



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

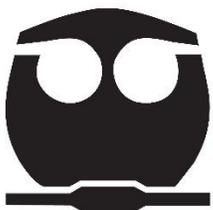
FACULTAD DE QUÍMICA

**APLICACIÓN DE DISTINTOS HIDROCOLOIDES, SU FUNCIONALIDAD Y
BENEFICIOS EN PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN**

TRABAJO ESCRITO VÍA CURSO DE EDUCACIÓN CONTINUA

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

**PRESENTA
LOURDES GABRIELA ABUD GALVÁN**



CIUDAD DE MÉXICO

AÑO 2022



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.

ÍNDICE

PÁGINA

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
3. Glosario	3
4. Antecedentes	4
5. Pan	6
5.1. Productos de panificación alternativos sin gluten	11
5.2. Funcionalidad de ingredientes de productos de panificación	13
5.3. Envejecimiento del pan	21
6. Hidrocoloides	23
6.1. Propiedades funcionales	26
6.2. Fisicoquímica de hidrocoloides	27
6.3. Estabilidad	33
6.4. Estatus legal	35
6.5. Principales hidrocoloides utilizados en productos de panificación	37
6.6. Efectos de hidrocoloides en productos de panificación	40
6.7. Compatibilidad o sinergia entre hidrocoloides	47
Conclusiones	50
Bibliografía	51

1. Introducción.

El pan ha estado presente en la vida del hombre a lo largo de su existencia en la Tierra. Todas las culturas han empleado a los cereales, principalmente al trigo, como base de su alimentación y supervivencia. En particular, en México y Mesoamérica existió un muy importante intercambio en la agricultura con el descubrimiento del Nuevo Mundo y la llegada de Cristóbal Colón, pues al mismo tiempo llegó el trigo a los valles de México.

El consumo de pan proporciona hidratos de carbono (almidón), proteínas, grasas, fibra y algunas vitaminas y minerales, por lo que no debe ser eliminado de la dieta. En el ámbito gastronómico los productos de panificación son de primera necesidad e insustituibles, y hasta un parámetro de la evolución, el desarrollo y la cultura de cada nación o región, tomando parte como representación artística en diversas expresiones al paso del tiempo (Serra, 2010).

Los productos de panificación elaborados a base de cereales presentan diferentes cambios fisicoquímicos durante su vida de anaquel, siendo uno de los más críticos, el envejecimiento del producto, pues afecta la calidad y atributos sensoriales que influyen directamente en la aceptación y/o rechazo del consumidor.

En muy diversos estudios se ha demostrado que el uso y la aplicación de varios hidrocoloides aumenta y mejora las características fisicoquímicas y sensoriales del pan, dando una mayor vida de anaquel (Márquez, 2001).

El componente que más influye en la estructura del pan es el gluten que se encuentra en cereales como el trigo. En los productos de panificación, los hidrocoloides o gomas se han utilizado para mejorar el rendimiento de la masa, así como su calidad sensorial incluyendo la textura, y por consiguiente lograr una mayor vida útil de los productos.

Por ello, esta investigación bibliográfica tiene por objeto revisar el efecto y los beneficios del uso de distintos hidrocoloides que pueden utilizarse en diversos productos de panificación, así como sus efectos en estos productos en cuanto a sus características reológicas, fisicoquímicas, y de textura en los productos horneados con o sin gluten y que van a favorecer la estabilidad y la calidad de estos.

Entre los hidrocoloides más utilizados se encuentran: la goma guar, la goma de algarrobo, la goma tara, la goma arábica, la de tamarindo, tragacanto, el agar, las carrageninas, los alginatos, la goma xantana, derivados celulósicos como: la carboximetilcelulosa, hidroxipropilmetilcelulosa y celulosa microcristalina y finalmente los almidones modificados.

2. Objetivos.

General

Realizar una recopilación bibliográfica de los hidrocoloides más importantes que se pueden emplear en los productos de panificación.

Particulares

Documentar la utilidad y seguridad en el uso de aditivos alimentarios, en este caso, el de los hidrocoloides.

Analizar la composición química de estos hidrocoloides, su función tecnológica, así como sus propiedades características.

Definir el uso, los beneficios y la concentración recomendada de distintos hidrocoloides que se utilizan comúnmente en los productos de panificación.

3. Glosario.

Almidón: El almidón es un polímero de glucosa presente en forma granular en determinadas especies vegetales, sobre todo en semillas (por ejemplo, de cereales, legumbres, maíz, trigo, arroz, frijoles, guisantes) y tubérculos (por ejemplo, tapioca, patata). El polímero consta de unidades de anhidro- α -D-glucosa unidas. El almidón natural se separa mediante procesos específicos para cada materia prima (CODEX, 1995).

