



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

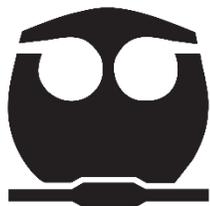
FACULTAD DE QUÍMICA

**USO DE ADITIVOS (MEJORANTES) EN EL PROCESO DE CONGELACIÓN
DE MASAS DE PAN DULCE CON LEVADURA SIN HORNEAR Y ALTO
CONTENIDO DE GRASA.**

TRABAJO ESCRITO VÍA CURSOS DE EDUCACIÓN CONTINUA

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

**PRESENTA
NORMA ELENA HERNÁNDEZ BARRAGÁN**



CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.

2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: M. en E. OLGA DEL CARMEN VELÁZQUEZ MADRAZO

VOCAL: Q.F.B. AGUSTÍN REYO HERRERA

SECRETARIO: M. en S. A. ALEIDA MINA CETINA

1er. SUPLENTE: M. en C. ARGELIA SÁNCHEZ CHINCHILLAS

2° SUPLENTE: Dra. CARMINA MONTIEL PACHECO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

ASESOR DEL TEMA:

M. en S. A. ALEIDA MINA CETINA

SUSTENTANTE:

NORMA ELENA HERNÁNDEZ BARRAGÁN

ÍNDICE	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. GENERALIDADES EN LA ELABORACIÓN DE PAN.....	5
4. FUNCIONALIDAD DE LOS INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE PAN	10
4.1 Harina de trigo.....	11
4.1.1 Composición de la harina de trigo: Almidón y gluten.....	12
4.2 Agua.....	21
4.3 Grasa (mantequilla)	25
4.4 Azúcar.....	29
4.5 Huevo.....	32
4.6 Levadura	33
4.6.1 Masa madre.....	36
4.7 Sal	42
5. FUNCIONALIDAD DE LOS COMPONENTES DE LOS MEJORANTES DE PAN.....	45
5.1 Gluten de trigo.....	48
5.2 Agentes oxidantes y reductores	49
5.3 Enzimas.....	51
5.4 Emulsificantes	56
5.5 Hidrocoloides.....	58
5.6 Nutrientes para la levadura	60
5.7 Reguladores de pH.....	62
5.8 Rellenos o agentes de carga	63
6. CONGELACIÓN.....	63
6.1 Fundamentos de congelación en alimentos	63
6.1.2 Aspectos físicos y termodinámicos.....	64
6.2 El proceso del enfriamiento artificial	69
6.3 Métodos de congelación.....	72
6.4 Congelación como método de conservación en panificación.....	79
6.5 Efectos en la calidad de la masa congelada	80
7. ASPECTOS SENSORIALES DEL PAN	86
7.1 Envejecimiento del pan.....	87
8. SELECCIÓN DEL MEJORANTE.....	93

9. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MASA.....	95
9.1 Recepción de materia prima	97
9.2 Amasado	98
9.3 Laminado para incorporación de grasa.....	101
9.4 Formación de la figura del pan	103
9.5 Almacenamiento en congelación.	105
9.6 Descongelación.....	106
9.7 Fermentación.....	108
9.8 Horneado.	110
9.9 Punto de venta	112
10. CONCLUSIONES	113
Glosario.....	115
Anexo 1	119
Anexo 2	122
Referencias	133

Índice de figuras

1. Gránulo de almidón
2. Estructura del gránulo de almidón
3. Estructura lineal de la molécula de amilosa con enlace O-glicosídico α (1-4)
4. Estructura ramificada de la molécula de amilopectina con enlace glicosídico α (1-4) y α (1-6)
5. Estructura del gluten
6. *Saccharomyces cerevisiae* vista al microscopio electrónico de barrido
7. Diferentes presentaciones de levadura: líquida, seca y fresca.
8. Componentes/metabolitos producidos por los microorganismos de las masas madre y su función.
9. Saco con gluten vital de trigo
10. Hidrólisis del almidón por diferentes enzimas
11. Diagrama de las fases del agua
12. (a) Estructura hexagonal de los cristales de hielo formado mediante puentes de hidrógeno entre moléculas de agua y (b) planos paralelos de las moléculas de hielo
13. Las cuatro etapas del ciclo de refrigeración por compresión
14. Curva de congelación típica de un alimento
15. Panel aislante tipo sándwich para cámaras de congelación
16. Interior de cámara de refrigeración previa a las cámaras de congelación.
17. Variación de la temperatura durante el proceso de enfriamiento de la masa
18. Piezas de masa cruda congelada, protegidas de las corrientes de aire en congelación
19. Micrografías de masa no congelada (izquierda) y congelada por 60 días (derecha). P: Red proteica. A: Gránulos de almidón.
20. *Croissant* horneado
21. Esquema de retrogradación del almidón en el pan.
22. Criterios para selección de mejorante para pan
23. Diagramas de flujo comparativos de las tendencias actuales en panificación que conllevan aplicación de frío industrial.
24. Diagrama de la elaboración de pan dulce tipo *croissant*
25. Masa recién sacada de la batidora
26. Masa porcionada, masa aplanada y masa extendida en charola
27. Primera fermentación de la masa durante amasado y etapa de reposo
28. Mantequilla aplanada
29. Laminadora industrial de masa
30. Proceso de incorporación de la mantequilla a la masa laminada
31. Detalle de la formación de capas en la masa laminada
32. Pieza de masa cruda con forma de *croissant*
33. Piezas de *croissant* almacenadas en congelación
34. *Croissant* fermentado y barnizado con huevo
35. Miga del *croissant* horneado

Índice de tablas

1. Comparativo de los tipos de masas dulces en panadería mexicana
2. Receta de *croissant* tradicional sin aditivos mejorantes.
3. Clasificación de las proteínas de la harina de trigo con base en su funcionalidad
4. Clasificación de las gluteninas con base en el contenido de azufre
5. Propiedades de las grasas y sus efectos en productos de panificación
6. Comparativo de azúcares en masa de pan dulce
7. Composición global del huevo (excluyendo cáscara)
8. Especies de levaduras detectadas en las masas madres
9. Especies de bacterias ácido-lácticas presentes en las masas madres
10. Propiedades de la masa de pan respecto a la cantidad de sal añadida
11. Funciones generales de los ingredientes del mejorante de pan
12. Función del ácido ascórbico como reductor y oxidante en la masa de pan
13. Función de enzimas en la masa de pan
14. Funciones de los principales emulsificantes
15. Descripción de las etapas en curva de congelación
16. Efecto de la temperatura sobre los microorganismos
17. Receta de *croissant* con mejorante al 2% base harina
18. Requerimientos de almacenamiento en materias primas para elaboración de pan dulce.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que el pan es un alimento básico e indispensable dentro del grupo de los cereales en una dieta sana y equilibrada. Por sus propiedades, es rico en fibra, proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales. (Contrapeso ciudadano, 2019). México es el segundo consumidor de pan dulce a nivel latino américa y el octavo a nivel mundial (Ayala, 2018).

De acuerdo con la encuesta de hábitos de consumo de pan dulce de harina de trigo realizada en México, se pueden conocer la frecuencia de consumo, las características y panes favoritos, además de los lugares preferidos para su compra.

Del total de encuestados: 96.7% consumen al menos una vez por semana pan dulce, 53.7% prefieren el pan dulce porque les gustan las características sensoriales como sabor, textura y olor, mientras que 14.2% lo consume por tradición y costumbre y 13.3% por antojo (PROFECO, 2017).

Los panes preferidos son concha, cuerno, corbata de moño, rebanada de mantequilla, bísquet, oreja, cuadro de chocolate y donas, abarcando 65.8% de la predilección. Mientras que los lugares preferidos para comprarlos incluyen: las panaderías tradicionales, las de cadena y las que se encuentran en autoservicios. Los motivos principales de compra son: la calidad, de acuerdo con 37.7% de encuestados, y según 10.9% porque el pan está recién hecho y fresco (PROFECO, 2017).

Al conocer las características más apreciadas por los consumidores es posible orientar la elaboración de los productos para que las cumplan. En épocas anteriores la panadería era una profesión en la que se podía dedicar el tiempo apropiado a mezclar, fermentar y hornear pan. Se tenía la posibilidad de hacer ajustes, según fuera necesario, en la harina, la actividad de la levadura, la temperatura, la humedad y cualquier otra condición ambiental que pudiera ocurrir.

Hoy en día, la operación de panificación está en gran parte mecanizada debido a la demanda de los productos y a los estándares de calidad que busca en ellos el consumidor, en este contexto, encontramos que, a partir de la década de los cincuenta, los productores de pan han incluido el uso de la masa congelada con el fin de diversificar y modernizar su tecnología (Silvas-García et al., 2013).

Una de las ventajas que se descubrió es que el proceso de fabricación de pan puede interrumpirse y la masa puede congelarse en varios puntos (DSM Food Specialities, 2018). Además, este proceso permite ofrecer al consumidor un producto recién elaborado en cualquier momento.

Sin embargo, se debe considerar que las masas congeladas son sistemas complejos más sensibles al cambio de los ingredientes y a las condiciones de proceso que las masas tradicionales. Son varios los factores que juegan un papel importante en la calidad de pan producido de masa congelada, la calidad de la materia prima, la formulación de la masa, la prefermentación, la velocidad de congelación y el tiempo de almacenamiento en congelación (Silvas-García et al., 2013).

Con el fin de mantener la calidad se han buscado formas de mejorar el proceso de panificación en masa congelada a través de modificar las formulaciones, cambiar los procesos y añadir aditivos que ayuden a disminuir el daño en la masa, principalmente usando polisacáridos como gomas hidrocoloides, emulsificantes y oxidantes, en cantidades pequeñas, mezclados con harina que sirve como agente de carga.

Los mejorantes ayudan a controlar todas las incertidumbres dentro del proceso de producción del pan, tales como variaciones en temperatura, humedad, harina y mano de obra, desde los primeros instantes del amasado hasta la cocción del pan (PURATOS, 2018).

La actuación del mejorante depende de la elección de la dosis de los ingredientes utilizados en la formulación. Su actividad global debe estar en relación con la calidad de la harina, el tipo de equipo, el proceso de panificación y la naturaleza del producto terminado.

Para este trabajo se tuvo acceso al proceso de elaboración dentro de una planta de producción de pan dulce congelado, donde se obtuvo parte de la información requerida. También se realizó investigación documental ya que, a partir de la información recopilada de fuentes bibliográficas y hemerográficas del uso y efectos de los mejorantes para pan en masas congeladas, se realizaron comparaciones con su uso en el proceso industrial.

2. OBJETIVOS

General

Identificar y explicar el impacto de los mejorantes en masas crudas para la elaboración de pan dulce, a través de un proceso de elaboración industrializado donde son sometidas a almacenamiento en congelación.

Particulares

- Ejemplificar el uso de mejorantes en masa en la elaboración de *croissant* utilizando la congelación de la masa para su almacenamiento.
- Describir la composición química de los mejorantes para pan.
- Identificar la etapa clave en la elaboración de la masa para el buen funcionamiento del mejorante.
- Analizar el impacto de la congelación como método de preservación y almacenamiento de masas crudas sin fermentar con alto contenido de grasa.

3. GENERALIDADES EN LA ELABORACIÓN DE PAN

El pan es un alimento importante en la dieta de la población mexicana y un producto básico que contribuye al desarrollo de la economía agroindustrial, ya que en torno a su producción intervienen otras actividades agrícolas y de transformación industrial (Calva-Rodríguez, 2008).

Nutricionalmente el pan tiene un 30% aproximadamente de agua y un alto contenido de carbohidratos complejos en forma de almidón, por lo que es considerado un alimento calórico, aunque su aporte en proteínas es también importante. El valor nutricional y calidad del pan están en función de la composición química y propiedades físicas de la harina (Calva-Rodríguez, 2008).

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria Panificadora (CANAINPA, 2020), el inicio de la industria panadera en México data del año 1524. Con el paso del tiempo e integrándose a la alimentación diaria del mexicano, el pan comenzó a comercializarse ampliamente en mercados locales y era regulado por el gobierno que exigía que el producto tuviera el peso debido, se vendiera al precio fijado por el cabildo, además de estar bien cocido y seco para que no se descompusiera.

A finales del siglo XVIII llegaron a México los primeros maestros europeos de panadería y repostería, principalmente de Francia e Italia, y durante el porfiriato, la influencia francesa se vio claramente reflejada tanto en la gastronomía, como en la

repostería y panadería, siendo una moda y estilo de vida de las clases altas (México Desconocido, 2017).

En la panificación moderna, los panes y pasteles se consideran mezclas compatibles de compuestos químicos y su elaboración se vuelve un proceso químico de producción científicamente controlado. La producción de pan industrial es un proceso altamente automatizado que involucra una variedad de equipos y procesos. Los métodos de producción de pan industrial varían dependiendo del tipo de pan que se está produciendo (Bamforth, 2017).

Los métodos principales para elaborar pan son:

El método directo: Todos los ingredientes son mezclados a la vez y mediante amasado se desarrolla la masa hasta su consistencia óptima. Esta masa se deja fermentar. Durante la fermentación la masa se golpea para desgasificar y se vuelve a dejar fermentar por más tiempo. Después de la fermentación, la masa se divide y moldea y se coloca en moldes (si es pan de molde) o sobre bandejas si es pan sin molde. La masa moldeada fermenta un poco más para luego ser horneada. El método directo es simple, pero consume mucho tiempo y limita la flexibilidad de las plantas procesadoras ya que su proceso fermentativo es largo, aproximadamente 3 horas (Borneo, 2011).

Masa esponja: La esponja es un prefermento pegajoso elaborado con harina, agua y levadura, que usualmente contiene el 60-70% del total de la harina de la formulación y se fermenta de tres a cuatro horas. Después de esta fermentación, los ingredientes se agregan y mezclan todo en una mezcladora horizontal o vertical.

Las funciones de la esponja son modificar el sabor, aroma y contribuir al desarrollo de la masa final (Payahuanca-Mamani & Matos-Chamorro, 2011).

Método Chorleywood: Tiene sus orígenes en los años 60 y se basa en hacer pan eliminando gran parte del tiempo convencional de fermentación con el empleo de intenso trabajo mecánico sobre la masa, es decir, realizando un amasado rápido e intensivo mezclando todos los ingredientes. Se caracteriza también por tener un aumento del porcentaje de levadura en la masa que facilita una fermentación rápida. Se aplica principalmente en procesos muy automatizados que recortan el tiempo de fabricación (Cauvain, 2015).

El alcance del equilibrio establecido entre las materias primas, procedimientos y el equipo determina no sólo la calidad del producto final sino también la consistencia para mantener esa calidad (Cauvain, 2015). Las etapas generales del proceso de elaboración son mezclado y/o amasado, división, formado, fermentación (en caso de que la masa sea leudada con levadura) y horneado (Zhou, 2014).

La legislación mexicana menciona que el pan dulce es el producto de panificación constituido por harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites hidrogenados, levaduras, adicionada o no de aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal y leche, amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles (Secretaría de Gobernación, 2009).

Desde el punto de vista gastronómico en la panadería mexicana existen cinco familias de masas básicas (Quiroz, 2019):

- Masas batidas crecidas
- Masas hojaldradas
- Masas fermentadas
- Masas hojaldradas fermentadas
- Masas quebradas crujientes

En la siguiente tabla se puede apreciar el comparativo entre cada una de acuerdo con el tipo y contenido de grasa, además del agente leudante utilizado.

Tabla 1. Comparativo de los tipos de masas dulces en panadería mexicana

Tipo de masa dulce	Tipo de grasa	Contenido promedio de grasa	Agente leudante	Ejemplo de panes
Batida crecida	Aceite/ manteca vegetal/ margarina/ mantequilla	32%	Polvo de hornear	Panqué, mantecada, beso.
Hojaldrada	Mantequilla o margarina	32%	Ninguno	Oreja, banderilla
Fermentada	Manteca vegetal/ margarina/ mantequilla	13%	Levadura	Concha, pan de muerto, rol de canela
Hojaldrada fermentada	Mantequilla o margarina	35%	Levadura	Croissant, rehilete.
Quebrada crujiente	Mantequilla/ margarina/ manteca vegetal	38%	Ninguno	Polvorón, bísquet

Fuente: Elaboración propia con información de Quiroz, 2019.

Cada pan puede ser categorizado dentro de alguna de estas familias, aunque también puede ser el resultado de una mezcla de dos o más masas (Quiroz, 2019).

Al momento de elaborar y trabajar masas para pan es muy importante respetar las técnicas y los métodos, así como el orden de los procedimientos para poder obtener el mejor resultado ya que cada una está elaborada de forma distinta. En el caso de las masas hojaldradas se componen de varias capas intercaladas de grasa y masa, que al hornearse se extienden para obtener panes con mucho volumen, muy crujientes, ligeros y frágiles (Quiroz, 2019).

En el proceso de laminado, el objetivo es construir una serie de capas discretas y alternantes de grasa para laminar y masa. Comúnmente, se utilizan menos capas en la fabricación de pastas danesas y los croissants en comparación con la masa de hojaldre. Generalmente, para las dos primeras se laminan para tener entre 20 y 50 capas de grasa, mientras que en el hojaldre hay entre 130 y 250 capas (Cauvain, 2001).

Con menos capas de grasa, los productos tienen un gran volumen, pero una estructura abierta y más escamosa pero frágil. Aumentar las capas de grasa más allá de 48 reduce la escamosidad y el volumen, y la estructura se vuelve más parecida a la de un pan. Los niveles de laminado reducidos son necesarios para compensar la adición de levadura y los efectos de la fermentación de la levadura. A nivel microscópico, pequeñas burbujas de gas se retienen en las capas de la masa con levadura y cuando se expanden, destruyen en gran medida la estructura en capas (Cauvain, 2015).

Estos ingredientes principales de los panes dulces son los que se revisarán en el siguiente capítulo, haciendo énfasis en los de masa hojaldrada fermentada que es la de mayor contenido de grasa y que contiene levadura.

4. FUNCIONALIDAD DE LOS INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE PAN

El *croissant* tradicional cuenta con los siguientes ingredientes, según la receta del panadero francés Eric Kayser, esta receta se utiliza para producir pan de consumo inmediato, sin aditivos y sin someter la masa a condiciones de almacenamiento a bajas temperaturas durante tiempo prolongado.

Tabla 2. Receta de *croissant* tradicional sin aditivos mejorantes.

Ingrediente	Porcentaje (%)
Harina de trigo de alta proteína	41.8
Mantequilla	23.0
Agua	18.4
Azúcar	5.9
Huevo	4.2
Masa madre	4.2
Levadura fresca	1.7
Sal	0.8

Fuente: Kayser, 2015.

Estos son también los ingredientes básicos para la gran mayoría de los panes dulces o de bollería, en estas masas se incluye un porcentaje de grasas y azúcares que es superior al utilizado en otro tipo de productos, así el nivel de grasas varía

entre 5 y 20% y el de azúcar entre 10% y 15%. Además de grasas y azúcares es habitual incluir productos lácteos, normalmente leche desnatada en polvo y huevo u ovoproductos en su formulación. Estos panes se caracterizan por poseer una miga suave, a la vez que resistente al corte y la deformación, y una corteza muy lisa y con un agradable color marrón (León, 2007).

4.1 Harina de trigo

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, se denomina harina de trigo, a la obtenida de la molienda del trigo del grano maduro, entero, quebrado, y seco del género *Triticum*, L; de las especies *T. vulgare*, *T. compactum* y *T. durum* o mezclas de éstas, limpio, en el que se elimina gran parte del salvado y germen y el resto se tritura hasta obtener un grano de finura adecuada (Secretaría de Gobernación, 2009).

Debido a su proceso de fabricación la harina puede sufrir pérdidas de nutrientes, por tanto, la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008 Productos y servicios. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. También especifica que la harina de trigo debe estar restituida con vitaminas del complejo B: Vitamina B₁, 5 mg/kg; B₂, 3 mg/kg; y B₃, 35 mg/kg; además de adicionar ácido fólico, 2 mg/kg; hierro 40 mg/kg, y zinc, 40 mg/kg.

La calidad de la harina de trigo depende de sus compuestos, que además dependen de la variedad de trigo, la temporada de cosecha (invierno o primavera), los efectos climáticos (temperatura, lluvia, luz, otros), las condiciones de almacenamiento-duración, el cultivo y el tratamiento post- cosecha, el régimen de siembra, los efectos biológicos y muchos otros (Erdal, 2020).

La calidad de la harina panadera está determinada por una serie de factores, incluyendo el contenido de proteína, el contenido de humedad, el tipo de gluten, el tamaño de partícula, el color y la pureza, y cómo estos factores influyen en las características del pan, incluyendo el volumen, la forma, el color, la estructura, la textura, la absorción y la tolerancia a las variaciones de proceso e ingredientes (García-Ochoa, 2021).

4.1.1 Composición de la harina de trigo: Almidón y gluten

La harina de trigo es el principal ingrediente para la elaboración del pan, sus componentes son: almidón (70 – 75 %), agua (14 %) y proteínas (10 - 12 %), además de polisacáridos diferentes al almidón (2 - 3%) particularmente arabinoxilanos; también contiene lípidos (2%) (De la Vega Ruiz, 2009).

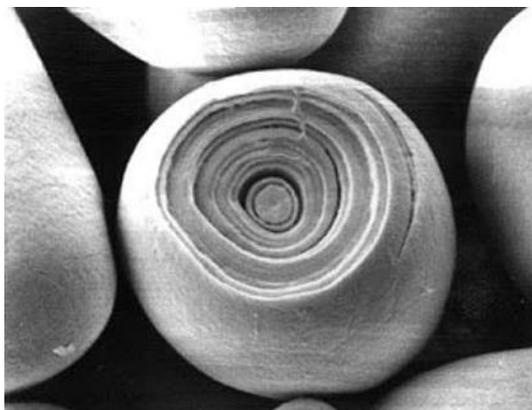


Figura 1. Gránulo de almidón
Fuente: Brauwelt, 2021.

El almidón sirve de reserva energética en el reino vegetal, y se encuentra en pequeños corpúsculos que reciben el nombre de gránulos, el tamaño y la forma de estos son característicos de cada especie botánica. Para el almidón de trigo, la estructura rígida de los gránulos está integrada por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina (distribuidas radialmente), las de amilosa son zonas cristalinas ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, mientras que las capas de amilopectina son amorfas, y que no tienen la posibilidad de asociarse entre sí o con la amilosa (Badui, 2013).

La fracción de amilosa constituye cerca del 25 % del almidón y es un polímero lineal de D-glucopiranosas unidas mediante enlaces O-glicosídicos α (1-4) (Miralbés, 2018).

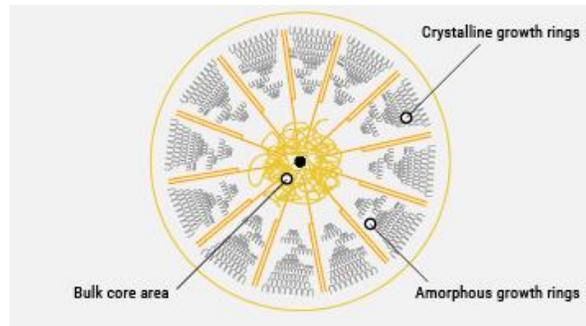


Figura 2. Estructura del gránulo de almidón.

Nota: Se aprecian las zonas cristalinas en crecimiento (*Crystalline growth rings*), zonas amorfas en crecimiento (*Amorphous growth rings*) y el núcleo (*bulk core area*).

Fuente: Pérez & Bertoft, 2010

Estas cadenas de amilosa pueden contener entre 2000 y 2500 unidades con un peso molecular en el rango de 100000 Daltons (Da). Este enlace glicosídico promueve la formación de una estructura secundaria en forma de hélice, donde la parte interior solo contiene átomos de hidrógeno, mientras que la parte exterior contiene grupos hidroxilo (R-OH) (Miralbés, 2018).

La fracción de amilopectina representa cerca del 75 % del almidón, es un polímero lineal de D-glucopiranosas unidas mediante enlaces O-glicosídicos α (1-4), pero además presenta ramificaciones o bifurcaciones cada 25-30 unidades mediante enlaces O-glicosídicos α (1-6). Estas ramificaciones pueden contener entre 2000 y 200000 unidades de glucosa con un peso molecular estimado de 2000000 Da. (Miralbés, 2018).

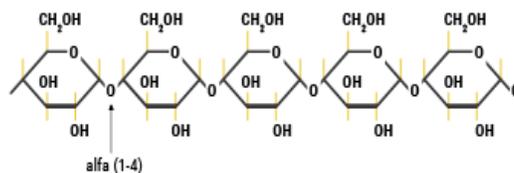


Figura 3. Estructura lineal de la molécula de amilosa con enlace O-glicosídico a (1-4) Fuente: Miralbés, 2018.

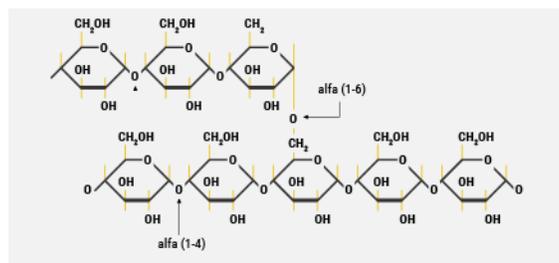


Figura 4. Estructura ramificada de la molécula de amilopectina con enlace glicosídico α (1-4) y α (1-6) Fuente: Miralbés, 2018.

La integridad de los gránulos de almidón en el endospermo del trigo puede ser afectada por las operaciones mecánicas como la molienda. Durante este proceso una fracción de los gránulos de almidón es dañada, produciendo así lo que se denomina almidón dañado (Baevre et al., 1999).

El contenido de almidón dañado que regularmente presentan las harinas de trigo ronda alrededor del 5-13%, dependiendo de las características del trigo y de las condiciones de molienda (Barrera, 2014), cuanto mayor sea la resistencia que ofrecen los granos a la molturación, mayor será el contenido de almidón dañado presente en la harina. Estos gránulos presentan alta absorción de agua, y son más susceptibles a la hidrólisis enzimática (Hoseney, 1994), absorben entre 200 y 430%

de su peso en agua a temperatura ambiente, mientras que los gránulos sanos absorben entre un 39 y 87%, lo que deriva en un incremento en la capacidad de absorción de agua de las harinas (Berton et al., 2002)

El almidón no es soluble en agua debido a su estructura altamente organizada (cristalina) no obstante, cuando calentamos una suspensión de almidón y agua, los gránulos de almidón de las zonas amorfas empiezan a absorber agua e hincharse y cambian significativamente la estructura del gránulo, que empieza a gelatinizar. A medida que la temperatura aumenta, se incrementa la vibración y la movilidad molecular de los polímeros de almidón, se produce la rotura de enlaces intermoleculares y aumenta aún más la capacidad de absorber agua, pues se liberan zonas no disponibles hasta el momento (Alasino, 2009).

