	0.75	0.78	0.75	0.8	0.75	0.78	9.22
TOTAL	2.34	2.63	2.25	2.2	2.11	2.25	2.24	2.38	2.25	2.33	2.25	2.34	27.57
MEDIA	0.78	0.87	0.75	0.73	0.7	0.75	0.74	0.79	0.75	0.77	0.75	0.78	

◆ **Factor de corrección:**

$$FC = \frac{(27.57)^2}{3 * 12} = 21.114$$

◆ **Suma de cuadrados para semanas:**

$$SSC_s = \frac{\left[\begin{aligned} &(2.34)^2 + (2.63)^2 + (2.25)^2 + (2.2)^2 + (2.11)^2 + (2.25)^2 + (2.24)^2 + \\ &(2.38)^2 + (2.25)^2 + (2.33)^2 + (2.25)^2 + (2.34)^2 \end{aligned} \right]}{3} - 21.114$$

◆ **Grados de libertad para semanas:**

$$gls = 12 - 1 = 11$$

◆ **Suma de cuadrados para muestras:**

$$SCm = \left[\frac{(9.13)^2 + (9.22)^2 + (9.22)^2}{12} \right] - 21.114$$

$$SCm = 0.0004$$

◆ **Grados de libertad para muestras:**

$$glm = 3 - 1 = 2$$

◆ **Suma de cuadrados total:**

$$SCt = \left[\begin{aligned} &(0.75)^2 + (0.88)^2 + (0.72)^2 + (0.75)^2 + (0.68)^2 + (0.75)^2 \\ &+ (0.74)^2 + (0.8)^2 + (0.75)^2 + (0.78)^2 + (0.75)^2 + (0.78)^2 + \\ &(0.78)^2 + (0.9)^2 + (0.78)^2 + (0.7)^2 + (0.73)^2 + (0.75)^2 \\ &+ (0.75)^2 + (0.8)^2 + (0.75)^2 + (0.75)^2 + (0.75)^2 + (0.78)^2 + \\ &(0.81)^2 + (0.85)^2 + (0.75)^2 + (0.75)^2 + (0.7)^2 + (0.75)^2 \\ &+ (0.75)^2 + (0.78)^2 + (0.75)^2 + (0.8)^2 + (0.75)^2 + (0.78)^2 \end{aligned} \right] - 21.114$$

$$SCt = 0.0691$$

◆ **Grados de libertad total:**

$$glt = 36 - 1 = 35$$

◆ **Suma de cuadrados del error:**

$$SCe = 0.0691 - 0.0004 - 42.407 = -42.338$$

◆ **Grados de libertad del error:**

$$gle = 35 - 2 - 11 = 22$$

◆ **Cuadrados medios:**

$$CMs = \frac{42.407}{11} = 3.855$$

$$CMm = \frac{0.0004}{2} = 0.0002$$

$$CMe = \frac{-42.338}{22} = -1.924$$

◆ **Relación de variación por semanas:**

$$Fs = \frac{3.855}{-1.924} = -2.006$$

◆ **Relación de variación por muestra:**

$$Fm = \frac{0.0002}{-1.924} = -1.039 * 10^{-4}$$

ANEXO M
(Tabla Valores críticos para F)

Nivel 1%

gl del denominador	gl del numerador									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	α
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	238.9	243.9	249.0	254.3
2	1.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.37	19.41	19.45	19.50
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.84	8.74	8.64	8.53
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.04	5.91	5.77	5.63
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.82	4.68	4.53	4.36
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.15	4.00	3.84	3.67
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.73	3.57	3.41	3.23
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.44	3.28	3.12	2.93
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.23	3.07	2.90	2.71
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.07	2.91	2.74	2.54
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	2.95	2.79	2.61	2.40
12	4.75	3.88	3.49	3.26.3	3.11	3.00	2.85	2.69	2.50	2.30
13	4.67	3.80	3.41	.18	3.02	2.92	2.77	2.60	2.42	2.21
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.70	2.53	2.35	2.13
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.64	2.48	2.29	2.07
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.59	2.42	2.24	2.01
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.55	2.38	2.19	1.96
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.51	2.34	2.15	1.92
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.48	2.31	2.11	1.88
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.45	2.28	2.08	1.84
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.42	2.25	2.05	1.81
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.40	2.23	2.03	1.78
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.38	2.20	2.00	1.76
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.36	2.18	1.98	1.73
25	4.24	3.38	2.99	2.76	2.60	2.49	2.34	2.16	1.96	1.71
26	4.22	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.32	2.15	1.95	1.69
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.30	2.13	1.93	1.67
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.44	2.29	2.12	1.91	1.65
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.54	2.43	2.28	2.10	1.90	1.64
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.27	2.09	1.89	1.62
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.18	2.00	1.79	1.51
60	4.00	3.15	2.76	2.52	2.37	2.25	2.10	1.92	1.70	1.39
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.02	1.83	1.61	1.25
α	3.84	2.99	2.60	2.37	2.21	2.10	1.94	1.75	1.52	1.00