Coloide: Una dispersión o coloide es un sistema de multifases no homogéneas en equilibrio. Un coloide consta de una o más fases dispersas o discontinuas, llamadas micelas, contenidas en una fase continua. No llegan a formar una solución verdadera en la que se tenga una sola fase homogénea. Se considera que las partículas coloidales están en un rango de tamaño de 10^{-9} m (1 nm) hasta 10^{-6} m (1 μ m o μ). Las soluciones verdaderas tienen partículas con un tamaño menor a 1 nm (Badui, 2012).

Grasas y aceites: Las grasas alimentarias incluyen todos los lípidos de los tejidos vegetales y animales que se ingieren como alimentos. Las grasas (sólidas) o aceites (líquidos) más frecuentes son una mezcla de triacilglicéridos (triglicéridos) con cantidades menores de otros lípidos. Los ácidos grasos presentes en varias moléculas de lípidos constituyen la parte con mayor interés nutritivo (FAO, 1997).

Plasticidad: Capacidad de ciertos sólidos para fluir o cambiar de forma permanentemente cuando se someten a tensiones de magnitud intermedia entre las que producen deformaciones temporales, o comportamiento elástico, y las que provocan rotura del material. La plasticidad permite que un sólido sometido a la acción de fuerzas externas sufra una deformación permanente sin romperse (Encyclopaedia Britannica, 2016).

Reología: La reología es la ciencia que estudia el flujo y la deformación de los materiales bajo la acción de una fuerza. En el caso de los soles y otros coloides fluidos, al aplicar una fuerza se obtiene un flujo o deformación por unidad de tiempo (Badui, 2006).

Sol: Dispersión de un sólido en un líquido (como grupos de átomos de oro en agua) o de un sólido en un sólido (como el vidrio rubí) (Atkins, 2006).

4. Antecedentes.

Los productos de panificación, como los conocemos hoy, tienen una amplia gama de formas y, por lo general, el ingrediente más importante de la receta es la harina de trigo. Alrededor de 20 mil años atrás, la humanidad descubrió las cualidades nutricionales de las variedades de las gramíneas silvestres del trigo en el Medio Oriente. De modo que, parece que los pueblos denominados "cazadores-recolectores", fueron los primeros en utilizar los granos para convertirlos en comida con un sabor agradable y fácil de transportar (Cauvain & Clark, 2019).

En la nutrición humana los cereales han tomado un lugar importante, estos han sido cultivados por el hombre durante miles de años. Evidencias paleoecológicas y ecogeográficas sugieren que el cultivo se inició aproximadamente en el año 8 050 a.C., en áreas de selva baja caducifolia, entre los 600 y 1600 metros sobre el nivel del mar (Zizumbo, 2008).

Desde el punto de vista botánico, los cereales pertenecen a la familia de las gramíneas (*Gramineae*), que se subdivide en varios géneros.

Las especies de cereales como el trigo, la cebada, el centeno y la avena se pueden encontrar en zonas templadas. El trigo y la cebada se cultivan en suelos relativamente "fértil", mientras que el centeno y la avena están más adaptados a "suelos pobres" (áridos y secos). En zonas subtropicales el cereal más importante es el maíz, aunque también se cultiva en áreas templadas. También en zonas tropicales y donde hay suficiente agua disponible como el sudeste y este de Asia, el principal cultivo es el arroz. El arroz, así como el sorgo y el mijo son tan importantes para la población de las zonas tropicales como el trigo para la población de las zonas templadas.

El trigo, el arroz y el maíz se encuentran ampliamente distribuidos por todo el mundo. La importancia del trigo es principalmente debida a la gran diversidad de productos que se obtienen a partir de sus granos, como la harina, siendo uno de los ingredientes básicos del pan y otros productos de panificación; o bien, la sémola en el caso de las pastas (Belderock, 2000).

Existen numerosas especies de trigo (*Triticum*), sin embargo, aquellas especies que son más consumidas a nivel mundial son *Triticum aestivum*, que es empleada para panificación conocido como “trigo común” y *Triticum durum*, que se utiliza para la elaboración de pasta para sopa, conocido como “trigo duro”. En relación con lo antes mencionado, en la industria de panificación son de mucho mayor interés las variedades de *Triticum aestivum* (Collar, 1999).