La temperatura a la cual empiezan a hincharse los gránulos depende del tipo de cereal del que proceda el almidón, para el caso del trigo, es entre 56 °C y 60 °C.

La α -amilasa, enzima presente de forma natural en la harina de trigo, puede en este momento disponer de otro sustrato para hidrolizar, distinto del almidón dañado, en este caso el almidón gelatinizado, este está disponible en los primeros instantes de la cocción (Alasino, 2009).

Esta característica del almidón es importante ya que interviene de forma importante durante el horneado con el aumento de la temperatura a la que está sometida la masa, dicha gelatinización final se traduce en la fijación de la miga, lo que significa

que la expansión de la masa se paraliza, y se fija el volumen final al que también contribuyen las proteínas del gluten (Alasino, 2009).

El siguiente componente más importante de la harina en relación con su uso en panificación es la proteína (Alasino, 2009). El tipo de proteínas que contiene son solubles e insolubles (o con limitada solubilidad en agua), las solubles representan aproximadamente el 20% de las totales; esta fracción está formada por enzimas del tipo albúmina y globulina y ciertas glicoproteínas minoritarias. Y no contribuyen a las propiedades formadoras de masa de la harina de trigo (Parkin et al., 2017)

El resto de las proteínas insolubles, forman el gluten con alrededor de 80 % de proteínas de dos clases principales: gliadina (una prolamina) y glutenina (una glutelina) (Villanueva Flores, 2014). Las gliadinas y gluteninas son proteínas pertenecientes al grupo de las prolaminas, llamadas así porque contienen un gran número de restos de los aminoácidos prolina y glutamina. Se caracterizan por su solubilidad en mezclas de alcohol y agua (60-70 % de etanol o 50% de isopropanol) (Álvarez, 2021).

Son proteínas de almacenamiento presentes en el endospermo de algunos cereales, y de acuerdo con el cereal del cual se extraen reciben su nombre, en caso del trigo es gliadina. (Hernández-Espinoza et al., 2015) Las gliadinas y gluteninas se encuentran normalmente en una relación 50/50 en el trigo. Estas proteínas tienen propiedades fisicoquímicas diferentes debido a su distinta habilidad para formar polímeros. Mientras que las gliadinas son monoméricas (cadenas

polipeptídicas simples), y bioquímicamente se han identificado tres tipos (α , γ y ω), las gluteninas son poliméricas y están constituidas por dos tipos diferentes de subunidades: las de bajo y alto peso molecular, éstas subunidades se ensamblan en polímeros gigantes, estabilizados por puentes disulfuro que las mantienen físicamente unidas entre sí. (Álvarez, 2021).

Tabla 3. Clasificación de las proteínas de la harina de trigo con base en su funcionalidad

Clasificación de acuerdo con su funcionalidad	Ubicación en el grano	% en la proteína de la harina de trigo	Proteínas monoméricas	Proteínas poliméricas
Proteínas no pertenecientes a gluten	Principalmente en las capas externas del grano de trigo, y muy bajas concentraciones en el endospermo	15-20%	Albúminas Globulinas	Triticinas
Proteínas pertenecientes al gluten	En el endospermo del grano del trigo	80-85%	Gliadinas	Gluteninas

Fuente: De la Vega Ruiz, 2009.

Tabla 4. Clasificación de las gluteninas con base en el contenido de azufre

	Gliadinas	Subunidades de glutenina
Ricas en azufre	α γ	B C
Pobres en azufre	ω	D

Fuente: De la Vega Ruiz, 2009.

La formación de polímeros ocurre debido a que las proteínas que contienen cisteína con el grupo tiol disponible, representan aproximadamente sólo el 5% y son capaces

de formar agregados de alto peso molecular unidos por enlaces disulfuro intermoleculares (De la Vega Ruiz, 2009).

El grupo tiol puede catalizar reacciones de intercambio tiol–disulfuro durante el mezclado de la masa, ya que durante esta etapa las gluteninas y las gliadinas se desnaturalizan y establecen enlaces disulfuro, y mediante interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas permiten que estos polímeros se orientan longitudinalmente. Los esfuerzos mecánicos inducen un intercambio de grupos azufrados entre las múltiples cisteínas. El resultado de este proceso es la formación de una red elástica y cohesiva necesaria para el esponjamiento ocasionado por la generación del CO₂ de la fermentación (Badui Dergal et al., 2013).

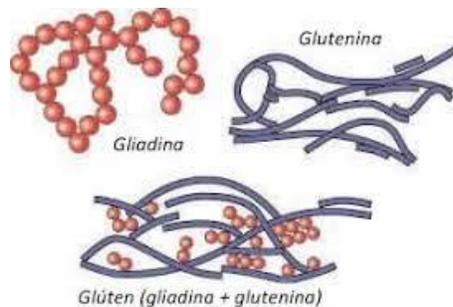


Figura 5. Estructura del gluten
Fuente: Ecured, 2017.

En la red de gluten, la elasticidad está determinada por los enlaces disulfuro intermoleculares entre las gluteninas, el número y cantidad de subunidades de glutenina de bajo peso molecular (tipo B y C) están significativamente relacionadas con la extensibilidad de la masa (De la Vega Ruiz, 2009).

A su vez, los enlaces disulfuro les confieren una gran estabilidad y permiten la asociación para formar polímeros de un peso molecular de varios millones y al

hidratarse producen una masa muy tenaz, elástica y cohesiva (Badui Dergal et al., 2013).

Mientras que la viscosidad está determinada por la fracción monomérica de gliadinas, teniendo solamente enlaces disulfuro intramoleculares, los cuales la estabilizan y al hidratarse forman una masa viscosa extensible, fluida pero poco elástica y son responsables de la expansión de la masa durante la cocción del pan (De la Vega Ruiz, 2009).

Cuando existe un exceso de gliadinas en relación con las gluteninas, el gluten se vuelve débil, permeable y no retiene el anhídrido carbónico; entonces la masa se colapsa en lugar de esponjarse (Badui Dergal et al., 2013).

La elaboración de pan requiere de una fuerza específica de gluten, que balanceada en la proporción de las diferentes proteínas permiten la cohesividad apropiada, pues un exceso de gluten inhibe la expansión de la masa y reduce el volumen final de la hogaza (Badui Dergal et al., 2013).

Para obtener propiedades satisfactorias en el proceso de producción de pan, es esencial un apropiado desarrollo del gluten. El desarrollo del gluten es un proceso complejo que depende de una variedad de factores, incluyendo el tipo de harina, la temperatura de la masa, la velocidad de amasado, la absorción de agua, los oxidantes y las enzimas (Pérez-Guisado y Martín, 2010).

4.2 Agua.

Las propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento dependen de su contenido de agua, aun cuando éste también influye definitivamente en las reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas (Badui, 2013). El segundo componente presente en mayor cantidad en la masa de pan es el agua, además de la humedad natural de la harina (Tadini & Ribotta, 2009). La cantidad de agua usada en la formulación varía dependiendo del tipo de pan, harina y proceso. Para el caso del croissant es de 18.4% (Kayser, 2015).

El agua actúa también como vehículo al disolver otros ingredientes, ayudando a distribuirlos mejor en la mezcla, controlando, además la temperatura y consistencia de la masa, permite la hidratación de las proteínas para la formación del gluten, al mismo tiempo hidrata los gránulos de almidón para que estos empiecen a gelatinizar, sirve como medio activador de la enzima y provee parte de los requerimientos alimenticios de la levadura (Márquez Mejía, 2001).

Es muy importante controlar la calidad del agua, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA-2015, el agua debe cumplir con las especificaciones sanitarias requeridas (Anexo I), las cuales indican que debe estar libre de contaminantes o en su caso el límite permitido para las características organolépticas y físicas, microbiológicas, presencia de metales, metaloides y compuestos inorgánicos.

Entre los factores que se deben controlar en la calidad del agua están las características de dureza del agua, ya que estas afectan a la masa y su fermentación (Márquez Mejía, 2001).

El agua dura es aquella que contiene un alto nivel de minerales, en particular sales de calcio y magnesio (Miñara, 2002). Se expresa normalmente como la cantidad de carbonato de calcio, y se calcula genéricamente a partir de la suma de las concentraciones de carbonato de calcio y carbonato de magnesio, en mg/L, existentes en cada litro de agua. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el grado de dureza del agua se clasifica con base en el CaCO_3 , en 4 intervalos de 0-60 mg/L, y se define como “blanda”; entre 61-120 mg/L como “moderadamente dura”; de 121-180 mg/L se clasifica como “dura” y >180 mg/L como “muy dura” (OMS, 2004).

Las recomendaciones generales para el agua de la masa son que debe tener una dureza mediana, tal como para proveer una cierta cantidad de sales minerales que puedan impartir acción endurecedora al gluten, ya que, en presencia de CaCO_3 los grupos carboxilo de las proteínas de la harina pueden reaccionar para formar compuestos insolubles. Esto puede dificultar la formación de enlaces entre las proteínas de la harina, lo que puede dar lugar a un pan menos elástico y esponjoso (Hamelman, 2018).

Además, que el CaCO_3 puede funcionar como alimento para la levadura, debido a su aporte de calcio. El cual es uno de sus nutrientes esenciales, ya que ayuda a

crecer y a formar células nuevas. También interviene en la metabolización de los carbohidratos y en la producción de dióxido de carbono (de Vries, 2005).

Durante el amasado, se utiliza agua a temperatura ambiente (25°C) o menor. Por lo tanto, primeramente, se hidratan las proteínas, y cuando el agua toma contacto con el almidón, el gránulo entero no se hidrata de manera inmediata, solo se va a hidratar cuando aumente la temperatura, es decir durante el horneado favoreciendo el fenómeno de gelatinización de los gránulos de almidón (Serrano-Fuster, 2016).

En esta etapa, es mayor la interacción del almidón con el agua. Una vez formada la estructura de la pieza de pan, y que la temperatura comienza a disminuir, la amilosa empieza a retrogradar, logrando la estructura final. Durante este proceso, el agua es expulsada, y posteriormente tomada nuevamente por la fracción proteica del pan. Esto ocurre de manera inmediata luego del horneado del pan (Serrano-Fuster, 2016).

En los alimentos existen diferentes estados energéticos en los que se encuentra el agua; es decir, no toda el agua de un producto tiene las mismas propiedades fisicoquímicas, y esto se puede comprobar por las diversas temperaturas de congelamiento que se observan; en general, un alimento se congela a -20°C, pero aun en estas condiciones una fracción del agua permanece líquida y requiere de temperaturas más bajas, por ejemplo -40°C, para que solidifique completamente (Badui, 2013).

Ahora bien, ya que la masa de pan dulce va a ser sometida a congelación, el efecto principal que esto ocasiona sobre los alimentos es el daño en las células por el crecimiento de los cristales de hielo (Mundo Hvacr, 2008).

Aunque no toda el agua presente en el alimento puede separarse en forma de cristales como consecuencia de la congelación, ya que su contenido de agua se refiere, en general, a toda el agua de manera global. Sin embargo, el agua no está uniformemente distribuida por muchas razones, por ejemplo, debido a los complejos hidratados que se producen con proteínas y/o a los hidratos de carbono como el almidón. Este tipo de consideraciones ha llevado a que se empleen términos como agua ligada y agua libre, para hacer referencia a la forma y al estado energético que dicho líquido guarda en un alimento (Badui, 2013).

Se considera que el agua ligada es aquella porción que no congela a -20°C , por lo que también se le llama agua no congelable (Badui, 2013). El agua ligada puede estar presente en dos formas: Agua unida: Cuando está fuertemente unida a las moléculas de los alimentos por medio de puentes de hidrógeno. Agua atrapada: Cuando está físicamente atrapada en una matriz muy viscosa que no permite su movilidad y difusión (Al-Ani, 2007).

El agua libre, también llamada agua congelable y agua capilar, es la que se volatiliza fácilmente, se pierde en el calentamiento, se congela primero y es la principal responsable de la actividad del agua (Badui, 2013).

La actividad del agua (a_w) es una medida de la disponibilidad del agua para las reacciones químicas y biológicas. Un valor de a_w bajo indica que el agua está menos disponible, mientras que un valor de a_w alto indica que el agua está más disponible (Camire, 2023).

La masa congelada de pan dulce generalmente tiene una a_w entre 0.45 y 0.65. Esto se debe, en parte, a que el proceso de congelación elimina parte del agua libre de la masa, lo que reduce la a_w . Mismo que puede variar según los ingredientes y el proceso de producción. Por ejemplo, una masa que contiene más azúcar o grasa tendrá una a_w más baja que una masa que contiene menos azúcar o grasa (Heldman, 2007).

El rango de 0.45 a 0.65 es suficiente para prevenir el crecimiento de microorganismos y garantizar su manejo, ya que un valor de a_w demasiado bajo puede hacer que la masa sea difícil de trabajar después de descongelarla. Por lo tanto, es importante encontrar un equilibrio entre un valor de a_w lo suficientemente bajo para la conservación y lo suficientemente alto para la manejabilidad (Heldman, 2007).

4.3 Grasa (mantequilla)

La adición de grasa al pan supone la mejora de la calidad en el aspecto organoléptico (miga más fina y blanda), además de en su durabilidad. Al añadir las grasas se forma una sutil capa entre las partículas de almidón y la red glutinosa,

transformando la superficie hidrófila de las proteínas en una superficie más lipófila, por consiguiente, se ligan más las diferentes mallas del gluten y aumenta la capacidad de estiramiento (Dávila-Pérez et al., 2012).

La inclusión de grasas genera productos con un alveolado muy fino y homogéneo, e incrementa el volumen de las piezas y retrasa su endurecimiento, aunque este efecto dependerá del porcentaje de sólidos totales presentes en la formulación (León, 2007).

Las grasas confieren a la miga una estructura fina y homogénea, ya que el gluten, al poder estirarse sin romperse, retiene las burbujas de gas evitando que se unan formando burbujas más gruesas (Dávila-Pérez et al., 2012).

Por lo tanto, las grasas en los productos de panificación ayudan a aumentar la extensibilidad de la masa, el volumen del pan, dan más sabor y flexibilidad al pan durante más tiempo con lo que se conserva mejor, además de producir cortezas más finas e incrementar el valor nutritivo (Calva-Rodríguez, 2008).

Para la elaboración de pan dulce se pueden utilizar distintos tipos de grasa dependiendo del resultado que se quiera obtener, las más comunes son mantecas vegetales hidrogenadas, margarina, mantequilla y aceites; también es importante mencionar que un factor a considerar para la elección de la grasa es su costo, que impactará en el precio final del pan; en el caso del *croissant*, se utiliza únicamente mantequilla, es por eso por lo que solo se mencionará este tipo de grasa.

De acuerdo con la NOM-243-SSA1-2010, se denomina mantequilla al producto obtenido a partir de la grasa de la leche o grasa de la crema, la cual ha sido pasteurizada, sometida a maduración, fermentación o acidificación, batido o amasado, pudiendo ser o no adicionada de sal. El contenido de grasa butírica debe ser mínimo de 80%.

Químicamente es una emulsión de agua en aceite (16:84) que se obtiene por la inversión de fases de la crema de leche (emulsión de aceite en agua) y estabilizada por las proteínas lácteas. Una característica típica de la mantequilla es su dureza y poca untabilidad a temperaturas de refrigeración. Y de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la mantequilla debe tener una composición de 80% grasa, 18% de agua y 2% de sólidos lácteos (Badui Dergal et al., 2013).

Cuanto más firme sea la grasa de laminación, más resistente será la pasta a la deformación después del laminado. Si el contenido de sólidos y la firmeza de la grasa de laminación son demasiado altos, la expansión de la pasta se restringe durante el reposo y el volumen específico final es bajo. Cauvain (2001) informó que una mantequilla fraccionada era suave, grasosa y difícil de mecanizar a 20 °C, las capas de grasa en la pasta se destruyeron parcialmente durante el laminado y el volumen específico de croissant era bajo. Cuando se usa a 10 °C, la grasa de mantequilla dio una pasta más firme, la estratificación permaneció intacta y el volumen específico de la pasta se mantuvo alto. Tales hallazgos sugieren que para

los productos laminados fermentados es más importante que la grasa sea razonablemente firme y plástica durante el laminado, pero relativamente suave durante el reposo para ayudar a la expansión de la pasta. (Cauvain, 2015).

El contenido de mantequilla en la masa de croissant es de 23.3% y, se incorpora en dos etapas la primera durante el amasado, añadiendo 2.2% de mantequilla, y la segunda durante el laminado, siendo en esta la mayor cantidad de mantequilla con 21.2 % del total de la masa.

Tabla 5. Propiedades de las grasas y sus efectos en productos de panificación

Propiedad	Efecto en productos de panificación
Lubricación	Ayudan a obtener un pan flexible durante más tiempo y con cortezas de características más suaves
Extensibilidad	Ayuda a convertir una masa de pan tenaz, en algo más extensible.
Volumétrica	Favorece el aumento del volumen debido a que la red de gluten puede retener más gas de la fermentación.
Emulsificante	La grasa se dispersa en el amasado en pequeñas cavidades. Cuanto más finas son estas cavidades, se producen panes más finos, además favorecen un alveolo más uniforme y fino como sucede en el pan de molde.

Fuente: León, 2007.

Así mismo, la adición de azúcares, y especialmente de grasas, reduce la capacidad de formar redes de gluten fuerte por lo que es necesario usar harinas de gran fuerza en la elaboración de este tipo de masas. A mayor nivel de grasas en la fórmula, mayores serán las necesidades proteicas de la harina utilizada (León, 2007).

4.4 Azúcar

El azúcar es uno de los ingredientes en muchos productos de panificación, pero también puede estar presente de manera natural en alguno de los ingredientes utilizados. La denominación de azúcar engloba muchos compuestos químicos, estos están presentes en numerosos ingredientes, pero también pueden ser adicionados a las masas en formas más o menos puras, Comercialmente se pueden adquirir sacarosa, glucosa o fructosa, tanto en forma cristalizada como en forma de jarabe (Innograin, 2021).

La sacarosa se suele obtener a partir de remolacha azucarera en Europa, y a partir de caña de azúcar en México y otros países. Por su parte la glucosa y fructosa suelen obtenerse a partir de almidón de maíz, tras hidrólisis enzimática (Innograin, 2021).

En las masas que no incorporan azúcares añadidos el principal azúcar fermentable es la maltosa, formada por dos moléculas de glucosa, que se genera tras la hidrólisis del almidón dañado. Para potenciar la presencia de maltosa puede ser conveniente incorporar amilasas (Innograin, 2021).

Para la elaboración de la gran mayoría de panes dulces, se utiliza sacarosa, para el *croissant* se utiliza como azúcar refinada. Y la Norma Mexicana NMX-F-303-SCFI-2011, la define como el producto sólido derivado de la caña de azúcar, constituido esencialmente por cristales sueltos de sacarosa, en una concentración mínima de 99,90% de polarización (Secretaría de Economía, 2011).

La principal función de los azúcares en la alimentación es edulcorar, es decir, proporcionar un sabor dulce, en el producto final. El poder edulcorante es uno de los parámetros utilizados para elegir posibles sustitutos del azúcar (Tejero, 2015).

Otra de sus funciones es estabilizar y controlar la fermentación, ya que con la adición de pequeña cantidad de azúcares la fermentación se desarrolla más rápidamente, pero a medida que se va aumentando la dosificación la fermentación puede incluso paralizarse, debido al aumento progresivo de la presión osmótica. De tal forma que cuando se aumente la cantidad de azúcar, se debe incrementar la cantidad de levadura (Tejero, 2015).

La tercera función de los azúcares tiene que ver con las características sensoriales del pan dulce, como aroma y sabor. El desarrollo con ciertos compuestos, generalmente considerados como ácidos volátiles y aldehídos, son los responsables del sabor y el aroma (Tejero, 2015).

Además de aportar color en la corteza de los panes, debido a las reacciones de Maillard, los azúcares se caramelizan a temperaturas superiores a 100°C, pero esta temperatura varía en función del tipo de azúcar. De este modo, la fructosa carameliza a temperaturas cercanas a los 110 ° C, mientras que la sacarosa y la glucosa lo hacen a temperaturas cercanas a los 160°C. Por tanto, esta reacción solo se produce en la parte externa de las piezas, ya que el interior de panes y bizcochos no supera los 100°C en todo el proceso (Innograin, 2021).

Las reacciones de Maillard se producen entre aminoácidos y azúcares reductores, e influyen tanto en el color de la corteza como en el aroma de los panes. La temperatura a la que se producen las reacciones de Maillard depende del pH y otros factores, pero en panificación se producen a temperaturas superiores a 100°C, por lo que tampoco se producirán en la parte interna de las piezas (Innograin, 2021).

El color de los productos variará ligeramente en función de los azúcares y de los aminoácidos presentes (Innograin, 2021).

Tabla 6. Comparativo de azúcares en masa de pan dulce

Tipo de azúcar	Origen	Característica	Función
Maltosa	Almidón de la harina	Bajo poder edulcorante Principal azúcar de origen natural, que no es añadido.	Principal alimento de la levadura si no hay otro azúcar presente.
Sacarosa	Externo, se añade a la masa	Principal azúcar utilizado en masas de pan dulce. La levadura lo separa en glucosa y fructosa.	Edulcorar Alimento de levadura Aportar color al pan horneado.
Azúcar invertido (glucosa y fructosa)	Externo, se añade a la masa	Se separa en glucosa y fructosa. Azúcar higroscópico.	Edulcorar, alimento de levadura, aportar color al pan horneado, mantener la humedad en la miga del pan.
Lactosa	Externo, se añade a la masa	No fermentable. Bajo poder edulcorante. Solo se usa en algunos tipos de panes.	Aporta color, sabor y aroma al pan horneado.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Tejero, 2015.

Los azúcares también modifican la reología de las masas, dependiendo del azúcar añadido y de la forma en que se añade (sólida o líquida). En aquellas masas en las

que sea necesario el desarrollo de la red de gluten suele ser necesario reforzar esta, ya que los azúcares pueden debilitarla. En estos casos se puede utilizar harinas más fuertes o aditivos reforzantes (Innografin, 2021).

4.5 Huevo

El huevo de gallina es un ingrediente alimentario multifuncional que se utiliza en la preparación de muchos alimentos (aderezos para ensaladas, merengues, pasteles, etc.). Su papel multifuncional se origina en las diferentes propiedades de la clara y la yema, que están compuestas por constituyentes proteicos que difieren en tamaño molecular y flexibilidad estructural (Zhou, 2014).

Los componentes del huevo en los productos alimenticios pueden funcionar como agentes espumantes, emulsionantes y/o gelificantes, contribuyendo así al desarrollo de sus características sensoriales y reológicas únicas (Zhou, 2014).

Está constituido por 10.5% de cáscara en tanto la parte comestible está formada por 58.5% de albumen o clara y 31.0% de yema, cuyos componentes son proteínas y lípidos que les confieren alto valor nutritivo (Badui Dergal et al., 2013).

Con el fin de facilitar el proceso de elaboración de pan dulce, el huevo puede adquirirse en forma líquida y congelada, ahorrando el tiempo de romper pieza por pieza. Esta presentación de huevo líquido congelado debe estar pasteurizado por el fabricante debido a la naturaleza del huevo de poder contener microorganismos patógenos en el cascarón (Maison Kayser México, 2019); esta contribución a la

inocuidad es la principal ventaja de sustituir el huevo fresco por huevo congelado. Previamente a su uso, el huevo se descongela y mantiene en refrigeración un día antes, así mismo, esta acción ayuda a mantener la temperatura baja de la masa donde se vaya a incorporar (Maison Kayser México, 2019).

Tabla 7. Composición global del huevo (excluyendo cáscara)

Componentes	Huevo entero (%)	Yema (%)	Clara (%)
Agua	74.0	50.0	87.8
Proteínas	12.9	16.0	10.9
Hidratos de carbono	0.4	0.6	0.2
Lípidos	11.5	30.6	02
Cenizas	0.7	20	0..3

Fuente: Badui Dergal et al., 2013.

4.6 Levadura

La levadura es el nombre genérico dado al grupo de hongos *Ascomycetes* pertenecientes al orden *Endomycetales*. Las levaduras son hongos unicelulares que miden de 5 a 10 micras, se consideran como organismos facultativos anaerobios, lo cual significa que pueden sobrevivir y crecer con o sin oxígeno. (Quaglia, 1991) Se reproducen mediante gemación, se distinguen de los mohos por su forma dominante que es unicelular, son importantes por su capacidad para realizar la fermentación de hidratos de carbono, produciendo distintas sustancias (Cerón-Muñoz, 2007).

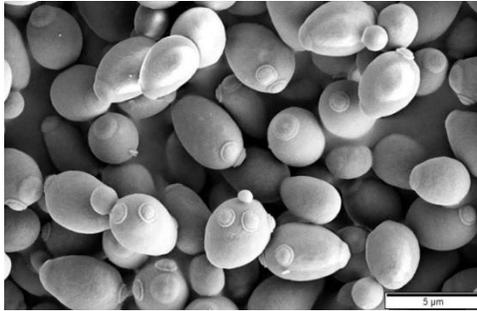


Figura 6. *Saccharomyces cerevisiae* vista al microscopio electrónico de barrido
Fuente: Das Murtey & Ramasamy, 2016.

Las levaduras prosperan en hábitats donde hay azúcares disponibles. Las de mayor relevancia comercial son las levaduras panaderas y cerveceras, que son especies del género *Saccharomyces* (Madigan, 2015).



Figura 7. Diferentes presentaciones de levadura: Líquida, seca y fresca.
Fuente: Torres, 2020.