Nivel 5%

gl del denominador	gl del numerador									
	1	2	3	4	5	6	8	12	24	α
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5982	61.06	3234	6366
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.37	99.42	99.46	99.50
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.49	27.05	26.50	26.12
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	14.80	14.80	14.37	13.93	13.46
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.29	10.29	9.89	9.47	9.02
6	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.10	7.72	7.31	6.88
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.84	6.47	6.07	5.65
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.03	5.67	5.28	4.86
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.47	5.11	4.73	4.31
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.06	4.71	4.33	3.91
11	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.74	4.40	4.02	3.60
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.50	4.16	3.78	3.36
13	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.30	3.96	3.59	3.16
14	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.14	3.80	3.43	3.00
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.00	3.67	3.29	2.87
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	3.89	3.55	3.18	2.75
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.78	3.45	3.08	2.65
18	8.28	6.06	5.09	4.58	4.25	4.01	3.71	3.37	3.00	2.57
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.63	3.30	2.92	2.49
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.56	3.23	2.86	2.42
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.51	3.17	2.80	2.36
22	7.94	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.45	3.12	2.75	2.31
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.41	3.07	2.70	2.26
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.36	3.03	2.66	2.21
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.86	3.63	3.32	2.99	2.62	2.17
26	7.72	5.535	4.46	4.14	3.82	3.59	3.29	2.95	2.58	2.13
27	7.68	49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.26	2.93	2.55	2.10
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.23	2.90	2.52	2.06
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.20	2.87	2.49	2.03
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.17	2.84	2.47	2.01
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	2.99	2.66	2.29	1.80
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	3.12	2.50	2.12	1.60
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.96	2.34	1.95	1.38
α	6.64	4.60	3.78	3.32	3.02	2.80	2.80	2.18	1.79	1.00

ANEXO N
(Tabla Número mínimo de juicios correctos para establecer diferencia significativa)

No. de ensayos	Niveles de probabilidad						
	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.005	0.001
5	4	5	5	5	5	5	
6	5	5	5	5	6	6	
7	5	6	6	6	6	7	7
8	6	6	6	6	7	7	8
9	6	7	7	7	7	8	8
10	7	7	7	7	8	8	9
11	7	7	8	8	8	9	10
12	8	8	8	8	9	9	10
13	8	8	9	9	9	10	11
14	9	9	9	9	10	10	11
15	9	9	10	10	10	11	12
16	9	10	10	10	11	11	12
17	10	10	10	11	11	12	13
18	10	11	11	11	12	12	13
19	11	11	11	12	12	13	14
20	11	11	12	12	13	13	14
21	12	12	12	13	13	14	15
22	12	12	13	13	14	14	15
23	12	13	13	13	14	15	16
24	13	13	13	14	15	15	16
25	13	14	14	14	15	16	17
26	14	14	14	15	15	16	17
27	14	14	15	15	16	17	18
28	15	15	15	16	16	17	18
29	15	15	16	16	17	17	19
30	15	16	16	16	17	18	19
31	16	16	16	17	18	18	20
32	16	16	17	17	18	19	20
33	17	17	17	18	18	19	21
34	17	17	18	18	19	20	21
35	17	18	18	19	19	20	22
36	18	18	18	19	20	20	22
37	18	18	19	19	20	21	22

ANEXO O
(Formato para panel triangular)

NOMBRE _____ **FECHA** _____ **PRODUCTO** _____

INSTRUCCIONES: Deguste las muestras de izquierda a derecha. **DOS MUESTRAS SON IGUALES Y LA OTRA ES DIFERENTE.** Indique el código de la muestra diferente.

CODIGO MUESTRA DIFERENTE:		LA DIFERENCIA ES:	
		INSIGNIFICANTE	
POR QUÉ?		LEVE	
		MODERADA	
		MUCHA	
		EXTREMA	