Los primeros panes eran sumamente similares a los panes planos que hasta el día de hoy se elaboran en el Medio Oriente y muchas otras partes del mundo. Esta forma básica de pan (sin levadura) se convirtió en el primer alimento procesado y de conveniencia. Más tarde, se vio el beneficio de la adición de sal, observaron que mejoraba el perfil de sabor de la mezcla. Al dejar la masa cruda a la exposición de la atmósfera la haría susceptible a una fermentación espontánea, que consiste en activar a los microorganismos (levaduras y bacterias) presentes naturalmente en la harina, provenientes de los cereales, los cuales son ricos en hidratos de carbono o azúcares, que son usados como fuente de carbono y energía por los microorganismos. Esto provocó que la gente comenzara a apreciar la mejora en la digestibilidad que vendría de una mezcla fermentada espontáneamente dando un pan ligero y aireado, este es un proceso que todavía se practica en la actualidad y que comúnmente se conoce como "masa madre". Posteriormente se observó con la cerveza egipcia antigua, que la microbiota de la fermentación de la cerveza era similar a los cultivos de pan de masa madre, ya que los agentes principales de fermentación eran las bacterias (principalmente *Lactobacillus*), no la levadura. En consecuencia, se vio empleada la levadura dominante de la cerveza *S. cerevisiae* para obtener una hogaza de pan más aireada y con fermentación rápida (Cauvain & Clark, 2019; Rubel, 2011; AgroAvances, 2021).

En la población global, el trigo forma parte fundamental de la dieta diaria, dado que se consume en diversos productos ya sea producidos industrial o artesanalmente, como el pan blanco, tortillas de harina, sopas de pasta, galletas, entre otros. Asimismo, el pan es un producto básico que contribuye en gran medida a la economía (Márquez, 2001).

La importancia del pan en el contexto de la alimentación global tiene una especial relevancia tanto nutricional como cultural. Se considera que el pan constituye una parte cuantitativamente destacable de la dieta diaria, en otros términos, el pan satisface una fracción muy importante de las necesidades diarias dado su contenido de carbohidratos, proteínas, vitaminas, minerales y fibra. Por el sistema globalizado en el que vivimos, es más fácil compartir propuestas que se adapten a un mercado general, permitiendo ajustarlas a las condiciones culturales de cada país (Serra, 2010; Márquez, 2001).

Teniendo en cuenta los hábitos alimentarios de las poblaciones, hay cierta sección, como es el caso de las personas que realizan la dieta cetogénica, que opta por un descenso en el consumo de pan y esto puede desequilibrar de manera importante su nutrición al tener una mayor ingesta de otros grupos de nutrientes como proteínas y grasas, minimizando los carbohidratos, lo que resulta desfavorable desde el punto de vista nutricional, sanitario y de control de peso, ya que el pan contribuye a una dieta más completa y de mayor calidad, permitiendo aproximar, en mayor medida, la dieta a los objetivos nutricionales deseables (Serra, 2010).

5. Pan.

Para la elaboración de pan hay tres ingredientes esenciales: harina (de algún cereal, leguminosa o tubérculo), agua y sal, siendo estos los constituyentes de la masa madre. Se añade por lo general un tipo de levadura o un agente leudante y otros ingredientes que le dan el rasgo único a cada tipo de producto de panificación.

Dentro de estos ingredientes, de los más empleados a nivel global son los cereales, particularmente los provenientes del grano entero y conocidos como integrales, poseen una amplia gama de nutrimentos de interés: fibra, antioxidantes fenólicos, almidones, etc.

En su composición, un elemento significativo es el gluten, un compuesto proteico presente en muchas variedades de cereales de la familia de las gramíneas (*Gramineae*) como el trigo, la avena, la cebada y el centeno. Este contenido proteico engloba entre el 10 y el 12 % de la materia seca del grano y, por tanto, constituyen un 80 %

aproximadamente de las proteínas del grano. El gluten actúa como la proteína principal de reserva y está presente en el endospermo donde se acumula un alto contenido de fécula (Badui, 2006; Schär, 2011; Fennema, 2008).

Uno de los principales cereales utilizados en la elaboración de productos de panificación es el trigo. En el caso de la harina de trigo, cuando se añade agua a la harina y se amasa, las proteínas insolubles en agua se hidratan y forman el gluten, un compuesto proteico con una estructura de red (Badui, 2006).

El gluten de trigo se compone de dos fracciones proteicas, prolaminas y glutelinas; representan 50% y 35% del total de las proteínas respectivamente, por lo que ambas fracciones suman 85% de la fracción proteínica del trigo. Las glutelinas del trigo reciben el nombre de gluteninas, mientras que las prolaminas, el de gliadinas; estas fracciones a su vez están compuestas por cientos de componentes distintos, que por medio de la técnica de electroforesis se han dividido en cuatro grupos (α , β , γ y ω), en una proporción de 15, 30, 30 y 25%, respectivamente. El contenido de las fracciones es variado dependiendo de la especie de grano (Badui, 2006; Schär, 2011).