La harina de trigo dispone de 2 a 3 % de azúcares simples (glucosa) que son directamente asimilables por la levadura. Una vez consumidos, la fermentación se debería paralizar, pero se dispone de azúcares en la molécula de almidón, la acción combinada de la α -amilasa y las β -amilasa presentes en la harina de trigo pueden

hidrolizar el almidón dañado y el almidón gelatinizado. Esta hidrólisis implica la liberación de fragmentos de cadenas de glucosa de menor tamaño (oligosacáridos) que, mediante la acción de las β -amilasas, se hidroliza en moléculas de maltosa (dos unidades de glucosa) que pueden ser asimiladas por la levadura para producir dióxido de carbono y etanol (Miralbés, 2018). Por tanto, cuanto mayor sea la cantidad de almidón dañado, mayor será la cantidad de azúcares disponibles para la levadura y la fermentación será mantenida en el tiempo (Miralbés, 2018).

Las masas congeladas suelen ser almacenadas durante largos periodos de tiempo a temperaturas inferiores a 0° C. Generalmente, las bajas temperaturas afectan la levadura en la masa, disminuyendo la viabilidad de dicha levadura, lo que finalmente repercute en una disminución significativa en la calidad del pan. De hecho, las temperaturas por debajo de 0°C provocan la expansión de agua y la formación de cristales dentro de las células de levadura lo que puede romper las paredes celulares, reduciendo así el rendimiento de la fermentación (Lallemand Inc., 2015).

La crioresistencia de la levadura, es decir, la capacidad de la levadura de mantener su capacidad de producción de gas cuando se congela depende de su contenido de trehalosa que es un carbohidrato producido y presente en las células de levadura, sirve como reserva de energía y la protege contra el estrés (Lallemand Inc., 2015).

Al producir levadura se debe de hacer un intercambio entre los niveles de trehalosa y proteína. El aumento del contenido de trehalosa de la levadura mejorará su crioresistencia, pero reducirá el contenido de proteínas, mientras que el aumento

del contenido de proteínas de la levadura proporcionará un mejor poder de gasificación, pero menos trehalosa (Lallemand Inc., 2015).

Levadura con alto contenido de trehalosa tiene las siguientes características:

- Es más estable
- Tiene mayor vida de anaquel
- Permanece inactiva por más tiempo
- Se activa más lentamente

La frescura y el manejo de la levadura son importantes para las masas congeladas, ya que la levadura consume trehalosa y pierde crioresistencia cuando es expuesta a altas temperaturas o a niveles altos de oxígeno. El manejo adecuado de la masa, por ejemplo, mantener la masa fría, mantener mínimo el tiempo entre el mezclado y la congelación, son precauciones que ayudan a conservar la trehalosa y, por lo tanto, optimiza la crioresistencia de la levadura (Lallemand Inc., 2015).

4.6.1 Masa madre

La masa madre es un ingrediente que siempre ha estado presente en la panadería, antiguamente se utilizaba para leudar la masa cuando no existían las levaduras comerciales, actualmente se sigue utilizando en la elaboración de panadería artesanal y se ha popularizado en los últimos años debido a las propiedades sensoriales que aporta al pan (Consejo Argentino Sobre Seguridad de Alimentos y Nutrición, 2020).

Se define como una mezcla de harina de trigo o de otro cereal, o mezclas de ellas, y agua, con o sin adición de sal, sometida a una fermentación espontánea acidificante, para asegurar la fermentación de la masa de pan (Gómez-Ibáñez, 2021). La principal diferencia entre la masa madre y el prefermento es la presencia de bacterias ácido lácticas (BAL). La masa madre contiene una microbiota que realiza una fermentación acidificante y alcohólica constituida esencialmente por estas bacterias y levaduras silvestres o nativas (Gómez-Ibáñez, 2021).

Las BAL son responsables del sabor, aroma y textura característicos del pan de masa madre. Los prefermentos no contienen BAL, ya que están elaborados únicamente con harina, agua y levadura, por tanto, el pan producido con ellos tiene un sabor y aroma más suaves (Teixeira, de Almeida y Almeida, 2022).

Dentro de la masa madre, las bacterias ácido lácticas fermentan los hidratos de carbono de la harina, produciendo ácidos láctico y acético, creando un microambiente ácido (Almeida, de Souza y Almeida, 2011).

El pH de la masa madre puede abarcar un rango generalmente de 4 a 4.5, esto se logra debido a que las BAL son ácido tolerantes pudiendo crecer algunas a valores de pH tan bajos como 3.2 (Ramírez-Ramírez et al., 2021), otras a valores tan altos como 9.6, por ejemplo, *Lactobacillus plantarum* fue capaz de crecer y sobrevivir a este pH, aunque a una tasa más lenta que a pH más bajos (Oliveira, Santos y Almeida, 2015).

Así mismo, las levaduras propias de las masas madre han evolucionado de tal forma que se han adaptado al medio. Esto quiere decir que se han ido ajustando a las condiciones estresantes del entorno como son el pH bajo, la alta concentración de hidratos de carbono y el gran número de BAL que crecen en las mismas (Huys, Daniel y De Vuyst, 2013). Por tanto, la mayoría de las levaduras toleran un rango de pH entre 3 y 10, pero les resulta favorable un medio ligeramente ácido con un pH entre 4,5 a 6,5 (Suárez-Machin et al., 2016).



Figura 8. Componentes/metabolitos producidos por los microorganismos de las masas madre y su función. Fuente: Lesaffre, 2017.

Las levaduras son anaerobias facultativas, puesto que son capaces de realizar tanto la fermentación como la respiración dependiendo del potencial redox del medio. En el momento en el que el oxígeno no está disponible, las levaduras efectúan la fermentación, por el contrario, si hay O_2 en el medio y la concentración de azúcares es inferior al 5%, llevan a cabo la respiración (Gómez-Ibáñez, 2021).

Las especies de levaduras que se encuentran presentes habitualmente en las masas madre y que suelen participar en la fermentación de estas, se recopilan en la tabla 8.

Las BAL se pueden clasificar en función a su metabolismo fermentativo en tres grupos: a) heterofermentativas obligadas, b) heterofermentativas facultativas y c) homofermentativas obligadas (Martín, 2018). Las homofermentativas obligadas transforman los azúcares de la harina, concretamente las hexosas, en ácido láctico. En cambio, las heterofermentativas obligadas y facultativas fermentan las pentosas para producir ácido láctico, ácido acético y etanol (Lancetti, 2017). Además, las bacterias homofermentativas tienen una temperatura óptima de crecimiento de 35°C, mientras que la T óptima de las heterofermentativas es en torno a 20°C (Gómez-Ibáñez, 2021).

Las especies de BAL que se encuentran presentes habitualmente en las masas madre y que suelen participar en la fermentación de estas, se recopilan en la tabla 9.

Tabla 8. Especies de levaduras detectadas en las masas madres

Levaduras habituales	Levaduras detectadas con menos frecuencia
<i>Candida humilis</i>	<i>Candida glabrata</i>
<i>Kazachstania exigua</i> (Forma anamorfa <i>Candida holmii</i>)	<i>Candida parapsilosis</i>
<i>Pichia kudriavzevii</i> (Forma anamorfa <i>Candida krusei</i>)	<i>Candida stellata</i>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	<i>Candida tropicalis</i>
<i>Torulaspota delbrueckii</i>	<i>Kazachtania unispora</i>
<i>Wickerhamomyces anomalus</i> (forma anamorfa <i>Candida pelliculosa</i>)	<i>Kluyveromyces marxianus</i> (Forma anamorfa <i>Candida kefyr</i>)
	<i>Meyerozyma guilliermondii</i> (Forma anamorfa <i>Candida guilliermondii</i>)
	<i>Pichia membranaefaciens</i> (Forma anamorfa <i>Candida valida</i>)
	<i>Saccharomyces pastorianus</i>

Fuente: Huys, Daniel y De Vuyst, 2013.

Tabla 9. Especies de bacterias ácido láctica presentes en las masas madres

Heterofermentativas obligadas	Heterofermentativas facultativas	Homofermentativas obligadas
<i>Lactobacillus acidifarinae</i>	<i>Lb. Alimentarius</i>	<i>Enterococcus casseliflavus</i>
<i>Lb. Brevis</i>	<i>Lb. casei/paracasei</i>	<i>E. durans</i>
<i>Lb. Cellobiosus</i>	<i>Lb. coleahominis</i>	<i>E. faecalis</i>
<i>Lb. Collinoides</i>	<i>Lb. Kimchi</i>	<i>E. faecium</i>
<i>Lb. Crustorum</i>	<i>Lb. paralimentarius</i>	<i>Lb. acidophilus</i>
<i>Lb. Curvatus</i>	<i>Lb. pentosus</i>	<i>Lb. amylolyticus</i>
<i>Lb. Fermentum</i>	<i>Lb. perolens</i>	<i>Lb. amylovorus</i>
<i>Lb. Fructivorans</i>	<i>Lb. plantarum</i>	<i>Lb. crispatus</i>
<i>Lb. Frumenti</i>	<i>Lb. sakei</i>	<i>Lb. delbrueckii</i>
<i>Lb. hammesii</i>	<i>Pediococcus acidilactici</i>	<i>Lb. farciminis</i>
<i>Lb. hilgardii</i>	<i>P. dextrinicus</i>	<i>Lb. gallinarum</i>
<i>Lb. homohiochii</i>	<i>P. pentosaceus</i>	<i>Lb. gasseri</i>
<i>Lb. kefirii</i>		<i>Lb. helveticus</i>
<i>Lb. kunkeei</i>		<i>Lb. johnsonii</i>
<i>Lb. lindneri</i>		<i>Lb. mindensis</i>
<i>Lb. mucosae</i>		<i>Lb. nagelli</i>
<i>Lb. namurensis</i>		<i>Lb. salivarius</i>
<i>Lb. nantensis</i>		<i>Lactococcus lactis</i>
<i>Lb. nodensis</i>		<i>Streptococcus constellatus</i>
<i>Lb. oris</i>		<i>S. equinus</i>
<i>Lb. panis</i>		<i>S. suis</i>
<i>Lb. parabuchneri</i>		
<i>Lb. pontis</i>		
<i>Lb. sanfranciscensis</i>		
<i>Lb. reuteri</i>		
<i>Leuconostoc citreum</i>		
<i>Le. gelidum</i>		
<i>Le. mesenteroides</i>		
<i>Weissella cibaria</i>		
<i>W. confusa</i>		
<i>W. hellenica</i>		
<i>W. kandleri</i>		
<i>W. paramesenteroides</i>		
<i>W. viridescens</i>		

Fuente: Huys, Daniel y De Vuyst, 2013.

Generalmente, el crecimiento de las levaduras y de las BAL se ve afectado por factores del medio como son el pH, la temperatura de fermentación, el potencial de óxido-reducción, la presión osmótica, el rendimiento de las propias levaduras, así

como por los metabolitos producidos durante la fermentación como el ácido láctico, el acético, el CO₂ o el etanol (Zhang et al., 2019).

Estos metabolitos generan las reacciones secundarias que ocurren en la masa en las que ya no participan los microorganismos y produce beneficios específicos para el pan, como un sabor y aroma más complejo, una textura más esponjosa y una vida útil más larga. Por ejemplo, los ácidos orgánicos contribuyen al sabor, los compuestos volátiles aromáticos que se producen por la degradación de las proteínas y las grasas por las enzimas producidas por las BAL proporcionan parte del aroma característico (García-Carreño, 2019), el CO₂ queda retenido en la red proteica del gluten formada tras la hidratación de la harina y el etanol se volatiliza durante el horneado (Sasano, 2013).

4.7 Sal

De acuerdo con la legislación en México, NOM-040-SSA1-1993, la sal se define como el producto constituido básicamente por cloruro de sodio y que proviene exclusivamente de fuentes naturales. Se presenta en forma de cristales incoloros, solubles en agua y de sabor salado franco.

La sal tiene las siguientes funciones en la masa para pan dulce:

- Regula la velocidad de fermentación

La sal inhibe la actividad de la levadura al unirse a las proteínas de la membrana de sus células. Estas proteínas son responsables de la absorción de nutrientes por

parte de la levadura, lo que hace que sea más difícil para la levadura absorber los nutrientes para reproducirse y producir gas (Baker y D'Appolonia, 1975).

- Fortalece el gluten

La sal ayuda a que el gluten se desarrolle de manera uniforme. Mediante la reducción de la actividad de las enzimas proteasas que pueden descomponer las proteínas del gluten. Se cree que los iones de sodio y cloro pueden unirse a los grupos funcionales y alterar su capacidad para unirse a través de la competencia por los sustratos de las enzimas por los sitios activos. Y también pueden alterar la conformación de la enzima al cambiar la forma en que se une a su sustrato, reduciendo la actividad enzimática (McGee, 2010).

Además, la sal permite que las proteínas del gluten se unan entre sí de manera más efectiva. Promoviendo la formación de enlaces de hidrógeno entre ellas para ayudar a mantener la estructura de la masa (Honesey, 1981).

- El efecto en el color y el sabor

La sal puede ayudar a que el pan dulce tenga un color más dorado y un sabor más intenso. Al reducir la fuerza de las interacciones intermoleculares entre aminoácidos y azúcares, estas moléculas son más móviles y probables entre en contacto entre sí para que se produzca la reacción de Maillard (McGee, 2010).

La sal mejora el sabor del pan dulce al resaltar los sabores dulces y del resto de los ingredientes. También ayuda a que la corteza sea más crujiente al reducir la actividad del agua en la masa, lo que hace que la corteza se seque más rápidamente

y sea más crujiente (Reinhart, 2001) además de ayudar a suavizar la miga por el agua que se retiene (Hamelman, 2018).

Respecto a la cantidad de sal, el porcentaje agregado a la masa para pan dulce se define según la cantidad de harina utilizada, siguiendo el porcentaje panadero.

Tabla 10. Propiedades de la masa de pan respecto a la cantidad de sal añadida

Porcentaje de sal	Textura de la masa	Sabor
Sin sal	Blanda y húmeda	Insípido
1%	Firme y elástica	Pronunciado
2%	Blanda y húmeda	Intenso

Elaboración propia con información de Hamelman, 2018.

El cual puede variar según el tipo de pan dulce que se esté elaborando. Por ejemplo, los que tienen un alto contenido de azúcar, suelen tener un porcentaje de sal más bajo, ya que la sal puede resaltar el sabor del azúcar. Y los que tienen un alto contenido de grasas, suelen tener un porcentaje de sal mayor, ya que la sal puede ayudar a equilibrar el sabor de la grasa (McGee, 2010).

5. FUNCIONALIDAD DE LOS COMPONENTES DE LOS MEJORANTES DE PAN

Según la Organización Mundial de la Salud, el uso de aditivos alimentarios solo está justificado si responde a una necesidad tecnológica, no induce a error al consumidor y se emplea con una función tecnológica definida, como conservar la calidad nutricional de los alimentos o mejorar su estabilidad (Organización Mundial de la Salud, 2018).

Los mejorantes para pan son una mezcla de varios aditivos creada con fines específicos conforme al tipo de pan y/o proceso al que se someta el pan, en la Norma Oficial Mexicana 247-SSA1-2008 se enlistan los aditivos permitidos, clasificados en las categorías de:

- Acentuadores de sabor
- Acondicionadores de masa
- Antioxidantes
- Colorantes
- Conservadores
- Emulsivos, estabilizadores, espesantes y gelificantes
- Gasificantes o polvos para hornear
- Humectantes
- Leudante
- Reguladores de pH
- Antiaglutinantes

- Gases de envasado
- Saborizantes y aromatizantes

Las cantidades de cada uno y su adición a la masa es determinada en función de las buenas prácticas de manufactura, en la gran mayoría de los casos (Anexo 1), y siguiendo la recomendación del fabricante del aditivo.

Los mejorantes pueden ser agrupados por su composición y por su función en las siguientes categorías (Zhuo, 2014):

- Gluten de trigo,
- Agentes oxidantes y agentes reductores,
- Enzimas
- Emulsificantes.

Adicionalmente, como el caso del mejorante que se utiliza para el croissant, pueden contener

- Hidrocoloides,
- Nutrientes para la levadura,
- Reguladores de pH
- Rellenos o agentes de carga.

Algunos aditivos pueden tener más de una función dentro del proceso de panificación.

Tabla 11. Funciones generales de los ingredientes del mejorante de pan

Ingredientes	Función general
Harina de trigo	Agente de carga para mezclar los demás aditivos.
Gluten de trigo	Aumenta la tolerancia de la masa al trabajo mecánico, mejora volumen y textura de la miga.
Ésteres mixtos acéticos y tartáricos de mono y diglicéridos de ácidos grasos	Emulsificantes. Retardan la retrogradación del almidón.
Sulfato de calcio	Acondicionador de masa (firmeza de la masa), regulador de pH
Goma guar	Estabilizante, mantiene humedad en la miga.
Carbonato de calcio	Acondicionador de masa y regulador de pH.
Ácido ascórbico	Acondicionador de masa. Mejora la reología de la masa.
Enzimas (Amilasas)	Mejorante de origen natural, fungal y bacteriano, actúan en las propiedades reológicas y fermentativas

Fuente: Elaboración propia con información de Zhou, 2014.

El mejorante que se utiliza en el proceso de elaboración del croissant con masa congelada declara ser un mejorante completo en polvo para masas congeladas, y contener los siguientes ingredientes: Harina de trigo enriquecida (Niacina, Hierro reducido, Tiamina, Riboflavina y Ácido fólico), gluten de trigo, ésteres mixtos acéticos y tartáricos de mono y diglicéridos de ácidos grasos, sulfato de calcio, goma guar, carbonato de calcio, ácido ascórbico y enzimas (PURATOS, 2018).

Con las siguientes recomendaciones de uso para masas que se someten a un proceso de enfriamiento: dosis de mejorante 2% a 5% sobre el peso de la harina. Con la siguiente recomendación de modo de empleo: Incorporar los ingredientes en el siguiente orden: agua, mejorante, harina y sal. A medio amasado, agregar la levadura.

5.1 Gluten de trigo

La aplicación más importante del gluten es en el sector de la panadería, donde se utiliza para enriquecer la harina que tiene un menor contenido de proteínas o propiedades viscoelásticas más débiles (Zhou, 2014).

Comercialmente se le puede encontrar con el nombre de gluten vital de trigo, refiriéndose a que para su elaboración este gluten se ha desarrollado completamente, esto se ve reflejado en el contenido de proteína.

La producción de gluten vital a partir de harina de trigo requiere de los procesos de amasado y batido, para posteriormente separar la fracción de almidón y la de gluten mediante lavado. El gluten húmedo se seca para preservar su vitalidad, que es esencial para el gluten comercial, ya que su funcionalidad depende de ella. En los procesos de panificación que utilizan amasadoras de alta velocidad, es esencial un desarrollo rápido del gluten y la interacción con las proteínas de la harina. Es decir, cuanto más vital sea el gluten, más rápido se hidratará (Zhou, 2014).



Figura 9. Saco con gluten vital de trigo. Fuente: Gluten y almidones industriales S.A. de C.V.

Los ingredientes que no son harina pueden afectar la fuerza del gluten de diversas maneras, por ejemplo, los azúcares pueden inhibir la formación de gluten, mientras que las grasas pueden disminuir las funciones de la proteína de la harina. En panes de variedad, la proteína de la harina puede verse afectada a un grado tal que el gluten no puede funcionar satisfactoriamente a menos que se complemente añadiendo más gluten (Bamforth, 2017).

Cuando se utiliza como aditivo en productos que incluyen congelación de la masa antes de fermentar, se debe considerar que añadir más del cinco por ciento de gluten en la formulación—puede desencadenar una mayor absorción de agua y aumentar la formación de cristales de hielo en la masa (Vergara, 2013).

5.2 Agentes oxidantes y reductores

El uso de agentes oxidantes en panificación generalmente produce una mejora de las propiedades de la masa y de la calidad del pan (Alien, 1999). Autores como Miller y Hoseney (1999) sugieren que esas mejoras que suceden se deben atribuir a la generación de uniones disulfuro en la red del gluten (Alasino et al., 2011).

La acción de agentes oxidantes y reductores en las propiedades de la masa ocurre durante diferentes períodos del procesamiento (amasado, horneado, etc.), y consecuentemente cambia el desarrollo de la estructura proteica de la masa. Varias interacciones químicas están implicadas en la formación de la masa, incluyendo puentes de hidrógeno, interacciones electrostáticas, fuerzas de Van der Waals, interacciones hidrofóbicas, y puentes disulfuro (Alasino, 2009).

Como norma general la creación y rotura de estos enlaces es un proceso dinámico, y en las masas se están creando y rompiendo permanentemente. Lo que ocurre es que en condiciones de oxidación predominan los fenómenos de creación y en las de reducción, predomina la rotura de estos (Innograin, 2020).

Actualmente el ácido ascórbico es utilizado en la mayoría de los mejorantes, se le considera un reductor, y así actúa en las primeras fases del amasado, reduciendo la fuerza de las harinas y permitiendo un amasado algo más rápido. Sin embargo, los productos que se generan en esta primera fase tienen una función oxidante, y consiguen reforzar la fuerza de las masas, evitar que las masas se caigan durante la fermentación, favoreciendo el incremento de volumen al mejorar la retención de los gases producidos en esa etapa (Innograin, 2020).

A medida que se va adicionando ácido ascórbico a la harina, ésta reacciona en presencia de la enzima ácido ascórbicoxidasas de la harina, con pérdida de dos átomos de hidrógeno y formación de agua y ácido dehidroascórbico que es un

agente oxidante. Este oxidante reacciona sucesivamente con los grupos sulfhidrilos de una harina débil, bajo la acción de la ácido-dehidroascórbico reductasa presente en la harina, se transforman en grupos disulfuros que caracterizan la tenacidad del gluten (Alasino, 2009).

Tabla 12. Función del ácido ascórbico como reductor y oxidante en la masa de pan.

Acción	Resultado en la masa
Reductor	Permite un amasado más rápido. Generación de los componentes con acción oxidante.
Oxidante	Aumento de la tenacidad que refuerzan las propiedades físicas
	Disminución de la viscosidad volviendo a la masa menos pegajosa
	Aumento de la retención de gases durante la fermentación.
	La masa no se blanquea. No hay variaciones de sabores en ella.

Fuente: Elaboración propia con información de Alasino, 2009.

El ácido dehidroascórbico es inestable y se descompone rápidamente perdiendo su actividad. Por lo tanto, es necesario que la reacción del ácido ascórbico pasando a ácido dehidroascórbico se produzca sólo durante el amasado (Alasino, 2009).

5.3 Enzimas

Las enzimas son proteínas especializadas que actúan como catalizadores biológicos y aceleran en gran medida las tasas de las reacciones bioquímicas en los sistemas vegetales y animales. Se están convirtiendo en componentes cada vez más comunes de los mejorantes del pan. Aunque su aplicación se conoce desde

hace tiempo, los recientes cambios en la comprensión de su función y la regulación han aumentado su uso (Cauvain, 2015).

Las reacciones catalizadas por enzimas son específicas del sustrato y tienen lugar en condiciones determinadas. Diferentes enzimas, como las amilasas, las proteasas, las peroxidasas, la glucosa oxidasa, la xilanasa, la lacasa, la lipasa y la transglutaminasa, se utilizan para mejorar la calidad de la masa y el pan. Para utilizarlas eficazmente como ingredientes, es necesario tener un conocimiento básico de ellas. Además, deben proceder de un organismo seguro y estar libres de toxinas (Zhou, 2014).

Existen enzimas en la harina y en otros ingredientes de panificación, como huevo y leche y, además, pueden añadirse enzimas. La adición de enzimas ha sido una práctica común para mejorar la calidad de los productos obtenidos en el proceso de panificación. Ya que se emplean para mejorar las propiedades reológicas (tenacidad, extensibilidad, elasticidad y fuerza) y fermentativas de las masas. Éstas actúan sobre los distintos polisacáridos, lípidos y proteínas de la harina de trigo durante el proceso de amasado y fermentación, hasta su desnaturalización térmica durante la cocción en el horno (Calva-Rodríguez, 2008).

En el grano de trigo existen dos tipos de amilasas, las β -amilasas y la α -amilasa. Las primeras se generan durante la maduración del grano y no suelen existir problemas de falta de estas enzimas, ya que la cantidad que presentan las harinas suele ser suficiente para la labor que deben desempeñar (Innograin, 2020).

Las amilasas son capaces de generar dextrinas de distinto tamaño molecular que interfieren en la retrogradación de la amilopectina y en las interacciones gluten-almidón. Sin embargo, no todos los tipos de amilasas son capaces de retrasar el envejecimiento del pan; solo las de termoestabilidad intermedia conocidas como maltogénicas tienen el efecto más beneficioso, puesto que generan dextrinas que interfieren en la formación de los puentes de hidrógeno entre el almidón y el gluten, y evitan la rigidez (Miralbés, 2018).

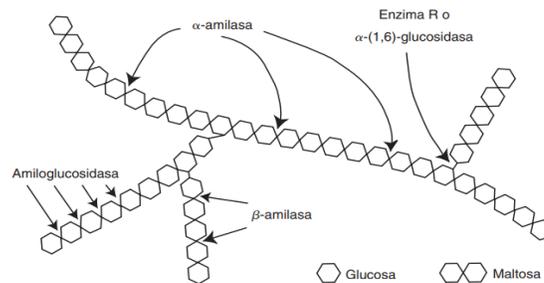


Figura 10. Hidrólisis del almidón por diferentes enzimas.
Fuente: Badui Dergal et al., 2013

La acción amilolítica comienza al mezclar la harina con todos los ingredientes en estado húmedo, produciendo maltosa y algo de glucosa, ya que la harina de trigo contiene mucha más β que α -amilasa (Badui Dergal et al., 2013).

Las β -amilasas actúan cortando el almidón cada dos moléculas de glucosa, y generan lo que se conoce como maltosa (dos unidades de glucosa unidas por un enlace α -1-4). Estas enzimas terminan de actuar cuando encuentran un enlace α -1-6 (una ramificación en las cadenas de almidón). Sin embargo, los extremos de las cadenas de almidón son muy cortos, y tras la actuación de las β -amilasas queda una gran parte del almidón sin hidrolizar, siendo la cantidad de maltosa generada

insuficiente. La α -amilasa, también rompe enlaces α -1-4, pero lo hace desordenadamente, saltando los enlaces α -1-6, y generando trozos más pequeños de almidón, llamados dextrinas. Y también genera nuevos extremos por donde pueden empezar a actuar las β -amilasas (Innograin, 2020).

Los mono y disacáridos obtenidos sirven como sustrato para las levaduras en la producción de anhídrido carbónico y de etanol, así como para efectuar las reacciones de oscurecimiento no enzimático durante la cocción que les dan la coloración característica a los derivados de la panificación (Badui Dergal et al., 2013).

La cantidad de almidón disponible para las enzimas depende del método que se siga para la producción de harina, en términos generales, para tal fin sólo se emplea alrededor del 10% de este polisacárido (Badui Dergal et al., 2013).

A pesar de que la actividad de la β -amilasa es mayor que la de la α -amilasa, esta última desempeña un papel muy importante en la panificación, por lo que se puede agregar de manera exógena; si hay una excesiva acción de la α -amilasa, habría una hidrólisis mayor del almidón, lo que causaría que la miga se tornara pastosa y débil con un color demasiado oscuro en la costra; en el otro extremo, cuando su actividad es baja, puede provocar una fermentación insuficiente debido a la ausencia de maltosa, pues la β -amilasa actúa mejor sobre las dextrinas generadas por la α -amilasa; esto modifica además de la textura, el color del pan (Badui Dergal et al., 2013). Ambas enzimas se inactivan en la etapa del horneado, aunque la α -amilasa es más termorresistente que la β -amilasa (Badui Dergal et al., 2013).

Industrialmente las amilasas pueden producirse a partir de hongos, amilasas fúngicas; o bacterianas, amilasas bacterianas; lo que les otorga algunas diferencias en sus características y se debe tomar en cuenta al elegir las para su uso en la elaboración de pan, algunas de estas diferencias son: el pH, ya que, las amilasas bacterianas presentan un pH óptimo de actuación ligeramente más alejado del de las masas que las amilasas fúngicas, además presentan una temperatura óptima de actuación más alta, así como una temperatura de inactivación también más elevada (Innograin, 2020).

Esto provoca que su funcionalidad en las masas sea menor que en las amilasas fúngicas, pero que algunas amilasas bacterianas puedan superar el proceso de horneado sin inactivarse, degradando el pan elaborado. (Innograin, 2020).

Estas amilasas fúngicas suelen inactivarse a los 60°C, por lo que se desnaturalizan antes de la gelatinización del almidón, en el proceso de horneado. Por lo cual tienen ventaja considerable sobre las amilasas de origen bacteriano en el proceso de elaboración de pan (Innograin, 2020).

Tabla 13. Función de enzimas en la masa de pan

Enzima	Función
Amilasas fungales	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentan capacidad fermentativa de la harina • Aumentan volumen del pan en procesos cortos de fermentación (Raramente se usan para procesos largos)
Amilasas bacterianas	<ul style="list-style-type: none"> • Producen azúcares cortos que ayudan a retardar cristalización del almidón luego del horneado • Son muy eficientes para aumentar la vida útil del pan envasado.
Hemicelulasas	<ul style="list-style-type: none"> • Relajan la masa y permiten lograr panes de mayor volumen específico. • Modifican color de corteza y textura de miga.
Pentosanasas	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentan la extensibilidad de la masa. • Influencia sobre la figura alveográfica de la harina. • Usadas por molinos harineros para corregir defectos de molienda.
Glucosaoxidasa	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto beneficioso sobre la estabilidad de la harina durante procesos largos de panificación.
Lipasas	<ul style="list-style-type: none"> • No son enzimas específicas para panificación, pero se les atribuye fuerte efecto en la estabilidad de la harina durante la fermentación. • Recomendadas para aditivos y mejorantes que no contienen emulsionantes en su composición.

Fuente: Elaboración propia con información de Popper 2003.

5.4 Emulsificantes

Los emulsionantes son agentes anfílicos constituidos por dos fracciones diferentes: una parte hidrófila que se solubiliza en agua, y otra hidrófoba o lipófila, que lo hace mejor en los lípidos (Badui Dergal et al., 2013).

Su eficacia está ligada a su solubilidad en cada fase, y para ejercer una mejor acción debe ser más soluble en la fase continua; por ejemplo, una emulsión aceite en agua requiere un emulsionante más hidrosoluble. Sin embargo, esta regla se modifica por efecto de la temperatura; entonces si un emulsionante se solubiliza fácilmente en agua fría, es probable que al aumentar la temperatura lo haga mejor en los lípidos (Badui Dergal et al., 2013).

Por tanto, facilitan la interacción de los lípidos con las proteínas y el almidón. Las ventajas más reconocidas de su uso son el incremento del volumen de pan y el mejoramiento de la textura de la miga. También se les asigna la formación de complejos insolubles con la amilosa retardando así la capacidad de envejecimiento del pan (Alasino et al., 2011).

El mono y el diglicérido son por mucho, los agentes más empleados y se fabrican mediante la interesterificación. A partir de los monoglicéridos destilados de alta pureza (90%) se obtienen derivados con ácidos orgánicos (ácidos grasos, láctico, succínico, cítrico, acético y diacetil tartárico) y con epóxido de etileno. Así se producen los diacetil tartratos, conocidos como "Datem", para acondicionar la masa de panificación (Badui Dergal et al., 2013).

En panes donde el proceso de leudado es biológico, la función principal que debe aportar un emulsificante es impartir a la masa una mayor tolerancia al trabajo mecánico, darle extensibilidad que facilite su modelado y fuerza para que durante la fermentación y horneado se obtenga un buen volumen (Jiménez-Zavala, 2002).

Y particularmente, en productos como los panes dulces laminados, se busca que la masa además de ser extensible tenga una alta barrera a la humedad, se recomienda utilizar monoglicéridos etoxilados ésteres del ácido diacetil tartárico (Jiménez-Zavala, 2002).

Tabla 14. Funciones de los principales emulsificantes.

Emulsificante	Función principal
<ul style="list-style-type: none"> • Ésteres del ácido diacetil tartárico, • Monoestearato de sorbitan, • Esteres de propilenglicol, polisorbatos • Monoglicéridos etoxilados. 	<p>En la parte sensorial, mejoran la forma y volumen del pan.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Mono y diglicéridos de ácidos grasos • Estearoil 2 lactilato de sodio o calcio, • Ésteres de sacarosa, • Lecitina • Polisorbatos. 	<p>Mejoran la textura, para formar una miga cerrada,</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Monoglicéridos de ácidos grasos 	<p>Ayudan con la palatabilidad del producto, que sea suave, ligero y desmorable</p>

Fuente: Elaboración propia con información de Jiménez-Zavala, 2002.

5.5 Hidrocoloides

Los hidrocoloides son macromoléculas hidrofílicas: hidratos de carbono de alto peso molecular y proteínas de diferente origen. Los primeros se pueden clasificar en diferentes grupos: exudados de vegetales; extractos de algas marinas, de frutas y

de huesos; harinas de leguminosas; obtenidos por fermentación o biosíntesis y los de síntesis química (Badui Dergal et al., 2013).

No todos los hidrocoloides son adecuados para uso en productos de panificación, las gomas que se utilizan principalmente son: arábica, xantana, karaya, tragacanto, algarrobo, Goma guar y la carboximetilcelulosa sódica (CMC) (Saldaña-Carriles, 2006).

Estos compuestos inducen cambios estructurales en los principales componentes de la masa panadera (almidón, gluten, lípidos), durante la panificación y posterior almacenamiento de los productos horneados, específicamente, las interacciones entre los hidrocoloides y el almidón modifican la estructura e influyen sobre los procesos de gelatinización y retrogradación y el envejecimiento de pan (Luna-Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011).

La legislación mexicana, clasifica a los hidrocoloides como estabilizantes (NOM 247-SSA1-2008). Específicamente la goma guar, que es la que se utiliza en este mejorante, tiene como funciones en la masa ayudar a que se eleve, mejorar la consistencia y conservación; y en el pan, retardar el envejecimiento y aportar suavidad a la miga (Saldaña-Carriles, 2006).

En masas congeladas se utilizan para reducir las migraciones de agua. (Innograin, 2020) Debido a que los hidrocoloides modifican los procesos de gelatinización y retrogradación del almidón por la competencia de estos por el agua, con lo que se

observa un efecto positivo en el aumento de vida de anaquel del pan (Miralbés, 2018).

5.6 Nutrientes para la levadura

Un nutriente para la levadura es una sustancia que proporciona los elementos esenciales para el crecimiento y la reproducción de la levadura (Singh y Heldman, 2008).

Como aditivos, son un grupo de sustancias que favorecen el desarrollo de la levadura y que incluyen generalmente alguna fuente de nitrógeno en la forma de cloruro o sulfato de amonio pero que no incluyen ningún carbohidrato (Fernández-Gutiérrez y Pérez-Álvarez, 2013).

El sulfato de calcio es uno de los componentes más usados en los alimentos para la levadura y acondicionadores de masa, ya que ejerce un efecto estimulante deseable sobre las levaduras (Pérez-Guisado y Martín, 2010).

Además, el sulfato de calcio es un agente formador de enlaces cruzados que actúa sobre los grupos sulfhidrilo de las proteínas del gluten. Cuando los grupos sulfhidrilo se unen a un ion calcio, forman enlaces cruzados que hacen que el gluten sea más fuerte y resistente (Pérez-Guisado y Martín, 2010).

Adicional al sulfato de calcio, los nutrientes para levadura pueden incluir estos elementos, en forma de sales (Singh y Heldman, 2008):

- Nitrógeno: La levadura necesita nitrógeno para producir proteínas, que son esenciales para su estructura y función.
- Fósforo: El fósforo es necesario para la producción de energía y la síntesis de ADN.
- Potasio: El potasio ayuda a regular el equilibrio de fluidos y la actividad enzimática.
- Magnesio: El magnesio es necesario para la producción de energía y la síntesis de proteínas.
- Azufre: El azufre es necesario para la producción de proteínas.
- Vitaminas: Las vitaminas son necesarias para diversas funciones celulares.
- Minerales: Los minerales son necesarios para una variedad de funciones celulares.

Los nutrientes para la levadura se pueden agregar a la masa de pan de diversas maneras. Una forma es agregarlos directamente a la harina, como cuando forman parte de un mejorante, o cuando es un aditivo separado se agrega al agua que se utiliza para mezclar la masa (Singh y Heldman, 2008).

La cantidad de nutrientes para la levadura que se utiliza depende de varios factores, como el tipo de levadura que se utiliza, la temperatura de la masa y el tiempo de fermentación (Bamforth, 2017).

Para una masa de pan dulce simple, se puede utilizar una proporción de 0,5% de nutriente para la levadura. Para una con ingredientes ricos en proteínas, como el huevo, se puede utilizar una proporción de 1,0% y para una masa que se congelará

durante mucho tiempo, se puede usar una proporción de 1,5 % de nutriente (Fernández-Gutiérrez y Pérez-Álvarez, 2013).

5.7 Reguladores de pH

El pH de la masa es un factor importante que afecta a la fermentación. El pH óptimo para la fermentación es de 4,5 a 5,5. A un pH inferior a 4,5, la actividad de las levaduras se reduce y la fermentación se ralentiza. A un pH superior a 5,5, la actividad de las levaduras se acelera, pero el sabor del pan puede resultar demasiado ácido (Zhou, 2014).

Además, es importante ya que puede favorecer o evitar el crecimiento de algunos microorganismos patógenos. Estos reguladores se encargan de desactivar enzimas y así, evitar el crecimiento microbiano en el pan (Vázquez, 2020).

Por tanto, la reducción del pH por fermentación prolongada o por la adición de algunos reguladores del pH favorece un tiempo mayor de conservación (Tejero, 2015).

Algunas sustancias pueden actuar como regulador de pH y acondicionador de masa sobre las propiedades reológicas de la misma. La NOM 247-SSA1-2008 permite varias sustancias dentro de la clasificación de reguladores de pH, como el carbonato de calcio, fosfatos de sodio y fosfatos de calcio.

5.8 Rellenos o agentes de carga

Debido a que los mejorantes se adicionan en porcentajes bajos, entre 2% a 5% respecto a la harina, para tener un manejo más práctico, y poder incorporarlos en la masa, se realiza una mezcla de los aditivos que lo componen con un ingrediente neutral donde puedan estar integrados y sin reaccionar, normalmente este ingrediente es harina de trigo y por esta función es conocido como agente de carga. Además, pueden incluir una sustancia antiapelmazante que evite la formación de grumos de los productos en polvo, debido a la humedad del propio producto o del ambiente. El más utilizado es el carbonato cálcico (Pedulla-Rodríguez, 2012).

6. CONGELACIÓN

6.1 Fundamentos de congelación en alimentos

La conservación de alimentos por frío se basa en un principio muy general de la fisicoquímica: la movilidad molecular se reduce y, en consecuencia, las reacciones químicas y los procesos biológicos se ralentizan a bajas temperaturas. Por lo tanto, el enfriamiento retrasa el deterioro, pero no puede mejorar la calidad inicial de un producto. Los alimentos conservados en frío tienen una vida útil definida, cuya duración depende de la temperatura de almacenamiento. Además, la acción conservadora del frío solo existe mientras se mantenga la baja temperatura, de ahí la importancia de mantener una cadena de frío fiable durante toda la vida comercial del producto (Berk, 2013).

6.1.2 Aspectos físicos y termodinámicos

6.1.2.1 Formación de hielo

El agua existe en alguno de los tres estados físicos conocidos: gas, líquido y sólido, de acuerdo con la cantidad e intensidad de puentes de hidrógeno que contenga. A una atmósfera de presión, estos estados dependen exclusivamente de la temperatura, por lo que a $\leq 0^{\circ}\text{C}$ se presenta como hielo y a $\geq 100^{\circ}\text{C}$, como vapor; sin embargo, a una presión de 4.579 mm de mercurio y a 0.0099°C , se considera que los tres estados se encuentran conjuntamente en equilibrio, logrando el punto triple del agua. Las conversiones de un estado a otro se llevan a cabo modificando la presión y la temperatura (Badui, 2013).

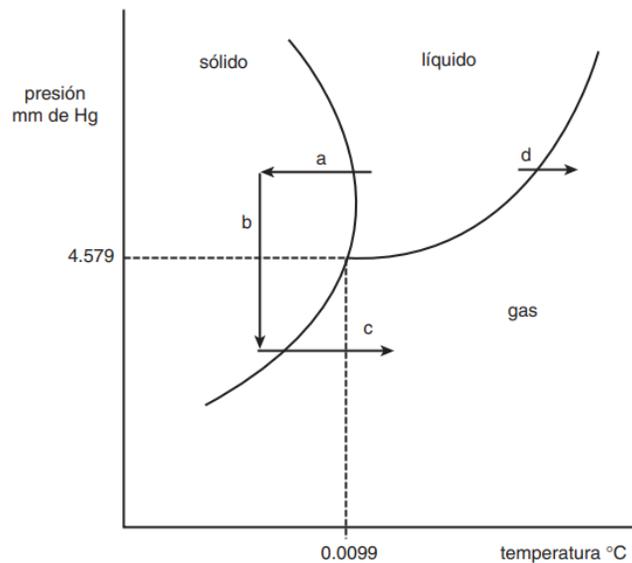


Figura 11. Diagrama de fases del agua. a) Congelación, b) Reducción de la presión, c) Sublimación, d) Evaporación. Fuente: Badui, 2013.

6.1.2.2 Cristalización del hielo

En estado líquido, el agua establece puentes de hidrógeno y crea una estructura tridimensional, se considera que estas uniones están uniformemente distribuidas en todas las moléculas de agua, formando una red uniforme (Badui, 2013).

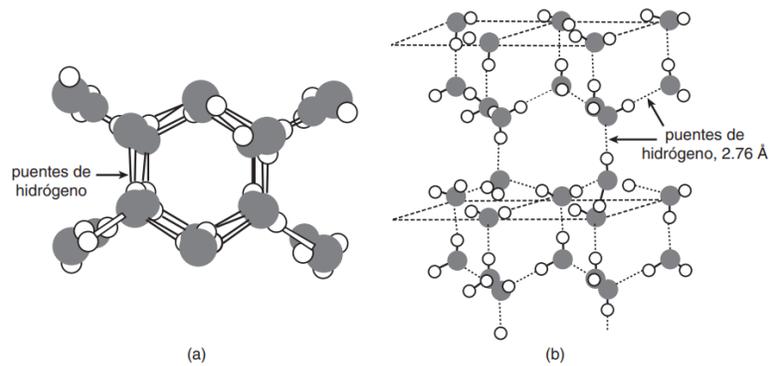


Figura 12. (a) Estructura hexagonal de los cristales de hielo formado mediante puentes de hidrógeno entre moléculas de agua y (b) planos paralelos de las moléculas de hielo (2.76Å es la distancia entre cada oxígeno). Fuente: Badui, 2013.

El hielo es una estructura más ordenada y simétrica de moléculas de agua unidas íntegramente por medio de puentes de hidrógeno. Cada molécula interacciona con otras cuatro estableciendo enlaces y un ángulo de unión de 109° , muy cercano al del ángulo del tetraedro, de tal manera que generan planos paralelos de agua, y hacen que el hielo adquiera un arreglo hexagonal simétrico en donde cada vértice está representado por un átomo de oxígeno (Badui, 2013).

El proceso de congelación de alimentos tiene dos características únicas en comparación con la congelación de agua pura. La primera es que, la temperatura de equilibrio para la formación inicial de cristales de hielo es inferior a la temperatura de equilibrio para la formación de cristales de hielo en el agua pura. La segunda

ocurre después de que se forman los cristales de hielo iniciales, en el producto alimenticio, la eliminación de la energía de cambio de fase se produce gradualmente en un rango de temperaturas decrecientes del producto (Heldman, 2007).

Un factor determinante en la calidad organoléptica del producto congelado es el tamaño de los cristales de hielo formados. Éste depende de la tasa de nucleación, que es la cantidad de núcleos de cristales de hielo que se forman en un cierto tiempo en un cierto volumen, y de la velocidad de extracción de calor del sistema (Kiani & Sun, 2011).

Si la tasa de nucleación es baja, se forman pocos núcleos de hielo y éstos dan lugar, durante la etapa de cambio de fase, a pocos cristales de hielo, pero de gran tamaño que producen daños en la estructura de los alimentos, específicamente en las membranas celulares, provocando desde alteraciones en su textura hasta una importante pérdida de agua durante la descongelación. En cambio, si la tasa de nucleación es elevada, se forma una gran cantidad de núcleos de hielo. Los cuales generan muchos cristales de hielo que, si la velocidad de extracción de calor del sistema es adecuada, serán de pequeño tamaño (Petzold & Aguilera, 2009).

6.1.2.3 Cambios dimensionales

El aumento del volumen se debe a la reducción de la densidad cuando el agua se enfría y congela, la densidad del hielo a 0°C es de 0.9168 g/cm³, mientras que la del agua a la misma temperatura es de 0.9998 g/cm³, y a 20°C es de 0.998 g/cm³.

La estabilidad y las propiedades de las macromoléculas dentro de las células de los alimentos dependen de la interacción de sus grupos reactivos con la fase acuosa que los rodea; el congelamiento provoca un aumento de 8 a 10% del volumen, alterando dichas interacciones adicional a que los cristales de hielo modifican la textura del producto alimenticio (Badui, 2013).

6.1.2.4 Conductividad térmica

La conductividad térmica es la capacidad de una sustancia para transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. Cuanto mayor sea la conductividad térmica de un material, mejor conductor del calor será (Askeland y Phulé, 2013).

Las diferencias entre las estructuras del agua y del hielo se reflejan en diversas propiedades, como la conductividad térmica; el hielo es más conductor con un valor de 2,240 J/m seg °K (5.3 cal/cm seg °C), que es cuatro veces el valor del agua (Badui, 2013).

Las magnitudes de la conductividad térmica de la mayoría de los productos alimenticios son una función del contenido de agua y la estructura física del producto. Muchos modelos matemáticos sugeridos para la predicción de la conductividad térmica se basan en el contenido de humedad y no consideran la orientación estructural, esto último se refiere a la disposición de los componentes del producto alimenticio, como las células, las fibras y las partículas de hielo. Estos

modelos matemáticos se utilizan comúnmente en la industria alimentaria para diseñar procesos de congelación y descongelación de alimentos (Smith, 2002).

6.1.2.5 Cambio de entalpía

El cambio de entalpía es la diferencia entre la entalpía final y la inicial de un sistema. En el caso de la congelación del agua, el cambio de entalpía es negativo. Esto significa que se requiere energía para congelarla. Cuando el agua se está congelando, el calor que se libera cuando el agua líquida se convierte en hielo se conoce como calor latente de fusión o calor de fusión y tiene un valor de 334 kJ/kg. Además de ser una propiedad intensiva de la materia, lo que significa que no depende de la cantidad de agua que se esté congelando (Heldman, 2007).

Para los productos alimenticios la disminución de su temperatura durante la congelación se produce gradualmente a medida que el calor latente de fusión se extrae del agua del producto (Heldman, 2007).

El valor del cambio de entalpía se utiliza para calcular el consumo de energía de los sistemas de refrigeración, y también para determinar la cantidad de energía que se requiere para conservar los alimentos congelados (Askeland y Phulé, 2013).

6.1.2.6 Cambio de entropía

En termodinámica, el cambio de entropía es la diferencia entre la entropía final y la entropía inicial de un sistema. Es una medida del desorden o aleatoriedad de un

sistema. Si un sistema tiene mayor entropía es más desordenado que uno con menor entropía (Smith, 2002).

El cambio de entropía puede ser positivo, negativo o cero. Un cambio de entropía positivo significa que el sistema se vuelve más desordenado. Un cambio negativo, que se vuelve más ordenado y cuando es cero significa que no hay cambio en el desorden del sistema (Berzk, 2013).

El cambio de entropía se utiliza para predecir el comportamiento de los sistemas termodinámicos y para determinar la dirección de los procesos naturales. La congelación del agua es un proceso que implica un cambio de estado de la materia, de líquido a sólido. Durante el cual, las moléculas de agua se ordenan en una estructura cristalina, lo que reduce su entropía. Por lo tanto, la entropía del agua líquida es mayor que la del hielo sólido. Como resultado, el cambio de entropía durante la congelación del agua es negativo (Potter y Hotchkiss, 1999).

El cambio de entropía durante la congelación del agua tiene varias implicaciones importantes, por ejemplo, que la congelación del agua es un proceso no espontáneo, y para que el agua líquida se congele, se requiere energía externa para extraer calor del sistema (Hayduck, 1997).

6.2 El proceso del enfriamiento artificial

El proceso de enfriamiento o refrigeración tiene como fin extraer calor de una sustancia, foco frío, que se encuentra a baja temperatura siendo generalmente aire

o agua, cediéndole posteriormente a otra sustancia, foco caliente, con temperatura más alta que el foco frío, generalmente también aire o agua (Randado Caballero, 2020).

La refrigeración puede utilizarse para tres fines, principalmente:

- Refrigeración para conservación.
- Refrigeración para congelación.
- Refrigeración para climatización.

Las dos primeras se aplican generalmente a alimentos, mientras que la última se refiere a la refrigeración de locales o vehículos para animales, personas o plantas. Existen dos formas básicas de producir frío, una es a través del ciclo de absorción, y la otra a través del ciclo de compresión mecánica de vapor, que es el más utilizado (Randado Caballero, 2020).

En el sistema de compresión, el calor se extrae a un nivel de baja temperatura.

Su principio se puede explicar mejor con un diagrama sencillo que muestra los cuatro componentes básicos: evaporación, compresión, condensación y expansión.

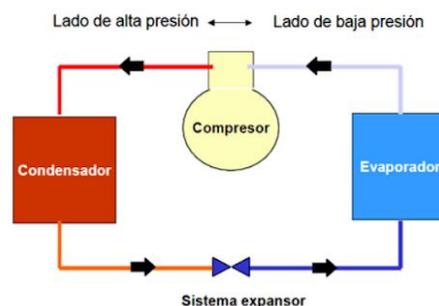


Figura 13. Las cuatro etapas del ciclo de refrigeración por compresión
Fuente: Randado-Caballero, 2020

Este sistema se basa en los tres fenómenos siguientes (Vásquez Olivas, 2016):

- 1) Todos los líquidos al evaporarse absorben calor del entorno;
- 2) La temperatura a la que hierve o se evapora un líquido depende de la presión que se ejerce sobre dicho líquido;
- 3) Todo vapor puede volver a condensarse pasando a estado líquido, si se comprime y enfría debidamente.

La refrigeración requiere dispositivos especiales llamados refrigeradores. Los fluidos de trabajo utilizados en los refrigeradores se llaman refrigerantes y los ciclos en los que operan se denominan ciclos de refrigeración. En el de compresión de vapor, el refrigerante se evapora y se condensa alternadamente, para luego comprimirse en la fase de vapor (Secretaría de Estado de la Energía, 2018).

El evaporador es el componente de un sistema de refrigeración que absorbe el calor del espacio que se va a enfriar. El refrigerante, que se encuentra en estado líquido, se expande a través de los tubos del evaporador, absorbiendo calor del espacio y convirtiéndose en vapor. El vapor de refrigerante luego se transporta al condensador, donde se condensa y libera el calor al aire ambiente (Tyler, 2021).

El refrigerante evaporado pasa a un compresor, que es un equipo mecánico, que lo comprime. Incrementando la presión y temperatura del fluido, para posteriormente ser transportado por la tubería en forma de gas caliente hasta el condensador. El compresor es accionado por un motor eléctrico (Camacho Jurado, 2013).

En la siguiente etapa, los intercambiadores de calor, conocidos como condensadores proporcionan el área de transferencia de calor, eliminan el calor en el refrigerante, el cual está en fase gaseosa proveniente del compresor, convirtiéndolo en una mezcla (líquido y gas) total. El condensador se ubica en el exterior del recinto donde se instala el sistema de refrigeración (Camacho Jurado, 2013).

Finalmente, la válvula de expansión es el dispositivo encargado de regular el flujo de refrigerante. Su función es bajar la presión del fluido de trabajo y con ello su temperatura. Una vez que el refrigerante sale del condensador como líquido saturado, éste ingresa a la válvula de expansión para convertirlo en mezcla líquido-vapor con una calidad específica y llevarlo al evaporador para repetir el ciclo (Universidad de Guanajuato, 2022).

6.3 Métodos de congelación

Existen métodos de congelación rápidos y lentos. En el método lento se coloca el producto a bajas temperaturas y se deja congelar, el rango de temperatura es entre 0 °F a -40 °F; como la circulación del aire es por lo general mediante convección natural, el tiempo de congelación dependerá del volumen de producto y condiciones del congelador (Rojas & Treguear, 2000).

El método de congelamiento se obtiene por los siguientes tres métodos o una combinación de éstos (Rojas & Treguear, 2000):

- Inmersión.

Se introduce el producto en una solución de salmuera a bajas temperaturas (puede usarse NaCl o azúcar). Esta solución es un buen conductor, hace contacto con todo el producto, provocando una transferencia de calor rápida y el producto es congelado totalmente en corto tiempo; se congela en unidades individuales en vez de forma masiva. (Rojas & Treguear, 2000).

- Contacto indirecto.

Suelen ser congeladores de puerta donde el producto se coloca encima de placas metálicas por las que circula un refrigerante. La transferencia de calor es por conducción, ya que la eficiencia del congelador depende de la cantidad de superficie de contacto. Este método es muy útil en la congelación de pequeñas cantidades (Rojas & Treguear, 2000).

- Corrientes de aire.

Se usa el efecto combinado de temperaturas bajas y velocidad del aire alta, lo que produce una alta transferencia de calor del producto. En general se debe tener la consideración que el aire pueda circular libremente alrededor de todas las partes del producto (Rojas & Treguear, 2000).

6.3.1 Velocidad de congelación

Como la velocidad de congelación depende mucho del tipo de alimento o producto a congelar, hay que mencionar que, en general, existen dos tipos de congelación: lenta y rápida. La congelación lenta se produce cuando la cristalización aumenta la concentración local de los solutos, lo que provoca, por ósmosis, la deshidratación progresiva de las células. En este tipo de congelación, se forman grandes cristales de hielo aumentando los espacios extracelulares, mientras que las células plasmolizadas disminuyen considerablemente su volumen (Universidad de Guanajuato, 2022).

Por otro lado, cuando la congelación es rápida, la cristalización se produce a una velocidad importante. Una desventaja de este tipo de congelación es que, a velocidades elevadas, pueden existir tensiones internas en algunos alimentos lo cual genera agrietamientos o rotura de tejidos (Universidad de Guanajuato, 2022).

Existen diversas maneras de definir la velocidad de congelación, siendo éstas: el tiempo característico de congelación o duración de la congelación, también se le asocia al tiempo nominal de congelación o a la velocidad media de congelación. La velocidad de congelación se expresa en unidades de °C/h, siendo estas unidades las que definen este parámetro por lo cual se entiende que es el cociente de la diferencia de temperaturas inicial y final entre la duración del proceso (Universidad de Guanajuato, 2022).

La duración real de la congelación depende de diversos factores, los más importantes son (Rojas & Treguear, 2000):

- Dimensiones y forma del producto (espesor),
- Temperatura inicial y final,
- Temperatura del refrigerante,
- Otros: Coeficiente de transferencia de calor superficial del producto, variación de la entalpía, conductividad térmica.

El conocimiento del tiempo de congelación es de gran importancia para el diseño del proceso. Este tiempo es un dato necesario para determinar la velocidad de refrigeración requerida en relación con la capacidad del sistema de congelación. La predicción del tiempo de congelación puede basarse en métodos numéricos y en métodos experimentales (Rojas & Treguear, 2000).

Para monitorear el proceso de congelación en alimentos existe una curva de congelación que muestra la evolución de la temperatura con el tiempo durante este proceso. La figura 14 muestra la curva de congelación típica de un alimento.

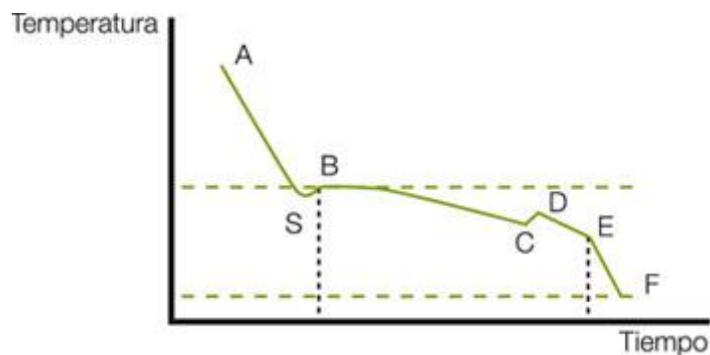


Figura 14. Curva de congelación típica de un alimento.

Fuente: Umaña Cerros, 2011.

Las etapas en las cuales se lleva a cabo el proceso de acuerdo con la figura 14 son seis y éstas se describen en la siguiente tabla:

Tabla 15. Descripción de las etapas en curva de congelación.

Etapas	Descripción
AS	El alimento se enfría por debajo de su punto de congelación. En el punto S, al que corresponde una temperatura inferior al punto de congelación, el agua permanece en estado líquido.
SB	En este punto, la temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación. Cabe mencionar que, el proceso de formación de cristales de hielo conlleva a liberar calor latente de congelación a una velocidad superior a la que se extrae del alimento.
BC	Eliminación de calor latente con la formación de hielo permaneciendo a temperatura prácticamente constante. Aquí, el incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada provoca el descenso del punto de congelación, por lo que la temperatura disminuye ligeramente.
CD	Es aquí donde uno de los solutos alcanza la sobresaturación y cristaliza. Al liberarse calor latente, la temperatura aumenta hasta la temperatura del soluto.
DE	La cristalización tanto del agua como de los solutos continúa.
EF	Descenso de temperatura de mezcla de agua y hielo.

Fuente: Umaña Cerros, 2011.

6.3.2 Funcionamiento de una cámara para almacenamiento a temperatura de congelación.

Una cámara de congelación es un recinto donde se almacena mercancía a una temperatura inferior a los 0 °C. Con este nivel térmico, la mercancía se congela y mantiene sus cualidades durante un tiempo prolongado, de ahí que sean especialmente comunes en la industria de la alimentación (Mecalux, 2021), a nivel mundial, la temperatura a la cual se considera que existe congelación está graduada en -18°C (Universidad de Guanajuato, 2022).

A nivel constructivo, las cámaras de congelación y las frigoríficas deben estar construidas mediante un panel sándwich, que es el elemento aislante que evita el traspaso de temperatura con el exterior. La única diferencia se encuentra en el suelo: las cámaras de congelación deben aislar el suelo con el fin de evitar condensaciones, mientras que las cámaras frigoríficas no lo necesitan (Mecalux, 2021).

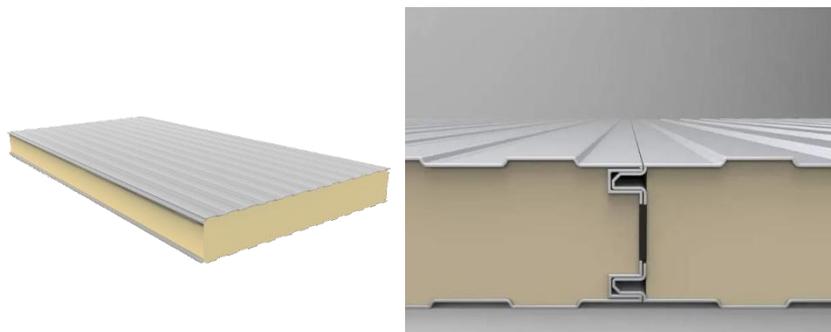


Figura 15. Panel aislante tipo sándwich para cámaras de congelación
Fuente: Mecalux, 2021.

Para las recepciones y expediciones, las cámaras de congelación suelen disponer de una precámara donde se realizan controles de calidad de los productos, estas cámaras también deben estar refrigeradas (Mecalux, 2021).

Es frecuente que estas cámaras cuenten con un SAS (*Security Airlock System*, sistema de seguridad de esclusa): dos puertas rápidas, una de ellas da a la cámara y la otra al exterior, que nunca están abiertas a la vez. La función de esta cámara es evitar cambios bruscos de temperatura, pérdidas de frío y condensaciones (formación de hielo) (Mecalux, 2021).

En una instalación no automática, los operarios, con la ayuda de carretillas elevadoras, depositan o extraen manualmente la mercancía de los sistemas de almacenaje. Las cámaras de congelación admiten cualquier sistema de almacenaje tradicional (Mecalux, 2021).



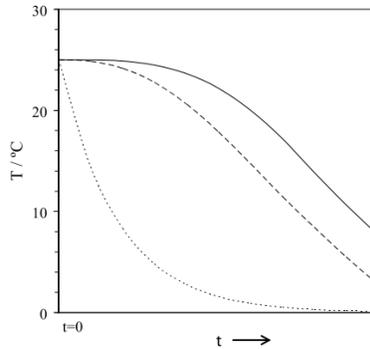
Figura 16. Interior de cámara de refrigeración previa a las cámaras de congelación. Foto: Hernández, 2022.

6.4 Congelación como método de conservación en panificación

La conservación de alimentos frescos es una de las primeras aplicaciones del frío artificial. A diferencia de otros procedimientos, la conservación por frío es el único método capaz de conseguir que el sabor natural, el olor y el aspecto de los productos alimenticios apenas se diferencien del natural (Mundo Hvacr, 2008). Las bajas temperaturas estabilizan los sistemas y disminuyen la velocidad de todos los procesos en general que deterioran la calidad de los alimentos (Mundo Hvacr, 2008).

Para que la conservación de los alimentos por el frío sea eficaz, deben respetarse tres aspectos básicos, tanto en el caso de productos refrigerados como productos congelados: partir de un producto sano y de calidad, aplicar el frío tan pronto como sea posible y mantener la acción del frío de forma constante y en el grado adecuado (Mundo Hvacr, 2013).

Para obtener el efecto conservador deseado, reducir reacciones no deseables y mantener en este estado el producto durante el almacenamiento, de manera que se reduzcan lo más posible las modificaciones físicas, químicas y microbiológicas, es indispensable determinar con exactitud los tratamientos anteriores a la congelación, la velocidad óptima de congelación, el tipo de embalaje, la temperatura de almacenamiento y la velocidad de descongelación (Rojas & Treguear, 2000).



—: Centro de la masa; - - -: punto entre la superficie y el centro; . . . : superficie de la masa.

Figura 17. Variación de la temperatura en la masa durante el proceso de enfriamiento

Fuente: Tadini & Ribotta, 2009

En la figura 17 puede observarse que el proceso de enfriamiento sucede de manera diversa en distintos puntos de la masa. Así, al definir la velocidad de enfriamiento (o de congelamiento) es necesario especificar a qué posición en la masa se refiere ese valor. El valor en el centro de la masa puede ser tomado como referencia, puesto que es donde el enfriamiento ocurrirá más lentamente. La velocidad de enfriamiento varía con el tamaño de la pieza de masa a ser enfriada (Tadini & Ribotta, 2009).

6.5 Efectos en la calidad de la masa congelada

Las masas congeladas son sistemas complejos más sensibles al cambio de los ingredientes y a las condiciones de proceso que los sistemas de elaboración de masas tradicionales. La congelación y el almacenamiento en estado congelado prolongado provocan pérdida en la calidad de los productos, hecho que se atribuye a la pérdida en la capacidad de retener gases de la masa (Tadini & Ribotta, 2009).

Este cambio se debe a una disminución de la fuerza de la masa y a la pérdida gradual de la actividad y la viabilidad de las levaduras. Las consecuencias de estos fenómenos son: mayores tiempos de fermentación, producción de panes con menor volumen y mayor deterioro de la textura final (Inoue y Bushuk, 1991).

Entre los factores que afectan la calidad durante la congelación están los siguientes:

- El desarrollo de microorganismos

El crecimiento de los microorganismos queda muy disminuido con temperatura decreciente, en la zona de temperatura que nos interesa. Debe destacarse, sin embargo, que muchos microorganismos no mueren ni a las temperaturas más bajas utilizadas por este sistema de conservación, por lo que comienzan de nuevo a multiplicarse en cuanto los alimentos vuelven a alcanzar temperaturas superiores. (Mundo Hvacr, 2008).

En los alimentos el desarrollo de microorganismos va a depender fundamentalmente de la carga microbiana inicial y de la temperatura (Altamirano-Tamez, 2014). Hongos y levaduras presentan un máximo desarrollo a 25-30°C y su crecimiento se inhibe a temperaturas inferiores a -10°C. Temperaturas debajo de 3.3°C reducen drásticamente el desarrollo microbiano, lo que supone un lento deterioro de la calidad del alimento y la anulación de los riesgos causados por el desarrollo de bacterias patógenas. (Lamúa, 2000).

La siguiente tabla muestra el efecto que tiene la temperatura sobre los microorganismos.

Tabla 16. Efecto de la temperatura sobre los microorganismos

Temperatura	Efecto
- 18°C	Temperatura mínima de congelación establecida por la NMX-F-605-NORMEX-2004, Manejo higiénico en el servicio de alimentos preparados para la obtención del distintivo H. Detención de multiplicación bacteriana.
- 10°C	Límite de crecimiento de levaduras y mohos
- 0.4 °C	Límite de crecimiento vegetativo de <i>Listeria monocytogenes</i>
3.3 °C	Límite de formación de toxina <i>Clostridium botulinum</i> tipo E.
5.2 °C	Límite de crecimiento vegetativo de <i>Salmonella spp</i>
6.5 °C	Límite de crecimiento vegetativo de <i>Clostridium perfringens</i>
6.7 °C	Límite de crecimiento vegetativo de <i>Staphylococcus spp</i>
10 °C	Límite de formación de toxina <i>Staphylococcus</i> y <i>Clostridium botulinum</i> tipo A y B.

Fuente: Altamirano-Tamez, 2014.

- Influencia de la humedad relativa durante el almacenamiento

La pérdida de peso por evaporación disminuye a medida que la humedad relativa del aire aumenta en el almacén; siendo proporcional a la diferencia entre las presiones parciales de vapor de agua en el aire y en la superficie del producto almacenado. Las pérdidas de peso pueden reducirse, básicamente, envasando los productos.



Figura 18. Piezas de masa cruda congelada protegidas de las corrientes de aire en congelación.

Foto: Hernández, 2022.

- Influencia de la circulación de aire

Por lo que se refiere a las pérdidas de peso, la evaporación del agua tiene lugar más rápidamente con circulación de aire. Por lo que en los procesos de refrigeración y congelación; la mayor pérdida de sustancias por unidad de tiempo queda suficientemente compensada, con el menor tiempo de refrigeración o congelación. Es útil, por ello, el empleo de altas velocidades de circulación de aire. (Mundo Hvacr, 2008).

- Debilitamiento del gluten.

El congelamiento provoca una caída en la consistencia y la elasticidad de la masa, lo que indica una pérdida gradual de su fuerza. El debilitamiento de la masa durante el almacenamiento en estado congelado y sucesivos ciclos de congelación y descongelación puede deberse a una pérdida del grado de entrecruzamiento de la red de gluten, causada ya sea por las sustancias reductoras liberadas por las

levaduras durante la congelación o por la acción mecánica de los cristales de hielo; o por una redistribución del agua (Mundo Hvacr, 2008).

La estructura del gluten y la integridad de las masas están sujetas a estrés físico durante la congelación y descongelación (Autio y Sinda, 1991). Mediante microscopía electrónica de barrido se pudo confirmar el efecto nocivo de la formación de cristales de hielo en masas no fermentadas y almacenadas en estado congelado (Tadini & Ribotta, 2009).

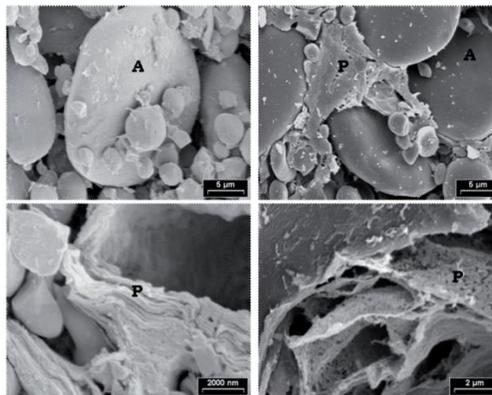


Figura 19. Micrografías de masa no congelada (izquierda) y congelada por 60 días (derecha). P: Red proteica. A: Gránulos de almidón. Fuente: Ribotta, 2002.

Las microfotografías en la figura 19 se observa que las masas congeladas durante 60 días mostraron una estructura dañada. Las hebras de gluten se presentaron más porosas y finas, y menos uniformes, también se pudieron observar pequeños trozos de material de color blanco que no están presentes en las masas no congeladas. Estas piezas de masa pueden ser parte de la red proteica que fue escindida por la acción mecánica de los cristales. De la misma forma, los gránulos de almidón presentaron daño en su superficie (Tadini & Ribotta, 2009).

Cuando la masa es descongelada y su temperatura supera 0 °C, los cristales de agua se funden, pero el agua no regresa a su estado original en la matriz de gluten. Esta deshidratación del gluten tiene efectos negativos sobre la estructura de la masa y la calidad de los productos horneados (Nicolas et al, 2003).

- Uso de aditivos

Existen distintos tipos de aditivos que se incorporan a las masas congeladas con el objetivo de contrarrestar los inconvenientes relacionados con la congelación de la masa. Cada uno de estos aditivos posee mecanismos de acción diferentes sobre la masa. La adición de gluten vital a masas relativamente débiles mejora el volumen y el grano de la miga de pan, y disminuye el tiempo de fermentación de masas congeladas (Wang y Ponte 1994).

Los emulgentes aniónicos, o emulsificantes, como el DATEM (mono y diglicéridos de ácido diacetil tartárico) y el SSL (estearoil lactilato de sodio), son usados como reforzadores de masas, ya que mejoran la tolerancia al amasado, la retención de gas y la resistencia al colapso de las masas. Se ha mostrado que la incorporación de estos emulgentes aumentó la resistencia de la masa y tuvo efectos positivos en los tiempos de fermentación y el volumen y la miga de pan obtenido de masas congeladas (Silvas-García et al., 2013).

La adición de hidrocoloides afectará la absorción de agua en la masa debido a que son altamente hidrofílicos (Linlaud et al., 2009). La goma xantana induce el

fortalecimiento de la masa, aumenta la absorción de agua y la capacidad de la masa para retener gas (Mandala et al., 2007), también aumenta el volumen específico del pan y la actividad de agua de la miga (Collar et al., 1999). La goma guar mejora la tolerancia al mezclado en productos panificados y la vida útil. La goma garrofín da como resultado un mayor rendimiento mejorando la textura final de los panes y aumenta la viscosidad en la masa (Maier et al., 1993).

7. ASPECTOS SENSORIALES DEL PAN

Lo más apreciado del pan dulce son sus atributos de calidad y sensoriales, por eso cuando se elabora se debe cuidar que esos aspectos lleguen al consumidor, muchas veces se adecua el proceso para hacer más eficiente la elaboración y el uso de aditivos mejorantes es una gran ayuda para reducir las variaciones y daños a la masa durante el proceso.

Según los resultados de la encuesta de hábitos de consumo de pan dulce de harina de trigo en México, se encontró que un 96.7% de las personas comen pan al menos una vez a la semana. Los principales motivos que llevan a su consumo son las características de sabor, textura, color y olor del pan, con un 53.7% de preferencia. Otro factor importante es la tradición y costumbre, representando un 14.3% de los encuestados. Además, que el 13.3% consume pan por antojo.

La encuesta también destacó que, en cuanto al lugar de adquisición del pan, un 33% de los encuestados prefieren un establecimiento cercano a su domicilio, y el

19.9% mencionó que prefieren un lugar donde lo puedan encontrar recién hecho y fresco (PROFECO, 2017).

Estos datos indican que el consumo del pan dulce está basado mayoritariamente en que sus características sensoriales sean óptimas al momento de consumo, de ahí la importancia de cuidar ese aspecto durante el proceso de producción de pan.

El *croissant* se puede describir como un producto en forma de cuarto creciente de luna elaborado con una masa hojaldrada fermentada que después de hornearse produce un pan cremoso con varias capas crujientes (Quiroz, 2018).



Figura 20. *Croissant* horneado.
Foto: Hernández, 2022.

7.1 Envejecimiento del pan.

El envejecimiento del pan es un proceso que involucra varios fenómenos fisicoquímicos complejos, este proceso comienza tan pronto como el producto está terminado y empieza a enfriarse. La velocidad con que ocurra depende de la formulación del producto, del proceso de panificación y de las condiciones de almacenamiento (Parkin et al., 2017).

Además del deterioro en la calidad del pan, el envejecimiento causa pérdidas económicas importantes ya que el pan al tener una vida de anaquel corta, si no es consumido y/o mantenido en condiciones que protejan su deterioro en ese periodo, representan mermas tanto para productores como para consumidores (Luna-Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011).

El envejecimiento de los productos de panadería se percibe por el incremento de la firmeza de la miga y la pérdida de la frescura (Parkin et al., 2017). Aunque las consecuencias del envejecimiento en la calidad del pan pueden detectarse con facilidad, sus causas son más complicadas, ya que involucran procesos como retrogradación del almidón, migración del agua, alteraciones en los compuestos del aroma y del sabor, interacciones gluten-almidón; que ocurren simultáneamente y se relacionan entre sí (Luna-Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011).

El aumento en la firmeza se explica principalmente por dos procesos simultáneos: la migración de agua desde la miga hacia la corteza, y la recristalización del almidón, fenómeno conocido como retrogradación (Serrano Fuster, 2016).

La retrogradación que ocurre en primera instancia, responsable del aumento de la dureza de la miga en las horas posteriores a la elaboración de las piezas de pan, está dada principalmente entre las moléculas de amilosa (insolubilización y la precipitación espontánea). Estas se orientan de forma paralela e interaccionan por puentes de hidrógeno a través de los hidroxilos presentes en sus cadenas lineales.

Estos cristales son estables, fundiendo únicamente a temperaturas superiores a los 150 °C, y son resistentes a la digestión enzimática (García-Alonso et al, 1998).

Una segunda retrogradación se da por la recristalización de las moléculas de amilopectina, mediante la asociación de las pequeñas cadenas laterales de las ramificaciones. Esto explica el aumento de la dureza que se presenta en la miga durante el almacenamiento del pan (García-Alonso et al, 1998).

Respecto a la interacción entre la retrogradación del almidón y la migración de agua, ya que, durante el almacenamiento, el agua contenida en el pan considerada como “humedad”, se cree que va migrando de la miga a la corteza, a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento (Doporto et al, 2011).

Esto se traduce en el endurecimiento de la miga del pan, a medida que se va secando, dándose una consecuente hidratación de la corteza de este. La incorporación de proteínas, como el gluten, que puedan captar mayor cantidad de agua, hace que disminuya la disponibilidad de esta para hidratar los gránulos de almidón, por lo que la recristalización de la amilopectina, responsable de la retrogradación del pan, sería menor (Luna-Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011).

El mejorante que se utiliza en el proceso de elaboración del croissant con masa congelada declara ser un mejorante completo en polvo para masas congeladas, y contener los siguientes ingredientes: Harina de trigo enriquecida (Niacina, Hierro reducido, Tiamina, Riboflavina y Ácido fólico), gluten de trigo, ésteres mixtos

acéticos y tartáricos de mono y diglicéridos de ácidos grasos, sulfato de calcio, goma guar, carbonato de calcio, ácido ascórbico y enzimas (PURATOS, 2018).

Con las siguientes recomendaciones de uso para masas que se someten a un proceso de enfriamiento: dosis de mejorante 2% a 5% sobre el peso de la harina. Con la siguiente recomendación de modo de empleo: Incorporar los ingredientes en el siguiente orden: agua, mejorante, harina y sal. A medio amasado, agregar la levadura.

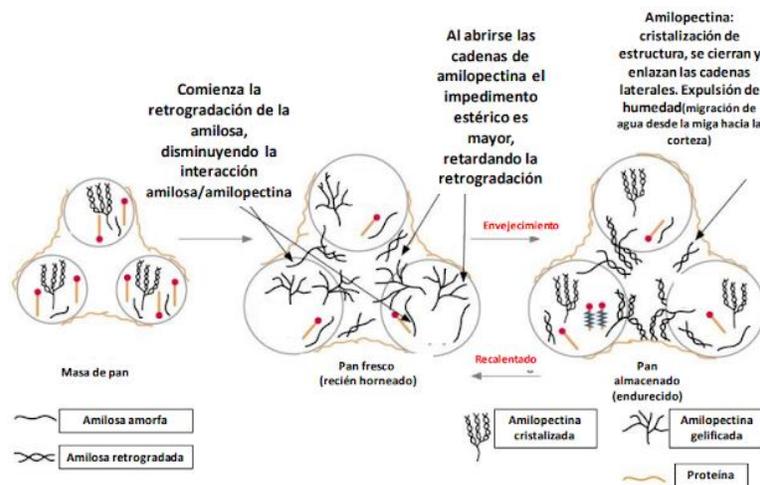


Figura 21. Esquema de retrogradación del almidón en el pan.

Fuente: Serrano Fuster, 2016.

En la parte del deterioro de sabor, el pan recién horneado tiene un sabor agradable y característico, el cual es debido a la presencia de compuestos volátiles formados durante la fermentación y el horneado. Dichos compuestos son alcoholes, aldehídos, diacetilos, cetonas y ésteres, principalmente (Shoemaker y Hosene, 2009).

El grado de descomposición de los azúcares, las proteínas y los lípidos de la masa determina el tipo de aroma que se produce en el pan envejecido (Shoemaker y Hoseney, 2009).

A medida que el pan envejece, los aromas se vuelven más intensos. El pan envejecido también pierde humedad, lo que hace que su textura sea más seca y crujiente (Aguilera y Gómez-Guillamón, 1996).

Algunos de los compuestos que se pueden encontrar en el pan cuando empieza a envejecer son:

- **Ácidos orgánicos:** Son producidos por la descomposición de los azúcares de la masa por las bacterias presentes en ella. Estos ácidos le dan al pan un aroma afrutado, similar al del vino o la cerveza. Algunos ejemplos de ácidos orgánicos que se encuentran en el pan son el ácido acético, el ácido láctico y el ácido butírico (Jones y Taylor, 1994).
- **Compuestos aromáticos:** Los compuestos aromáticos son producidos por la descomposición de las proteínas de la masa por las enzimas presentes en ella. Estos compuestos le dan al pan un aroma a frutos secos, similar al del pan tostado. Algunos ejemplos de compuestos aromáticos que se encuentran en el pan son el 2-acetil-1-pirrolidina, el 2-furfural y el 3-metil-2-furaneol (Jones y Taylor, 1994).

Aldehídos: Los aldehídos son producidos por la oxidación de los lípidos de la masa. Estos aldehídos le dan al pan un aroma a rancio, similar al del aceite rancio. Algunos

ejemplos de aldehídos que se encuentran en el pan son el hexanal, el octanal y el nonanal (Aguilera y Gómez-Guillamón, 1996).

Se han realizado un gran número de investigaciones con el fin de encontrar la forma de inhibir o retardar el envejecimiento, la mayoría de las cuales se han centrado en el uso de aditivos, entre los que se han estudiado están principalmente: enzimas, hidrocoloides, gluten, pentosanos, monoglicéridos y surfactantes. También se han probado tecnologías de panificación alternativas como el uso de masas congeladas y el horneado en dos etapas (Luna-Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011).

La retrogradación, junto con la migración de agua, son los dos fenómenos que más influyen en el envejecimiento del pan. Por eso la mayoría de los mejorantes tienen componentes orientados a intervenir en estos dos procesos una vez que el pan está horneado (Bowles, 1996).

8. SELECCIÓN DEL MEJORANTE

Sabiendo que el mejorante de pan es una mezcla de aditivos con funciones específicas, se debe seguir una serie de criterios para determinar cuál es el más adecuado. El esquema de la figura 22 se puede utilizar como guía.

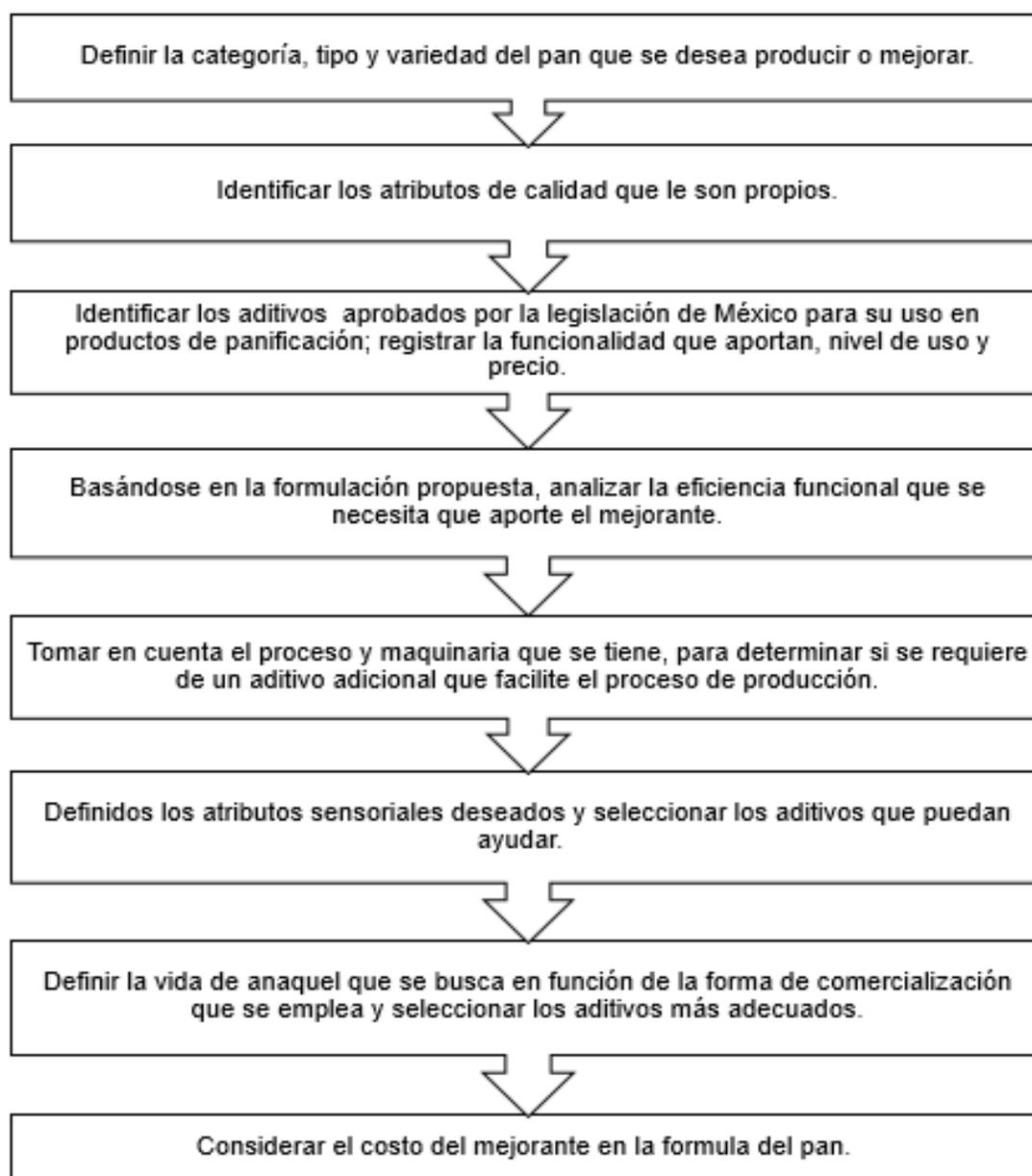


Figura 22. Criterios para selección de mejorante de pan
Fuente: Elaboración propia con información de Jiménez-Zavala, 2002.

Una vez considerados los criterios y a partir de la receta de *croissant* tradicional, mencionada en la tabla 2, se realizaron modificaciones en algunos ingredientes para adecuar la masa a las etapas del proceso industrial que requieren almacenamiento en congelación.

La incorporación del mejorante se realiza con base en la recomendación del fabricante, para masas congeladas es de 2 a 5% base harina, es decir, que la cantidad de mejorante que se añade se determina con la cantidad de harina, para esta receta la harina requerida es 500 g, entonces la cantidad de mejorante sería entre 10 g como mínimo y 25 g máximo.

Tabla 17. Receta de croissant con mejorante al 2%

Ingrediente	Cantidad (g)	% Panadero
Harina de trigo de alta proteína	500	100
Agua	165	33
Hielo	55	11
Azúcar refinada	70	14
Mantequilla (para masa)	25	5
Mantequilla (para laminar)	250	50
Huevo	50	10
Levadura	20	4
Sal refinada	10	2
Mejorante	10	2
Total	1155	231

Fuente: Elaboración propia con información de Kayser, 2015.

9. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA MASA

El amasado de los ingredientes se realiza de la misma manera que para la elaboración de productos frescos, luego se forman las piezas y posteriormente se congelan; la distribución se lleva a cabo en estado congelado. En los puntos de venta a medida que el producto se consume, se hace la descongelación, la fermentación de las piezas y el horneado (Luna-Fernández & Bárcenas-Pozos, 2011).

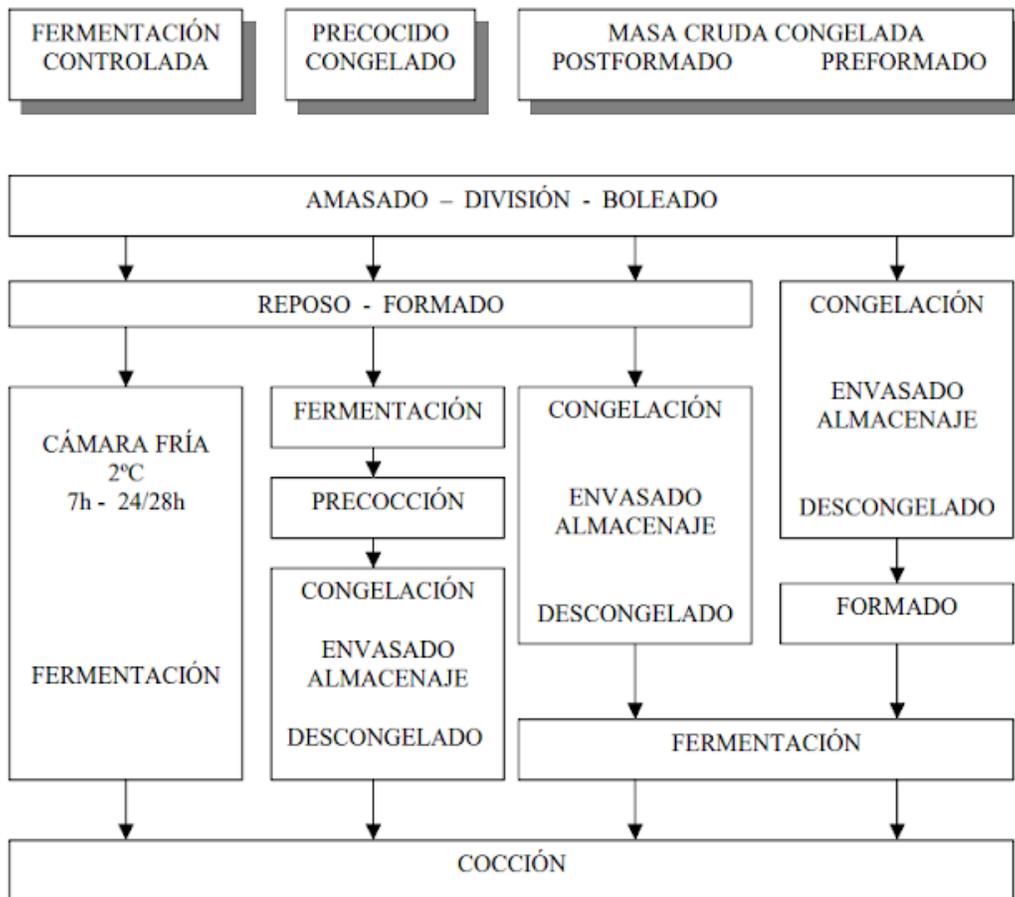


Figura 23. Diagramas de flujo comparativos de las tendencias actuales en panificación que conllevan aplicación de frío industrial. Fuente: Mesas y Alegre, 2002.

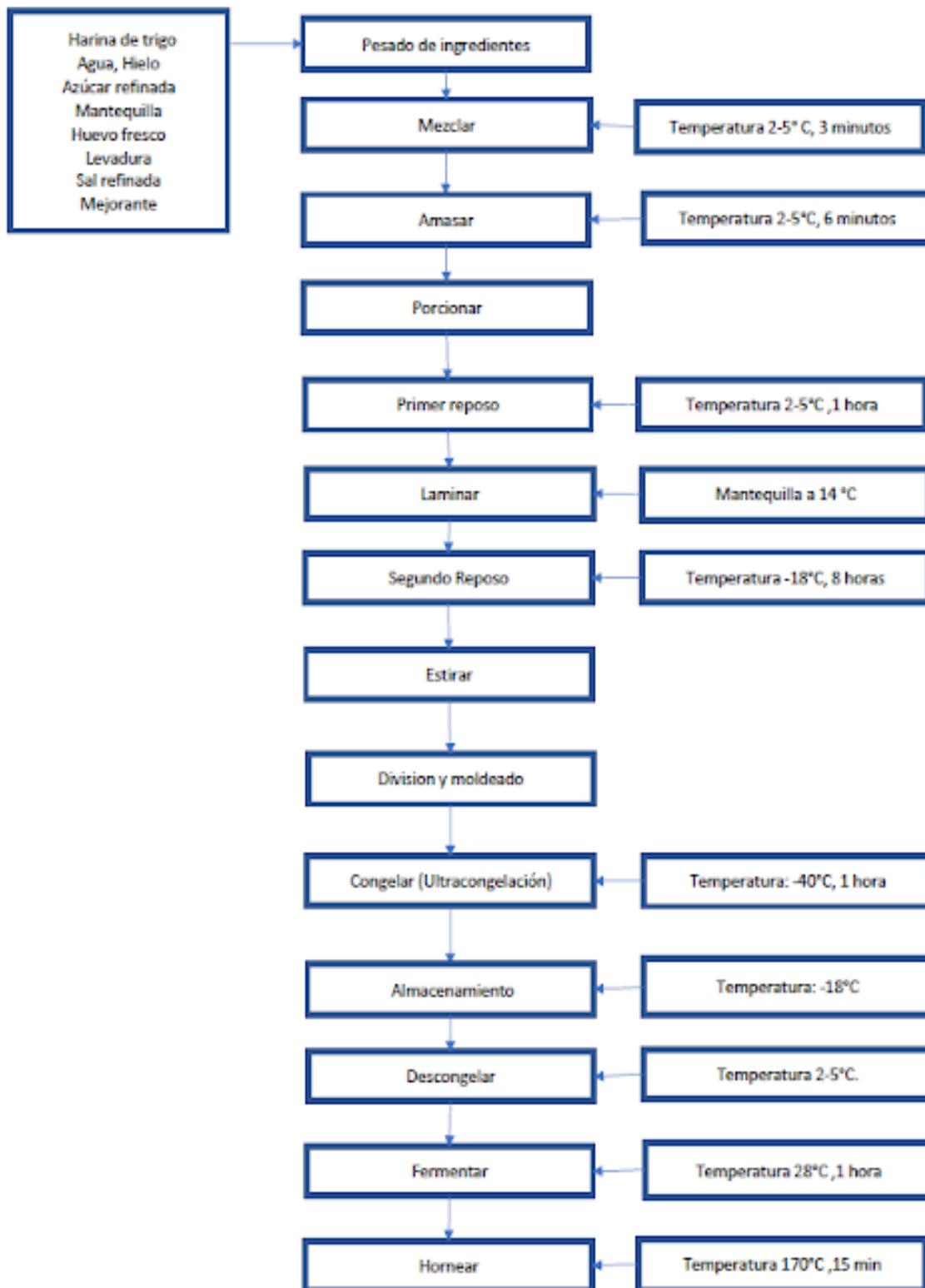


Figura 24. Diagrama de la elaboración de pan dulce tipo croissant
Fuente. Elaboración propia con información de Kayser, 2015 y Vergara, 2013.

9.1 Recepción de materia prima

Cada una de las materias primas que se utiliza en la preparación del pan dulce, debe cumplir con las especificaciones de calidad e inocuidad requeridas por parte del productor de pan. Y cada materia prima debe ser almacenada en condiciones adecuadas de acuerdo con la naturaleza del producto para mantenerla en buen estado hasta su uso.

Tabla 18. Requerimientos de almacenamiento en materias primas para elaboración de pan dulce.

Ingrediente	Tipo de empaque primario	Temperatura de almacenamiento
Harina de trigo	Saco de polipropileno	Ambiente
Azúcar refinada	Saco de polipropileno	Ambiente
Sal	Saco de polipropileno	Ambiente
Mejorante	Saco de papel kraft	Ambiente
Mantequilla sin sal	Bolsa de polipropileno	2°-5 °C
Levadura fresca	Papel parafinado	2°-5 °C
Huevo	Huevera de cartón o plástico	Ambiente o refrigeración de 2° a 5°C
Agua potable purificada	Garrafón de plástico	Ambiente
Hielo	Contenedor de plástico	Congelación a -18°C

Fuente: Elaboración propia con información de los fabricantes de cada ingrediente.

9.2 Amasado

Los tiempos de amasado en este tipo de productos suelen ser más largos, debido a la inclusión de azúcar y grasa que dificultan la formación de la red de gluten (León, 2007).

El amasado se realiza en una amasadora industrial, en el proceso industrializado puede ocurrir que con el fin de hacer más eficiente el amasado, se incorporen todos los ingredientes, sin hacer una pausa para añadir al final la mantequilla. Se amasa por un tiempo de 3 minutos a velocidad 1 y después se amasa por 6 minutos más a velocidad 2.



Figura 25. Masa recién sacada de la batidora. Foto: Hernández, 2022.

La masa se retira de la máquina y se corta en porciones del tamaño deseado, luego se aplana ligeramente, se mantiene en reposo en temperatura de refrigeración por unas horas para después incorporar la otra parte de mantequilla. Durante el amasado las partículas de harina se hidratan lentamente. A su vez, y gracias al trabajo mecánico que se aplica durante el proceso, las partículas de gluten interaccionan entre sí y dan lugar a la formación de una red tridimensional, lo que

se traduce en una masa cohesiva, extensible y con capacidad de retener los gases producidos en la fermentación (León, 2007).

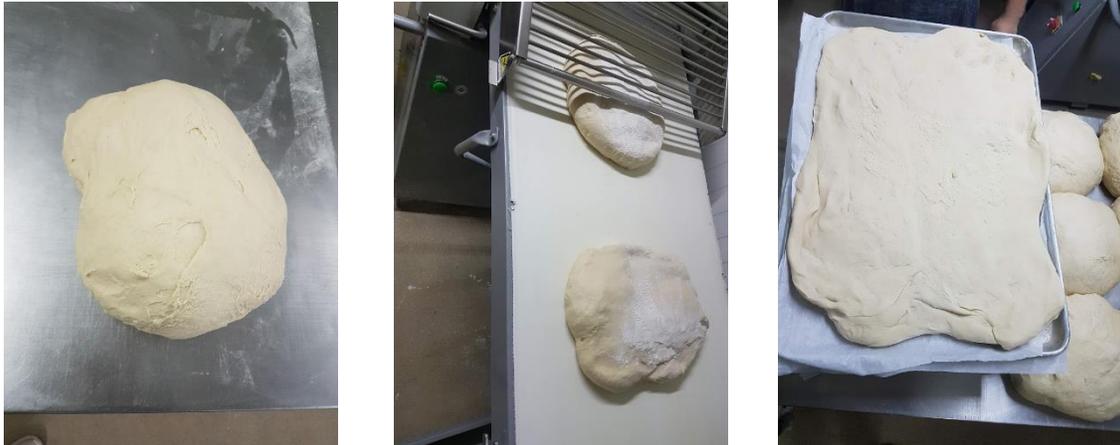


Figura 26. Masa porcionada (izq.), masa aplanada (centro) y masa extendida en charola (der). Foto: Hernández, 2022.

El almidón también se integra en la red de gluten, al igual que el resto de los componentes de la harina, mientras que los ingredientes solubles, como la sal o el azúcar, permanecen en solución. Cuando se han completado estos procesos debe detenerse el amasado ya que un exceso suele llevar consigo un debilitamiento de la red de gluten, una pérdida de elasticidad de las masas y una menor capacidad de retención de gases (León, 2007).

Para compensar la fricción generada por un mayor tiempo de amasado y para limitar la producción de gas antes de la congelación, la temperatura del agua debe ser baja y a veces será necesario adicionar hielo o escarcha de hielo para mantener la temperatura de la masa bajo control. El objetivo es obtener una temperatura de

masa final después del amasado entre 18° C a 20° C. También es posible, aunque no muy conveniente para grandes producciones, el mantener la temperatura de la harina lo más fría posible almacenándola en el congelador (Vergara, 2013).

También durante el amasado, las amilasas se activan y comienzan a actuar sobre el almidón dañado. Como resultado de esta acción se generan azúcares fermentables (mono y disacáridos) que, junto con los azúcares presentes en la masa, constituirán el sustrato para la acción de las levaduras (León, 2007).

Las levaduras transformarán estos azúcares en alcohol, óxido carbónico y otros compuestos menores que influyen en el aroma final del pan. En un primer momento el CO₂ formado permanece en solución acuosa, pero a medida que el agua se satura el CO₂ pasa al interior de las burbujas de aire formadas durante el amasado. Como resultado de este proceso la masa se expande y cambia sus propiedades físicas, facilitando el laminado y la formación de las piezas (León, 2007).

Sin embargo, la primera fermentación debe ser muy corta o simplemente evitarse. Ya que poca o ninguna actividad de fermentación sucederá debido a la temperatura fría de la masa, este paso es más un tiempo de reposo que relajará el gluten antes de dividir la masa (Vergara, 2013).



Figura 27. Primera fermentación de la masa durante amasado y etapa de reposo.
Foto: Hernández, 2022.

Para el primer reposo la temperatura que debe tener la cámara al introducir la masa debe ser de -8°C para lograr un efecto de choque que no permita reaccionar a la levadura (la levadura en una masa de pan empieza a reaccionar a partir de los 4°C), esta temperatura debe mantenerse hasta que el interior de la masa alcance los 2°C (Pedulla-Rodríguez, 2012).

9.3 Laminado para incorporación de grasa

Durante el proceso de laminado, se realiza la mayor incorporación de grasa a la masa para lograr la forma característica de la masa danesa, que se podrá apreciar como capas en el *croissant*. La proporción de mantequilla que se incorpora para esta receta es de 21.6% respecto a la masa de acuerdo con la tabla 17.

Se debe tener en cuenta que su temperatura de fusión es relativamente baja (aproximadamente 30°C) por lo tanto la temperatura ideal de laminado ronda en torno de 10 a 14°C esta temperatura debe mantenerse durante todo el proceso de laminado.



Figura 28. Mantecilla aplanada. Foto: Hernández, 2022.

Físicamente, la mantecilla debe estar aplanada en forma de rectángulo con un tamaño, ancho y largo, similar al de la masa, para que facilite su colocación. Una vez colocada la mantecilla en la masa, se realiza una serie de dobleces y aplanados con una máquina llamada laminadora que se encarga de aplanar y extender la masa mediante rodillos, hasta el grosor deseado.



Figura 29. Laminadora industrial de masa. Foto: Hernández, 2022.

Durante esta etapa, la mantecilla se va incorporando a la masa hasta quedar en finas capas intercaladas, donde es casi imperceptible a simple vista. Al tacto la masa se percibe lisa, sin consistencia grasosa, y con una apariencia homogénea.

Cuando la masa ya tiene incorporada la mantequilla y ha sido laminada recibe el nombre de paño. Una vez que el paño está listo, se coloca en charolas dentro de un carrito, se cubre con bolsas de plástico y se mantiene en reposo en congelación, a -18°C , hasta su uso, con el fin de evitar el inicio de la fermentación y la pérdida de humedad en la masa por corrientes de aire dentro del congelador.



Figura 30. Proceso de incorporación de la mantequilla a la masa laminada.
Foto: Hernández, 2022.

9.4 Formación de la figura del pan

Los paños que se tenían en congelación se llevan al área de trabajo que se encuentra a temperatura de refrigeración, con esto la masa pasa por un aumento de temperatura que permite que sea manejable y se aplane una vez más en la laminadora para lograr el grosor deseado, que es de aproximadamente 4-5mm.



Figura 31. Detalle de la formación de capas en la masa laminada.
Foto: Hernández, 2022.

Y proceder con la división de la masa, la cual debe hacerse lo más rápidamente posible para evitar que la masa incremente su temperatura, lo que podría desencadenar la actividad de fermentación. En general, los divisores volumétricos de alta velocidad se utilizan en grandes producciones, y en ambientes de producción más pequeños se deben amasar lotes más pequeños de masa con el fin de procesarlos lo más rápidamente posible (Vergara, 2013).

Cuando la masa está terminada, el próximo paso es parar la fermentación lo más rápidamente posible para conservarla en buenas condiciones hasta su uso final. Mientras se están formando las piezas de manera manual se mantienen en el área de refrigeración, se colocan sobre charolas en un carrito, una vez terminado de procesar el lote se lleva a congelación.



Figura 32. Pieza de masa cruda con forma de croissant
Foto: Hernández, 2022.

9.5 Almacenamiento en congelación.

Las piezas de masa se introducen en una cámara de ultracongelación por el tiempo determinado de acuerdo con el tipo de producto y volumen, una vez congeladas, son inmediatamente empacadas, se llevan de la cámara de ultracongelación a una cámara a temperatura de congelación a -18°C .

El empaque es muy importante para proteger la masa de la deshidratación durante el almacenamiento a temperatura del congelador, donde el aire tiene un menor nivel de humedad relativa. Para evitar la pérdida de humedad, el material de empaque debe ser hermético, pero también flexible y resistente a la temperatura (Vergara, 2013). En este caso se emplea una bolsa de plástico, donde se colocan 30 piezas y se añade una etiqueta con los datos de identificación (Nombre del producto, lote, cantidad, fechas de elaboración y de caducidad).



Figura 33. Piezas de croissant almacenadas en congelación.
Foto: Hernández, 2022.

La temperatura de almacenamiento es, en general, de -18°C a -20°C . A esta temperatura, y si la ultracongelación se hace correctamente, las piezas empacadas de masa congelada pueden guardarse de dos semanas a seis meses, según el inventario, la rotación de existencias, el mercado (local o de exportación) y el tamaño de los congeladores de almacenamiento (Vergara, 2013).

9.6 Descongelación

Durante el proceso de descongelación, un nivel muy alto de humedad se condensa en la superficie de la masa. Por esta razón, la única forma de descongelar y fermentar la masa congelada es en bandejas, o en bandejas acanaladas para piezas más largas y delgadas (Vergara, 2013).

Se pueden utilizar tres métodos de descongelación para reactivar la fermentación de la masa:

- El primero consiste en retirar la masa del congelador y ponerla en bandejas con suficiente espacio para la fermentación final y la distribución del calor

durante el horneado. Estas bandejas se colocan directamente en el cuarto de fermentación ajustado a una temperatura máxima de 30 °C (85 °F). Este es un proceso rápido que puede ser bastante inconsistente. La temperatura en la superficie de la masa aumentará más rápidamente que en el núcleo. Como resultado, la levadura tenderá a ser más activa en la superficie en comparación con el núcleo, creando un pan con menor volumen y miga más densa en el centro (Vergara, 2013).

- El segundo proceso de descongelación consiste en descongelar la masa a temperatura ambiente y luego colocarla en la cámara de fermentación. Al igual que en la primera técnica, creará una gran cantidad de condensación y una mayor tasa de actividad de fermentación en la superficie de la masa (Vergara, 2013).
- La tercera técnica proporciona resultados mucho mejores. Después de colocar las piezas de masa congelada en bandejas, se descongelan en una cámara de fermentación controlada. La etapa inicial de descongelamiento ocurre a una temperatura baja, alrededor de 4° C que lentamente lleva el núcleo de la masa de -18° C a 0° C (Vergara, 2013).

Este método reduce la condensación en la superficie de la masa y garantiza una temperatura uniforme en todas partes. La segunda parte del proceso es pasar progresivamente a una temperatura cálida, para elevar la temperatura en el centro de la masa de 0° C a 25° C o más, hasta que la masa haya fermentado lo suficiente

y está lista para hornear. En este paso, la humedad debe usarse para asegurar la fermentación adecuada. Esta técnica crea una óptima calidad para producir panes a partir de masas congeladas (Vergara, 2013).

Si no está disponible una cámara de fermentación controlada en la panadería, una combinación de un cuarto frío y una cámara de fermentación normal lograrán los mismos resultados. Los carros de masa deben transferirse manualmente desde el cuarto frío a la cámara de fermentación en el momento oportuno (Vergara, 2013).

9.7 Fermentación

En este tipo de productos no es tan importante realizar fermentaciones largas ya que el sabor y el aroma final dependerá más de los ingredientes utilizados que de los aromas y sabores generados durante el proceso fermentativo (León, 2007).

La fermentación puede identificarse en tres etapas: la primera, durante el amasado; la segunda, es la más larga y es en donde se destina el tiempo y condiciones adecuadas para que ocurra; y la tercera es de corto tiempo finalizando durante el horneado (León, 2007). Como se mencionó en la parte del amasado, con el fin de evitar el inicio de la producción de gas, la primera fermentación debe ser muy corta o simplemente evitarse y, únicamente enfocarse en la segunda fermentación.

Una vez obtenido el volumen deseado del *croissant*, se realiza un barnizado con huevo batido que ayudará a otorgar brillo y color dorado que son atributos sensoriales deseados en la superficie del pan.

Durante la segunda etapa de fermentación se considera que las amilasas, glucosidasa y amiloglucosidasa, actúan sobre el almidón. Es donde se produce la mayor fermentación alcohólica, pero comienzan las otras complementarias como la butírica, la láctica y la acética (León, 2007).

La temperatura de fermentación es la que deberá alcanzar la cámara al finalizar el almacenamiento y oscila entre los 20°C y 28°C. El cambio de temperatura de almacenamiento a fermentación no debe ser brusco para así evitar que fermente solamente la parte exterior de la masa, sino que, debe ser paulatino para conseguir una fermentación por igual en toda la pieza. La humedad relativa de la cámara en esta etapa debe mantenerse entre 75% y 85% (Pedulla-Rodríguez, 2012).

En la tercera etapa, se finaliza la fermentación cuando el interior de la pieza de pan alcanza los 55°C porque a esta temperatura las células de levadura mueren. El tiempo de la última fermentación puede ser más o menos rápido según penetre el calor al introducir los panes al horno ya que dependerá del tamaño y forma de cada uno (León, 2007).



Figura 34. Croissant fermentado y barnizado con huevo.
Foto: Hernández, 2022.

9.8 Horneado.

Las condiciones de horneado dependerán de la formulación, del tamaño de las piezas, de su consistencia y del tipo de producto. Lo más habitual es hornear entre 180 y 235 °C. El tiempo de cocción también es muy variable y va desde 15 a 45 minutos (León, 2007).

En general las piezas de mayor tamaño y las más redondeadas requieren menores temperaturas de horneado y tiempos más prolongados. Así mismo aquellas masas más consistentes, en las que la penetración del calor sea más lenta, también necesitan horneados más lentos (León, 2007).

Otro factor que se debe considerar es la presencia de vapor de agua en el horno al comienzo de la cocción. Este vapor de agua condensa sobre la superficie de las piezas que se introducen en el horno, retrasando el secado de la superficie y ralentizando algunas de las reacciones que se producen en el horneado. Como

consecuencia las piezas presentan una corteza más fina y crujiente, de aspecto más brillante (León, 2007).

Durante el enfriamiento la amilosa retrograda y termina de formarse y estabilizarse la miga, lo que permite cortar las piezas adecuadamente. La miga de las piezas recién horneadas es demasiado gomosa y pegajosa y no se puede cortar limpiamente (León, 2007).



Figura 35. Miga del croissant horneado. Foto: Hernández, 2022.

Durante el horneado se evapora la humedad presente en la superficie de la masa, provocando un desplazamiento de la humedad del interior al exterior. Los fenómenos de evaporación de agua hacen que la temperatura de la masa no suba de 100 °C.

Sin embargo, cuando no llega suficiente humedad al exterior, la temperatura en esta parte de la masa se incrementa, la superficie de las piezas se seca y empieza a formarse la corteza impermeable. Por último, el incremento de la temperatura posibilita las reacciones de Maillard entre azúcares y aminoácidos y el consiguiente oscurecimiento de la corteza (León, 2007).

9.9 Punto de venta

Una vez horneado el pan se deja enfriar lo suficiente para poder manipularlo y empacarlo para su distribución a los puntos de venta. El empaque y embalaje se realiza en contenedores que permitan la circulación del aire y protejan el pan, se coloca papel encerado en la base de la caja, para no tener contacto directo con la superficie del contenedor, apilando las cajas. Una vez en el punto de venta se coloca el pan en la vitrina para su venta inmediata.

Si se hornea directamente en el punto de venta, este lugar también debe estar mejor equipado, con un congelador de almacenamiento, accesorios para el horneado como bandejas, un cuarto frío y un cuarto de fermentación o cámara controlada (Vergara, 2013).

Una vez enfriado el pan se coloca directamente en el lugar de exhibición, donde se mantiene a temperatura ambiente con un tiempo de vida de anaquel, sugerido, de máximo 48 horas para mantener las propiedades sensoriales del pan.

10. CONCLUSIONES

- La selección efectiva de aditivos en un mejorante, enfocado a masas congeladas, es esencial para contrarrestar los daños que se puedan causar en la masa durante su almacenamiento.
- El uso de mejorante para elaborar croissant permite mantener una calidad esperada, en especial en textura y volumen, en el producto final, eliminando así los inconvenientes surgidos de la congelación de la masa antes de la fermentación. Esta solución permite mejorar el proceso industrial que utiliza masa congelada, a la vez que contribuye a mantener la calidad y durabilidad del croissant.
- La composición de los mejorantes de pan depende del objetivo para el producto de panificación, cada uno de los aditivos que lo conforman debe atender una necesidad definida para el producto y/o el proceso de elaboración.
- La incorporación correcta del mejorante como un ingrediente más en la masa, ayuda a que cada aditivo desempeñe su función en la etapa del proceso que le corresponde, en conjunto, cubren un amplio rango de acciones que contribuyen a la calidad y durabilidad del producto, desde fortalecer la harina hasta prolongar la vida útil del pan una vez horneado.
- El uso de congelación como método de conservación y almacenamiento resulta muy útil en la elaboración de pan, dado que disminuye tiempos de proceso, requiere menor espacio de almacenamiento y aumenta la disponibilidad del producto fresco. Siempre que se realice con las

condiciones adecuadas de temperaturas y protección de la masa cruda, por lo que se recomienda usar un mejorante adecuado.

Glosario

Aditivo: Cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características. Esta definición no incluye "contaminantes" o sustancias añadidas al alimento para mantener o mejorar las cualidades nutricionales

Agente oxidante: Sustancia o mezcla de sustancias que por proceso de oxidación condiciona o mantiene determinadas características en algunos ingredientes de los productos y que también puede emplearse como blanqueador.

Agente reductor: Es un tipo de acondicionador de masa usado para reducir el tiempo de mezclado y mejorar la extensibilidad.

BPF: Buenas prácticas de fabricación. Son los principios básicos y prácticas generales de higiene en la manipulación, preparación, elaboración, envasado, almacenamiento, transporte y distribución de alimentos para consumo humano, con el objeto de garantizar que los productos son inocuos para la población.

Congelación: Tratamiento mediante frío destinado a la conservación de un alimento o producto perecedero cuya temperatura debe alcanzar lo más rápidamente posible de -10 a -18 °C. La rapidez de la cristalización del agua

contenida en el alimento interrumpe la evolución microbiana y permite preservar sus cualidades organolépticas y nutricionales. Mientras que la ultracongelación es un método industrial de conservación regido por decreto, la congelación se efectúa esencialmente a nivel doméstico y es un método fácil y seguro (si no se rompe la cadena de frío).

Croissant: pan en forma de cuarto creciente de luna (aunque últimamente presentan una forma alargada, similar a un bigote) elaborado con una masa hojaldrada fermentada que después de hornearse produce un pan cremoso con varias capas crujientes.

DATEM: Ésteres de mono y diglicéridos de ácido acetil tartárico. Es un emulsificante cuya función principal es reforzar la masa y aumentar la retención del dióxido de carbono durante la fermentación.

Enzima: Sustancia proteica producida por células vivas que catalizan reacciones específicas en diversos procesos de elaboración de productos. En panadería, ayudan a acelerar las reacciones en las masas o hacer que las reacciones tengan lugar y que de otro modo no se darían.

Emulsificante: Sustancia o mezcla de sustancias que mantiene homogéneos a los productos constituidos por dos o más fases inmiscibles, impidiendo su separación. En panificación se utilizan, incluida la Lecitina natural, una amplia variedad de químicos anfífilos que son solubles en bajas concentraciones en aceite y en agua.

Mejorante: Sustancia que se utiliza en panificación para mejorar diversas cualidades de la masa.

Pan dulce: Producto de panificación constituido por harina, agua, huevo, azúcares, grasas o aceites comestibles o aceites hidrogenados, levaduras, adicionada o no de aditivos para alimentos, frutas en cualquiera de sus presentaciones, sal y leche; amasado, fermentado, moldeado y cocido al horno o por fritura en grasas o aceites comestibles.

Productos de panificación: Son los obtenidos de las mezclas de harinas de cereales o harinas integrales o leguminosas, agua potable, fermentados o no, pueden contener: sal comestible, mantequilla, margarina, aceites comestibles hidrogenados o no, leudante, polvo de hornear, especias y otros ingredientes opcionales tales como, azúcares, mieles, frutas, jugos u otros productos comestibles similares, pueden emplear o no aditivos para alimentos; sometidos a proceso de horneado, cocción o fritura; con o sin relleno o con cobertura, pueden ser mantenidos a temperatura ambiente, en refrigeración o en congelación según el caso.

Productos de panadería industrial: Son los obtenidos por procesos continuos de fabricación, estandarizados, con alto grado de automatización y en lotes de mayor escala. Pueden utilizar aditivos para alimentos y comercializarse tanto a granel como preenvasados.

Productos de panadería tradicional, a los obtenidos por un proceso artesanal, básicamente manual, de formas variadas y nombres de uso común con una vida útil corta. Utilizan ocasionalmente aditivos para alimentos de acuerdo con el producto y se venden a granel o preenvasados.

Refrigeración: Es el método de conservación físico con el cual se mantiene el producto a una temperatura máxima de 7°C (280 °K).

Ultracongelación: Procedimiento de conservación en el curso del cual el descenso de la temperatura de un alimento (ya enfriado), rápido e intenso (hasta -50 °C), permite obtener, en el centro del producto, una temperatura inferior a -18 °C, sin cristalización importante. La ultracongelación, practicada sólo a escala industrial, sólo afecta a productos de estructura celular frágil.

Anexo 1

Especificaciones sanitarias del producto terminado (agua para consumo humano).

Límites máximos permisibles del agua para consumo humano.

Organolépticas y físicas

ESPECIFICACIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Color	15 (Pt/Co)
Turbiedad	3,0 (UNT)

Microbiológicas

ESPECIFICACIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE		
	(NMP/100 mL)	UFC/100 mL	Organismos/100 mL
Coliformes Totales	<1,1	CERO	Ausencia
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (2)	<1,1	CERO	No aplica
Enterococos fecales (3)	<1,1	CERO	Ausencia
Esporas de <i>Clostridium</i> sulfito reductores (2,3)	<1,1	CERO	No aplica

(1) La unidad a informar será de acuerdo con el método utilizado.

(2) Especificaciones sólo para agua mineral natural.

(3) La autoridad sanitaria establecerá los casos en que se realizará la determinación de estas especificaciones.

Desinfectantes.

ESPECIFICACIÓN.	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/L).
Cloro residual libre.	0,1

Subproductos de desinfección.

DESINFECTANTE UTILIZADO.	ESPECIFICACIÓN.	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/L).
Cloro	Formaldehído.	0,9
	Bromodiclorometano.	0,06
	Bromoformo.	0,1
	Dibromoclorometano.	0,1
	Cloroformo.	0,2
Ozono	Formaldehído.	0,9
	Bromato.	0,01

Metales, metaloides y compuestos inorgánicos.

ESPECIFICACIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/L)
Antimonio.	0,005
Arsénico.	0,01
Bario.	0,70
Borato como B.	5,00
Cadmio.	0,003
Cromo total.	0,05
Cobre.	1,00
Cianuro.	0,07
Fluoruros como F ⁻ .	0,70 (5) 2,0 (6)
Manganeso.	0,40
Mercurio.	0,001
Níquel.	0,02
Nitrógeno de nitratos.	10,00
Nitrógeno de nitritos.	0,06
Plomo.	0,01
Selenio.	0,01

(5) No aplica para aguas minerales naturales.

(6) Aplica para aguas minerales naturales, ver apartado de Etiquetado.

Compuestos orgánicos sintéticos.

ESPECIFICACIÓN.	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (mg/L).
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles fijos.	0,0005
Compuestos orgánicos no halogenados.	0,01
Compuestos orgánicos halogenados adsorbibles purgables.	0,001
Carbono Orgánico Purgable	0,01
Sustancias activas al azul de metileno	0,5

Anexo 2

Lista de aditivos y coadyuvantes permitidos en la elaboración de productos de panificación en México de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 247-SSA1-2008 Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

- **Acentuadores de sabor**

Aditivos	Límite máximo mg/kg de producto
Ácido glutámico	BPF
Cloruro de potasio	BPF
Cloruro de sodio	BPF
Etilmaltol	100
Extracto de levadura de <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	BPF
Glutamato de calcio	BPF
Glutamato de magnesio	BPF
Glutamato monoamónico	BPF
Glutamato monopotásico	BPF
Glutamato monosódico	BPF
Guanilato disódico	BPF
Inosinato disódico	BPF
Maltodextrinas	BPF
Sacarosa	BPF

- **Acondicionadores de masa**

Aditivos	Límite máximo mg/kg de producto
ácido ascórbico y sus sales de sodio y calcio	BPF
Carbonato de calcio	BPF
Cloruro de amonio	BPF
Dióxido de silicio	BPF
Fumarato de calcio	BPF
Fumarato de potasio	BPF
Fumarato de sodio	BPF
Lactato de sodio o calcio	BPF
Metabisulfito de sodio	50
Mono y diglicéridos de ácidos grasos	BPF
óxido de calcio	BPF
Sulfato de calcio	13
Triacetina	BPF

- **Antioxidantes**

Aditivos	Límite máximo mg/kg de grasa
Ácido ascórbico	BPF
Ácido fosfórico	BPF
Ácido isoascórbico	BPF
Alfa-tocoferol	BPF
Ascorbato de potasio	BPF
Ascorbato de sodio	BPF
Bisulfito de sodio	50
Butilhidroxianisol (BHA)	200
Butilhidroxitolueno (BHT)	200
Galato de propilo	100* 200**
Isoascorbato de sodio	BPF
Lecitina	BPF
Metabisulfito de sodio o potasio	50
Oleoresina de paprika	BPF
Palitato de Ascorbilo	BPF
Sulfito de potasio o sodio	BPF
Terbutilhidroquinona (TBHQ)	BPF
Tiosulfato de sodio	BPF
Tocoferoles mezclados	BPF

*Panadería
**Pastelería fina

ordinaria

- **Colorantes**

Aditivos	Límite máximo mg/kg de producto
Amarillo 2G Amarillo alimentos 5 No. C.I. 18965*	100
Amarillo ocaso FCF Amarillo alimentos 3 No. C.I. 15985*	300
Amarillo alimentos 4 Tartrazina No. C.I. 19140*	100
Azul brillante FCF Azul alimentos 2 y sus lacas No. C.I. 42090*	500 (sólo decoraciones)
Betacaroteno Anaranjado alimentos 5 No. C.I. 40800	BPF
Cantaxantina Anaranjado alimentos 8 No. C.I. 40850	BPF
Caramelo Clases I, II y III	BPF
Caramelo clase IV	1200
Carotenos naturales Anaranjado alimentos 5 No. C.I. 75130	1000
Clorofilas Verde natural 3 No. C.I. 75810	BPF
Cúrcumina No. C.I. 75300	BPF
Dióxido de titanio Pigmento blanco 6 No. C.I. 77891	10 000**

Aditivos (Continuación)	Límite máximo mg/kg de producto
Eritrosina Rojo alimentos 14 No. C.I. 45430*	100
Extracto de annato (Extracto de semillas de <i>Bixa orellana</i>) Anaranjado natural 4 No. C.I. 75120	10
Extracto de cochinilla Rojo natural 4 No. C.I. 75120	10
Extracto de cochinilla Rojo natural 4 No. C.I. 75470	200
Extracto de tegumento de uva No. C.I N. R	100
Indigotina Azul alimentos 1 y sus lacas No. C.I. 73015*	300
Óxido de hierro amarillo No. C.I. 77492	75
Óxido de hierro rojo No. C.I. 77491	75
Óxido de hierro negro No. C.I. 77499	75
Ponceau 4R Rojo cochinilla A Rojo alimentos 7 No. C.I. 16255	50
Riboflavina	300 (panadería) 1000 (decoraciones)
Rojo allura AC Rojo alimentos 17 No. C.I. 16035*	300

Aditivos (Continuación)	Límite máximo mg/kg de producto
Rojo betabel o rojo remolacha	BPF
β -apo-8-carotenal Anaranjado alimentos 6 No. C.I. 40820	30
Verde rápido F.C.F. Verde alimentos 3 No. C.I. 42053	100*

Se pueden utilizar las lascas de aluminio de los colores sintéticos antes mencionados, en una concentración de uso que no exceda la concentración permitida del colorante de que proceda.

*Cuando se utilicen mezclas de colorantes artificiales la suma de éstos no debe exceder de 500 mg/kg de producto, respetando la concentración máxima de uso para cada uno de ellos.

** Uso exclusivamente en productos de panificación con cobertura y relleno cremoso.

- **Conservadores**

Aditivos	Límite máximo mg/kg de producto
Ácido benzoico y sus sales de sodio	100 solo o combinado con otro conservador permitido
Ácido propiónico y sus sales de sodio o calcio	BPF
Ácido sórbico y sus sales de sodio y potasio	100 solo o combinado con otro conservador permitido
Diacetato de sodio	BPF
Eritorbato de sodio	BPF
Propil parabeno	100 solo o combinado con otro conservador permitido
Sorbato de calcio	1000
Sorbato de potasio	1000
Sorbato de sodio	1000

*Cuando se utilicen mezclas de conservadores la suma de estos no deberá exceder el límite máximo del conservador de mayor concentración.

- **Emulsivos, estabilizadores, espesantes y gelificantes**

Aditivos	Límite máximo
Agar	BPF
Alginato de amonio, calcio, potasio y sodio	BPF
Almidones modificados	BPF
Carboximetil celulosa de sodio	BPF
Carboximetilcelulosa	BPF
Carragenatos de calcio, potasio o sodio	BPF
Carragenina	BPF
Celulosa microcristalina	BPF
Cera de carnauba	BPF
Dextrinas	BPF
Estearoil 2-lactilato de sodio o calcio	5000 mg/kg de harina
Ésteres acéticos de los mono y diglicéridos de los ácidos grasos	BPF
Ésteres acéticos y de ácidos grasos del glicerol	BPF
Ésteres cítricos de los mono y diglicéridos de los ácidos grasos	BPF
Ésteres de ácido diacetil tartárico	BPF
Ésteres de poliglicerol de ácidos grasos	10000 mg/kg de harina solo o combinado con otro éster
Ésteres de propilenglicol de ácidos grasos	3750 mg/kg de harina
Ésteres de sacarosa	3750 mg/kg de producto
Ésteres del ácido láctico de ácidos grasos	BPF

Aditivos (continuación)	Límite máximo
Ésteres lácticos y de ácidos grasos del glicerol	BPF
Fosfato de aluminio y sodio	1 g/kg de harina
Fosfato de sodio	BPF
Goma Arábica	BPF
Goma de Algarrobo	BPF
Goma Guar	BPF
Goma Karaya	BPF
Goma laca	BPF
Goma Tragacanto	BPF
Goma Xantano	BPF
Grenetina	BPF
Hidroxipropil metil celulosa	BPF
Lecitina	BPF
Maltodextrinas	BPF
Metil celulosa	BPF
Metil etil celulosa	BPF
Mono y diglicéridos de los ácidos grasos	BPF
Monoestearato de Glicerilo	BPF
Monoestearato de sorbitán	6100 mg/kg de harina
Monoglicéridos acetilados	BPF
Monoglicéridos succinilados	5 g/kg de harina
Monopalmitato de glicerilo	BPF
Pectinas	BPF
Polisorbato 60**	3,000 sólo para decorados

Aditivos (continuación)	Límite máximo
Polisorbato 65**	3,000 sólo para decorados
Polisorbato 80**	3,000 sólo para decorados
Sales de amonio de ácido fosfatídico	BPF
Triestearato de sorbitán	10 000 mg/kg de harina
Tripolifosfato de sodio	BPF

** Cuando se utilicen mezclas de polisorbatos, la suma de éstos no debe exceder 1%, respetando la concentración máxima de uso para cada uno de ellos.

- **Gasificantes o polvos para hornear**

Aditivos	Límite máximo mg/kg de harina
Ácido tartárico	BPF
Bicarbonato de amonio	BPF
Bicarbonato de potasio	BPF
Bicarbonato de sodio	BPF
Carbonato de sodio, amonio o potasio	BPF
Fosfato monobásico de calcio	5000
Pirofosfato ácido de sodio	2500
Sulfato doble de aluminio y sodio	BPF
Tartrato ácido de potasio	2500

- **Humectantes**

Aditivos	Límite máximo
Alginato de propilenglicol	5000 mg/kg de producto
Glicerina	BPF
Propilenglicol	5000 mg/kg de producto
Sorbitol*	300 g/kg de producto

*Su uso está limitado a dicha concentración tanto como humectante como edulcorante. La etiqueta del producto que contenga este aditivo alimentario se ajustará a lo establecido en la NOM-086-SSA-1994 o la que la sustituya.

- **Leudante**

Aditivos	Límite máximo
Levadura	BPF

- **Reguladores de pH**

Aditivos	Límite máximo
Acetato de sodio	70 mg/kg de producto
Ácido acético	BPF
Ácido cítrico	BPF
Ácido clorhídrico	BPF
Ácido fumárico y sus sales de sodio o potasio	BPF
Ácido láctico	BPF
Ácido málico	BPF
Carbonato de amonio	BPF
Carbonato de calcio	BPF
Citrato de sodio o potasio	BPF
Citrato dihidrogenado de sodio	BPF
Fosfato diamónico	9300 mg/kg de producto
Fosfato dibásico de calcio	2500 mg/kg de harina
Fosfato dibásico de sodio	2500 mg/kg de harina
Fosfato hidrogenado diamónico	9300 mg/kg de producto
Fosfato tricálcico	5 mg/kg de producto
Hidróxido de calcio	BPF

Aditivos (continuación)	Límite máximo
Hidróxido de sodio	BPF
Lactato de amonio	BPF
Lactato de sodio o calcio	PBF

- **Antiaglutinantes**

Aditivos	Límite máximo
Óxido de magnesio	BPF
Silicato de calcio	BPF
Silicato de aluminio	BPF
Silicato de aluminio y calcio	BPF
Silicato de magnesio	BPF
Silicato de sodio	BPF
Silicato de sodio y magnesio	BPF
Talco	BPF

- **Gases de envasado**

Aditivos	Límite máximo
Propano	BPF

- **Saborizantes y aromatizantes**

En la elaboración de los productos objeto de este apartado (productos de panificación), se permite el empleo de los saborizantes o aromatizantes establecidos en el Acuerdo (Acuerdo por el que se determinan las sustancias permitidas como aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios y sus modificaciones).

Referencias

- Aguilera, J. M., & Gómez-Guillamón, M. A. (1996). *Chemical and sensory changes in bread during storage*. Food Science and Technology International, 2(2), 139-147
- Al-Ani, M. A. R., & MacKenzie, A. P. (2007). *The nature of bound water in food systems: A review*. Food Research International, 40(9), 1027-1039.
- Alasino, M. C., Osella, C. A., De la Torre, M. A., & Sánchez, H. D. (2011). Efecto de oxidantes y emulsionantes en la calidad del pan elaborado con incorporación de harina de arvejas (*Pisum sativum*) inactivadas enzimáticamente. *Información tecnológica*, 22(1), 41-50. 10.4067/S0718-07642011000100006
- Alasino, N. M. (2009). Influencia de oxidantes y reductores en la masa de panificación. Biblioteca Virtual. Recuperado el 15 de enero de 2022 de <https://bilbiotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/114/tesis.pdf>
- Alien, W. (1999). Alternative oxidants as dough conditioners. *Cereal Foods World*. 44,642-649.
- Almeida, J.M.L.M., de Souza, M.S., & Almeida, M.L.M. (2011). *The microbiology and biochemistry of sourdough breadmaking*. Journal of Food Science and Technology, 48(1), 167-172.
- Altamirano-Tamez, C. I. (2014). *Refrigeración y congelación como prerrequisito para la implementación del sistema HACCP*. Recuperado el 15 de mayo de 2022, de <http://132.248.9.195/ptd2014/marzo/0710917/Index.html>
- Álvarez, L. (2021, 10 02). *Proteínas del grano de trigo: gliadinas y gluteninas*. Proteínas del grano: gliadinas y gluteninas. Recuperado el 18 de marzo de 2022, de https://members.tripod.com/lucrecia_alvarez/gliadinas%20y%20gluteninas.html
- Askeland, D. R. y Phulé, P. P. (2013) *Ciencia e ingeniería de materiales*. Sexta Edición. Cengage Learning.
- Ayala, M. L. (2018). *México: El Pan: Un placer en el paladar de las familias mexicanas*. América Retail. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://www.america-retail.com/mexico/mexico-el-pan-un-placer-en-el-paladar-de-las-familias-mexicanas/>
- Autio K., Sinda, E. (1992). *Frozen doughs: rheological changes and yeast viability*. Cereal Chemistry, 69: 409–413.
- Badui Dergal, S., López-Munguía Canales, A., González Saravia, A. F., Quirasco Baruch, M., Flores Argüello, I., & Badui Dergal, S. (2013). *Química de los alimentos* (G. López Ballesteros, Ed.). Pearson Educación.
- Baevre, A.B. (1999). *Skadd stivelse i hvetemel-målemetoder og betydning for ferdig produkt*. MATFORSK, Norwegian food research institute. InforMAT 2: 25 -- 27.
- Baker, C. K., & D'Appolonia, C. L. (1975). Effects of salt on gluten formation and bread quality. *Cereal Chemistry*, 52(6), 840-846.
- Bamforth, C. H. (2017). *Ciencia y tecnología del pan*. Acribia.
- Berk, Z. (2013) *Food process engineering and technology*. 2nd Edition. Academic Press.
- Berton B., Scher J., Villieras F., Hardy J. (2002). *Measurement of hydration capacity of wheat flour: Influence of composition and physical characteristics*. Powder Technology, 128: 326–331

- Barrera, G. N. (2014). *Efecto del almidón dañado sobre masas panarias y la calidad de los panificados*. Tesis de doctorado. Universidad de Córdoba. Recuperado el 31 de julio de 2023 de <https://core.ac.uk/reader/72040800>
- Borneo, R. (2011). *Panificación Método Directo*. Química, Ciencia y Tecnología de los Cereales. Recuperado el 29 de abril 2023, de <http://cytcereales.blogspot.com/2011/04/panificacion-metodo-directo.html>
- Brauwelt. (2021). *Einflüsse auf die Verkleisterungstemperatur von Braumalz - BRAUWELT*. Brauwelt. Recuperado el 13 de noviembre de 2022 de <https://brauwelt.com/de/themen/rohstoffe/643792-einfl%C3%BCsse-auf-die-verkleis%C2%ADterungstemperatur-von-braumalz>
- Bowles LK. 1996. Amylolytic enzymes. In Hebeda RE, Zobel HF (Eds.). *Baked goods freshness: Technology, evaluation and inhibition of staling*. New York, NY: Marcel Dekker. 105-129
- Calva-Rodríguez, K. I. (2008). *Panificación: Ingredientes, calidad y sus procesos*. Tesis de licenciatura. UNAM.
- Camacho Jurado, M. (2013). *Control integral para refrigeración comercial*. Tesis de licenciatura. UNAM
- Camire, M. E., & Smith, D. P. (2023). *Fundamentos de la ciencia de los alimentos*. Pearson Education.
- CANAINPA. (2020). *Breve historia del pan*. CANAINPA. Recuperado el 28 de enero de 2022, de <https://www.canainpa.com.mx/historia-del-pan/>
- Cauvain, S. P. (2001). The production of laminated bakery products. CCFRA Review No. 25, Campden BRI, Chipping Campden, UK.
- Cauvain, S. (2015) *Technology of Breadmaking*. Third Edition. Springer.
- Cerón-Muñoz, B. C. (2007). *Ácidos orgánicos S.A. de C.V. Levadura "La Florida" Sanidad y control de calidad*. Recuperado el 18 de marzo de 2022, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15706/C%C3%A9ron%20Mu%C3%B1oz%20Beatriz%20Carolina%20-%20Estancia%20Industrial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cheftel, J.-C., Besançon, P., & Cheftel, H. (1976). *Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos* (H. Cheftel, Ed.; F. López Capont, Trans.). Acribia.
- Collar C., Andreu P., Martínez J.C., Armero E. (1999). *Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: A response surface methodology study*. Food Hydrocolloids, 13: 467-475.
- Consejo Argentino Sobre Seguridad de Alimentos y Nutrición. (2020). *Masa madre, la "madre" de todas las masas*. Info Alimentos. Recuperado el 16 de febrero de 2022, de <https://infoalimentos.org.ar/temas/salud-y-alimentos/534-masa-madre-la-madre-de-todas-las-masas>
- Contrapeso ciudadano. (2019, July 2). *Consumo de pan en México, menor a lo recomendado por la OMS - Contrapeso*. Contrapeso Ciudadano. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://www.contrapesociudadano.com/consumo-de-pan-en-mexico-menor-a-lo-recomendado-por-la-oms/>
- Das Murtey, M., & Ramasamy, P. (2016). *File: Saccharomyces cerevisiae SEM.jpg*. Wikimedia Commons. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Saccharomyces_cerevisiae_SEM.jpg
- Dávila-Pérez, L. A., García-Ruíz, J. E., Herrera-Muñoz, S. I., Ramos-Álvarez, B., Ruíz-Cano, A. N., & Vilchis-Primerio, G. (2012). *El origen, métodos y técnicas en masas*

hojaldradas y laminadas. El origen métodos y técnicas en masas, lamiandas y hojaldradas.

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/23048/EL%20ORIGEN%2C%20M%C3%89TODOS%20Y%20T%C3%89CNICAS%20EN%20MASAS%20LAMINADAS%20Y%20HOJALDRADAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

De la Vega Ruiz, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. *Temas de ciencia y tecnología*, 13(38), 27-32. https://www.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf

De Vries, J.C.M., van der Wal, H.J.M., and van den Berg, J.H.M. (2005). *Effect of calcium on yeast fermentation*. *Journal of Cereal Science*, 41(2), 157-164.

DSM Food Specialities. (2018, octubre 18). *La necesidad de masa congelada en el mercado*. La necesidad de masa congelada en el mercado | DSM Food Specialties. Recuperado el 25 de enero de 2022, de https://www.dsm.com/food-specialties/es_ES/insights/baking/gopure-market-need-frozen-dough.html

Doporto, M.C.; Mugridge, A; Viña, S.Z. y García, M. A. 2011. *Harinas libres de gluten: propiedades fisicoquímicas que influyen en su estabilidad*. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos)- Facultad de Ciencias Exactas UNLP – CONICET. La Plata, Buenos Aires.

Ecured. (2017). Ecured. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de <https://www.ecured.cu/Archivo:Glutemina.jpg>

Erdal, P. (2020). *Enzimas que Mejoran la Calidad de la Harina*. Milling And Grain. Recuperado el 10 de septiembre de 2022, de <https://millingandgrain.co/entrada/enzimas-que-mejoran-la-calidad-de-la-harina-216/>

EUFIC. (2002, marzo 1). *La congelación: Congelar los alimentos para preservar su calidad y seguridad*. Eufic. Recuperado el 2 de febrero de 2023, de <https://www.eufic.org/es/seguridad-alimentaria/articulo/la-congelacion-congelar-los-alimentos-para-preservar-su-calidad-y-seguridad/>

Fernández-Gutiérrez, A. y Pérez-Álvarez, J. M. (2013). *Nutrición de la levadura en la elaboración del pan*. Zaragoza: Acribia

Fersay. (2020, enero 2). *El frigorífico: quién, cuándo y dónde se inventó - Tiendas Fersay*. Fersay. Recuperado el 2 febrero de 2023, de <https://www.fersay.com/blog/el-frigorifico-quien-cuando-y-donde-se-invento/>

García- Alonso A, Jiménez-Escrig A, Martín-Carrón N, Bravo L, Saura-Calixto F. 1999. *Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch*. España, Madrid. *Food Chemistry* 66: 181-18

García-Carreño, S., Pérez-Rodríguez, J. M., & Pérez-Álvarez, M. D. (2019). *Chemical reactions and properties of sourdough bread*. *International Journal of Food Microbiology*, 288, 1-10.

García-Ochoa, L. F., & García-Ochoa, C. (2021). Características de la harina panadera y su influencia en la calidad del pan. *Tecnología Alimentaria*, 42(3), 257-272.

Gomez-Ibañez, J. (2021). *Microbiota de las masas madre*. Universidad Zaragoza. Recuperado el 27 de enero de 2023, de <https://zaguan.unizar.es/record/106469/files/TAZ-TFG-2021-1141.pdf>

González, E. (2022). *Conceptos básicos de la congelación y descongelación de alimentos*. Elena González Seguridad Alimentaria. Recuperado el 23 de enero de 2023,

de <https://egseguridadalimentaria.com/conceptos-basicos-de-la-congelacion-y-descongelacion-de-alimentos>

- Gugliermo, H. (2018, octubre 3). *El inventor del frío — Steemit*. Steemit. Recuperado el 2 de febrero de 2023, de <https://steemit.com/spanish/@hosgug/el-inventor-del-frio>
- Hamelman, J. (2018), *La ciencia del pan*. México. Editorial Grijalbo.
- Hayduk, A.E.F. (1997). *Thermal Properties of Materials*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 40(10), 2245-2284.
- Heldman, D. R., & Lund, D. B. (2007). *Handbook of Food engineering*. CRC Press.
- Hernández-Espinoza, N., Reyes-Reyes, M., González-Jiménez, F. E., González-Bretón, L. C., & Cooper-Bribiesca, B. L. (2015). Importancia de las proteínas de almacenamiento en cereales (prolaminas). *Vertientes. Revista especializada en ciencias de la salud*, 18(1). <http://www.revistas.unam.mx/index.php/vertientes/article/view/51724>
- Hoseney R.C. (1994) *Principles of cereal science and technology*, 2nd Edition R.C. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, Minnesota, USA.
- Hoseney, R. C. (1981). *Salt and gluten*. Cereal Chemistry, 58(5), 583-591.
- Huys, G., Daniel, H. M., y De Vuyst, L. (2013). *Taxonomy and Biodiversity of Sourdough Yeasts and Lactic Acid Bacteria*. En: Gobetti, M., y Gänzle, M. (Coord.). Handbook on Sourdough Biotechnology. New York: Springer Science + Business Media.
- Innograin. (2020). *Oxidantes y reductores – Innograin*. Innograin. Recuperado el 06 marzo de 2022, de <https://innograin.uva.es/2020/09/15/oxidantes-y-reductores/>
- Innograin. (2020). *Enzimas I – Innograin*. Innograin. Recuperado el 27 de marzo de 2022, de <https://innograin.uva.es/2020/10/20/enzimas-i/>
- Innograin. (2020). *La sal en panificación – Innograin*. Innograin. Recuperado el 12 de marzo de 2022, de <https://innograin.uva.es/2020/08/26/la-sal-en-panificacion/>
- Innograin. (2021). *Azúcares en panificación*. Innograin. Recuperado el 18 de marzo de 2022, de <https://innograin.uva.es/2021/06/15/azucares-en-panificacion/>
- Inoue Y, Bushuk W. (1991). *Studies on frozen dough. I. Effects of frozen storage and freeze-thaw cycles on baking rheological properties*. Cereal Chemistry, 68: 627–631.
- Jiménez-Zavala, J. (2002). *Selección de emulsificantes para todas las categorías de productos de panificación*. TESIUNAM. Recuperado el 11 de febrero de 2022, de <http://132.248.9.195/ppt2002/0310048/Index.html>
- Jones, R. E. W., & Taylor, A. J. (1994). Volatile compounds in bread during storage. Cereal Chemistry, 71(5), 466-474.
- Kayser, É. (2015). *The Larousse Book of Bread: Recipes to make at home*. London, UK. Phaidon Press Limited.
- Kiani, H., & Sun, D. W. (2011). *Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review*. Trends in Food Science and Technology, 22(8), 407-426.
- Lallemand Inc. (2015). *Masas congeladas*. Lallemand Baking. Recuperado el 16 de febrero de 2022, de <https://www.lallemandbaking.com/es/mexico/soluciones-para-panificacion/masas-congeladas/>
- Lamúa Soldevilla, M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos*. Madrid, España. Mundi Prensa.
- Lancetti, R. P. (2017). Desarrollo de masas madre y evaluación de propiedades reológicas y tecnológicas de panificados. Tesis de Licenciatura. Universidad de Córdoba.

- León, A. E. (Ed.). (2007). *De tales harinas, tales panes: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica* (1ra ed.). Hugo Báez.
- Lesaffre. (2017). *Masas madre para pan*. Lesaffre Ibérica. Recuperado 4 de febrero de 2023, de <https://www.lesaffre.es/masa-madre/>
- Linlaud N.E., Puppo M.C., Ferrero C. (2009). *Effect of hydrocolloids on water absorption of wheat flour and farinograph and textural characteristics of dough*. *Cereal Chemistry*, 86(4): 376-382.
- Luna-Fernández, M., & Bárcenas-Pozos, M. E. (2011). Envejecimiento del pan: Causas y soluciones. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 5(2), 40-53. <https://tsia.udlap.mx/envejecimiento-del-pan-causas-y-soluciones/>
- Madigan, M. T. (2015). *Brock: biología de los microorganismos*. Pearson Educación.
- Maier H., Anderson M., Karl C., Magnuson K. (1993). *Guar, locust bean, tara and fenugreek gums*. En: *Industrial gums. Polysaccharides and their derivatives*. Eds. Whistler R.L., BeMiller J.N. Academic Press (NY, EUA), pp. 187-205.
- Maison Kayser México. (2019). *Manual de pan dulce*.
- Mandala I., Karabela E., Kostaropoulos A. (2007). *Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature. I. Effect of chilling*. *Food Hydrocolloids*, 21: 1397-1406.
- Márquez Mejía, J. L. (2001). *Empleo de gomas en panificación para alargar la vida de anaquel*. Ciudad de México, México.
- Martín, M. L. (2018). *Utilización biotecnológica de los microorganismos en la elaboración de productos alimentarios*. Tesis de licenciatura. Universidad de Zaragoza.
- McGee, Harold. (2010) *La cocina y los alimentos*. Ediciones Paidós.
- Mecalux. (2021). *Cámaras de congelación: almacenaje bajo cero*. Mecalux, Soluciones de almacenaje. Recuperado el 1 de febrero de 2023, de <https://www.mecalux.com.mx/blog/camaras-de-congelacion>
- Mecalux. (2021, marzo 9). *Cámaras de congelación: almacenaje bajo cero*. Mecalux México. Recuperado el 29 de enero de 2023, de <https://www.mecalux.com.mx/blog/camaras-de-congelacion>
- Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 3(5), 307-313. <https://www.redalyc.org/pdf/724/72430508.pdf>
- México Desconocido. (2017). *La deliciosa historia de la panadería mexicana*. México Desconocido. Recuperado el 29 de abril de 2023, de
- Miller, K.A. y R.C. Hosney. (1999). *Effect of Oxidation on the Dynamic Rheological Properties of Wheat Flour-water Doughs*, *Cereal Chemistry*, 76, 100-104.
- Miñara, V. (2002). *Calcio en el agua de bebida en la infancia: ¿molesto o necesario?* Madrid. *Acta Pediátrica Española*. Vol. 60, N.º 2.
- Miralbés, C. (2018). *¿Cuánto sabes sobre el almidón en la panadería?* TecnoSA. Recuperado el 24 de abril de 2022, de <https://tecnosa.es/cuanto-sabes-sobre-el-almidon-en-panaderia/>
- MORENO, M. J. (2016). *El primer 'armario de frío'*. La Verdad. Recuperado el 2 de febrero de 2023, de <https://www.laverdad.es/ababol/ciencia/201407/12/el-primer-armario-de-frio.html>
- Mundo Hvacr. (2008). El Frío en la Conservación de Alimentos -. *MUNDO HVAC&R*, 8(96). Recuperado el 10 de marzo de 2022, de <https://www.mundohvacr.com.mx/2008/05/el-frio-en-la-conservacion-de-alimentos/>

- Mundo Hvacr. (2013). *Refrigeración y Congelación de Alimentos* -. Mundo HVACR. Recuperado el 2 de febrero de 2023, de <https://www.mundohvacr.com.mx/2008/05/refrigeracion-y-congelacion-de-alimentos/>
- Nicolas Y, Smit RJM, van Aalst H, Esselink FJ, Weegels PL, Agterof WGM. (2003). *Effect of storage time and temperature on rheological and microstructural properties of gluten*. *Cereal Chemistry*, 80: 371–377.
- 100 Graus. (2010). *La cadena de frío*. Seguridad alimentaria. 370. Recuperado el 8 de abril de 2022, de <http://www.100graus.net/pdf/SEGUR-ALIM-DYP370.pdf>
- Oliveira, M.E.C., Santos, R.P.S., & Almeida, J.M.L.M. (2015). *Growth and survival of Lactobacillus plantarum in high pH environments*. *Journal of Applied Microbiology*, 118(5), 1341-1350
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Aditivos Alimentarios*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 12 de junio de 2021, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-additives>
- Reinhart, P. (2001). *El arte de la panificación*. Barcelona: RBA Libros.
- Parkin, K. L., Fennema, O. R., & Damodaran, S. (Eds.). (2017). *FENNEMA Química de los alimentos* (J. Fernández Salguero Carretero, Trans.). Editorial Acribia.
- Payehuanca-Mamani, I., & Matos-Chamorro, A. (2011). *La formación de la masa, la fermentación y los métodos de proceso en la elaboración del pan*. *Payehuanca-Mamani, Irma; Ma*. Química de los alimentos. Recuperado el 29 de abril de 2023, de <http://alimentos.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/57/2016/03/Panificacion.pdf>
- Pedulla-Rodríguez, E. (2012, Julio 3). *Reguladores de pH* | edgardopedullarodriguez.wordpress.com/tag/reguladores-de-ph/
- Pérez, S. & Bertoft, E. (2010, Julio 30). The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. *Starch*, 62(8), 389-420. Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/star.201000013>
- Pérez-Guisado, J. L., & Martín, J. A. (2010). *Efecto del sulfato de calcio en la fermentación de la masa de pan*. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 27(1), 13-21.
- Petzold, G., & Aguilera, J. M. (2009). *Ice morphology: Fundamentals and technological applications in foods*. *Food Biophysics*, 4(4), 378-396.
- Popper, L. (2003). *Enzimas – Las mejores amigas de las harinas*. Studylib. Recuperado el 4 de febrero de 2023, de <https://studylib.es/doc/5046156/enzimas-%E2%80%93-las-mejores-amigas-de-las-harinas>
- Potter, N. N., & Hotchkiss, J. H. (1999). *Ciencia de los alimentos* (5a. ed.). Zaragoza, España: Acribia.
- PROFECO. (2017). *Encuesta sobre los hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo*. Encuesta sobre los hábitos de consumo de pan de dulce de harina de trigo. Recuperado el 5 de febrero de 2022, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/279977/Encuesta_sobre_los_habitos_de_consumo_de_pan_de_dulce_de_harina_de_trigo.pdf
- PURATOS. (2018). *Mejorantes de Panadería*. Puratos. Recuperado el 25 de enero de 2022, de <https://www.puratos.com.mx/es/bakery/categories/bread-improvers>
- Quaglia, G. (1991). *Ciencia y tecnología de la panificación*. Zaragoza, España. Acribia.

- Quiroz, I. (2018). *Croissant, receta del chef Irving Quiroz * Larousse Cocina*. Larousse Cocina. Recuperado el 20 de enero de 2022, de <https://laroussecocina.mx/receta/croissant/>
- Quiroz, I. (2019). *Panes Mexicanos* (2nd ed.). LAROUSSE EDICIONES.
- Ramírez-Ramírez, J. C., Rosas-Ulloa, P., Velázquez-González, M. Y., Ulloa, J. A., & Arce-Romero, F. (2021). Bacterias lácticas: su importancia en alimentos y sus efectos en la salud. *Fuente*, 2(7), 1-15. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-07/1.pdf>
- Randado Caballero, A. M. (2020, enero 27). *Fundamentos de refrigeración*. Blog saverroes. Recuperado el 1 de febrero de 2023, de <https://blogsaverroes.juntadeandalucia.es/amrandado/fundamentos-de-refrigeracion>
- Ribotta P.D. (2002). *Estudio de las transformaciones físico-químicas que se producen durante el procesamiento de las masas congeladas*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata. 2002.
- Rojas, P., & Treguear, W. (2000). *Fundamentos de congelación*. ALIPSO.COM: Monografías, resúmenes, biografías y tesis gratis. Recuperado el 23 de enero de 2023, de https://www.alipso.com/monografias/congelado_de_frutos/
- Saldaña-Carriles, M. (2006). *Utilización de hidrocoloides en panadería*. Tesis de licenciatura. UNAM. México.
- Sasano, Y., Haitani, Y., Ohtsu, I., Shima, J., y Takagi, H. (2012). *Proline accumulation in baker's yeast enhances high-sucrose stress tolerance and fermentation ability in sweet dough*. *International Journal of Food Microbiology*, 152(1), pp. 40-43.
- Secretaría de Economía. (2011). *NORMA MEXICANA NMX-F-303-SCFI-2011 INDUSTRIA AZUCARERA Y ALCOHOLERA - DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA EN MUESTRAS DE AZÚCARES CRISTALIZADOS*. Recuperado el 18 de Julio de 2023, de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/114856/NMX-f-303-SCFI-2011.pdf>
- Secretaría de Estado de la Energía. (2018). *Módulo V. Sistemas de refrigeración industrial*. Gobierno de Santa Fe. Recuperado el 1 de febrero de 2023, de https://www.santafe.gob.ar/ms/eficienciaenergetica/wp-content/uploads/sites/25/2018/12/E_SISTEMAS-DE-REFRIGERACI%C3%93N-INDUSTRIAL.pdf
- Secretaría de Estado de la Energía. (2018). *Sistemas de refrigeración industrial*. Gobierno de Santa Fe. Recuperado el 29 de enero de 2023, de https://www.santafe.gob.ar/ms/eficienciaenergetica/wp-content/uploads/sites/25/2018/12/E_SISTEMAS-DE-REFRIGERACI%C3%93N-INDUSTRIAL.pdf
- Secretaría de Gobernación. (2008). *Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. Recuperado el 22 de julio de 2023, de <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm>
- Secretaría de Gobernación. (2009, julio 27). *Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008. Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harina, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba*. Diario Oficial de la

- Federación. Recuperado el 20 de mayo de 2021, de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5100356&fecha=27/07/2009
- Secretaría de Gobernación. (2018). *Norma Oficial Mexicana NOM-040-SSA1-1993, Productos y servicios. Sal yodada y sal yodada fluorurada. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 25 de julio de 2023, de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5531604&fecha=16/07/2018#gsc.tab=0
- Secretaría de Gobernación. (2015). *Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA-2015, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 22 de agosto de 2023, de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420977&fecha=22/12/2015#gsc.tab=0
- Serrano Fuster, M. (2016). *Estudio de la cinética de retrogradación del almidón y del endurecimiento de la miga de panes libres de gluten*. <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/14652/13557%20R-T%20RDU.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silvas-García, M. I., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Carvajal-Millan, E., Bello-Pérez, L. A., & Barrón-Hoyos, J. M. (2013). Cambios fisicoquímicos en masa congelada y su efecto en la calidad del pan: una revisión. *Interciencia*, 38(5), 332-338. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33926990011>
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2008). *Encyclopedia of food science and technology* (4th ed.). Academic Press
- Smith, J. M. (2002). *Food Engineering: Principles and applications*. New York: Springer.
- Shoemaker, C. F., & Hosney, R. S. (2009). The chemistry of bread flavor. In *Chemistry of Food Flavors* (pp. 429-483). Springer Netherlands.
- Suarez-Machin, C., Garrido-Carralero, N. A., & Guevara-Rodriguez, C. A. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 50(01), 20-28. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223148420004.pdf>
- Tadini, C. C., & Ribotta, P. D. (Eds.). (2009). *Alternativas tecnológicas para la elaboración y la conservación de productos panificados* (1st ed.). Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- Tejero, F. (2015). *Asesoría Técnica en Panificación - Moho: prevención en el pan de molde envasado*. Francisco Tejero. Recuperado el 8 de febrero de 2015, de <http://www.franciscotejero.com/tecnicas/moho-prevencion-en-el-pan-de-molde-ensado/>
- Tejero, F. (2015). *Asesoría Técnica en Panificación - Los azúcares en las masas fermentadas*. Francisco Tejero. Recuperado el 1 de febrero de 2022, de <http://www.franciscotejero.com/tecnicas/los-azucare-en-las-masas-fermentadas/>
- Teixeira, A.A., de Almeida, A.M.M., & Almeida, M.L.M. (2022). *Sourdough and preferment: a review*. *Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 177-188.
- Torres, B. (2020). *Tipos de levadura y cuándo utilizarlas - Masas, panes y repostería - Blog de BEGOÑA TORRES NAVARRETE de Thermomix® Sevilla Dos Hermanas. Thermomix® Sevilla Dos Hermanas*. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de <https://thermomix->

doshermanas.es/begona-torres-navarrete/masas-panes-reposteria/tipos-de-levadura-y-cuando-utilizarlas/

- Tyler, J.R. (2021). Refrigeration and Air Conditioning. Pearson Education.
- Universidad de Guanajuato. (2022). *Ciclo de Refrigeración*. Clase digital 1. Ciclo de refrigeración - Recursos Educativos Abiertos. Recuperado el 19 de julio de 2023, de <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-1-ciclo-de-refrigeracion/>
- Universidad de Guanajuato. (2022). *Recursos Educativos Abiertos*. Clase digital 10. Desarrollo de la industria congeladora aspectos termodinámicos de la congelación cálculo de tiempo de congelación - Recursos Educativos Abiertos. Recuperado el 23 de enero de 2023, de <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-10-desarrollo-de-la-industria-congeladora-aspectos-termodinamicos-de-la-congelacion-calculo-de-tiempo-de-congelacion/>
- Vásquez Olivas, S. I. (2016). *Rediseño de los sistemas de producción de frío en una planta procesadora de carne*. TESIUNAM digital. Recuperado el 1 de febrero de 2023, de <http://132.248.9.195/ptd2017/febrero/0756165/Index.html>
- Vázquez, A. (2020). *¿Aditivos? ¿Para pan? Conoce los más comunes * Larousse Cocina*. Larousse Cocina. Recuperado el 2 de marzo de 2022, de <https://laroussecocina.mx/blog/aditivos-para-pan-conoce-los-mas-comunes/>
- Velázquez, F. (2019). *Tecnología en panificación: Masas congeladas y precocidas*. Granotec. Recuperado el 10 de noviembre de 2020, de <https://granotec.com.ar/masas-congeladas-precocidas/>
- Vergara, H. (2013). *Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa de pan congelado para hosterías y restaurantes del Catón Puyo 2013*. Recuperado el 22 de febrero de 2022, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9679/1/84T00262.pdf>
- Villanueva Flores, R. (2014). El gluten de trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*, (32), 231-246. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=337432679010>
- Wang, Z., Ponte, J. (1995). Storage stability of gluten fortified frozen dough. *Cereal Food World*, 40:827-831.
- World Health Organization. (2004). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Geneva; Third Edition; Volume 1. Recommendations.
- Zhang, G., Zhang, w., Sadiq, F. A., Arbab, S. H., y He, G. (2019). *Microbiota succession and metabolite changes during the traditional sourdough fermentation of Chinese steamed bread*. *CyTA – Journal of Food*, 1(17), pp. 172-179.
- Zhou, W. & Hui, H. Y. (2014). *Bakery product science and technology*. 2nd Edition. John Wiley & sons.