Estas proteínas junto con los lípidos y el agua forman el gluten, responsable de las propiedades de cohesividad y de viscoelasticidad de la masa de panificación y se localizan en el endospermo del grano de trigo. Las gliadinas (solubles en etanol al 70%) estabiliza su estructura mediante enlaces disulfuro intramoleculares; al entrar en contacto con agua se hidratan formando una masa viscosa, extensible y fluida pero poco elástica con el fin de otorgar extensibilidad de la masa. Cuando en esa masa se dispersan los gases producidos por la levadura durante la fermentación, hay un aumento de volumen durante la elaboración del pan. Cuando existe un exceso de gliadinas en relación con las gluteninas, el gluten se vuelve débil, permeable y no retiene el gas carbónico producido, por lo que la masa, en lugar de esponjar, se colapsa (Badui, 2006).

Las gluteninas (insolubles en soluciones salinas neutras y en etanol al 70%, solubles o dispersables en ácidos y en bases débiles) se caracterizan por su elevado número de enlaces disulfuro (aproximadamente 50 por molécula) que le confieren una gran estabilidad y permiten la asociación para formar polímeros de alto peso molecular y son las responsables de la tenacidad, cohesividad y elasticidad del gluten, es decir, la fuerza

de la retención del gas producido por la levadura durante la fermentación, dando a su vez la estructura no porosa a lo largo del proceso de panificación, si en dado caso se presenta un exceso de gluten, va a provocar la inhibición de la expansión de la masa y reduce el volumen final de la miga del pan (Badui, 2006).

En cuanto a las proteínas solubles, albúminas y globulinas, se encuentran en la harina en bajas cantidades del 1% al 6%, estas provienen principalmente del germen y de las capas periféricas del grano de trigo y durante el amasado, se disuelven en el agua del medio, las cuales tienen como función principal durante este proceso operar de alimento a las levaduras y nutricionalmente contribuye con el contenido de aminoácidos en el producto (Boatella, 2004). Sin embargo, en el proceso de horneado ejercen una función elemental en la formación de la costra del pan debido a que propician las reacciones de oscurecimiento no enzimático a partir de las cuales se desarrolla el color y los aromas característicos de estos productos.

Es importante mencionar que tanto las gliadinas como las gluteninas contienen una cantidad muy baja de lisina (2.9 % aproximadamente), dado que este aminoácido se localiza en las albúminas y globulinas en una concentración del 85% (Badui, 2006).

Referente a los carbohidratos de los cereales, el almidón es el principal ya que constituye el 70 % del endospermo y aproximadamente el 64 % en materia seca del grano de trigo. En el grano existen naturalmente polisacáridos no almidonosos denominados pentosanos (básicamente arabinoxilanos y arabinogalactanos), que tienen la habilidad de retener agua y formar soluciones viscosas o geles por uniones covalentes que afectarían la distribución de humedad entre los constituyentes de la masa, alterando así la estructura del gluten y las propiedades reológicas de la masa, estos son los importantes en conjunto con la lignina (Linlaud, 2014). Los cereales son abundantes en su contenido de carbohidratos con 1 a 3 % de azúcares libres. En las harinas de estos se encuentran las dextrinas (compuestos intermediarios del almidón y el azúcar), los glúcidos que aportan glucosa cuando ocurre alguna reacción de hidrólisis, que en el caso de la harina de trigo son maltotriosa, tetrosa y pentosa.

En cuanto a los lípidos contenidos en los cereales, están aproximadamente entre 1 y 4 % de la energía total, con la excepción de la avena que supera el 6 %. Dentro de este contenido existe una rica cantidad de ácidos grasos saturados en un intervalo del 11 al 26 % del total, mientras que los ácidos grasos no saturados del 72-85 %. Los fosfolípidos son una mezcla compleja que están presentes en un 4 %, donde los principales en cuanto a su proporción son las lecitinas, cefalinas y esfingomielinas, siendo las lecitinas los fosfolípidos en mayor concentración (Calva, 2008; Marquina, 2013). En el caso del trigo el contenido de lípidos se encuentra en el germen de la semilla y están formados por ácidos grasos saturados en concentración del 15 % del tipo palmítico y esteárico; y en cuanto a los ácidos grasos no saturados en concentración del 35 %, del tipo oleico, linoleico y linolénico (Muñoz, 2015).

Teniendo en cuenta todas las sustancias nutritivas que el pan aporta, los micronutrientes que proporciona son de suma importancia para la salud. Las vitaminas pueden obtenerse directamente de muchos alimentos y en la dieta de los seres humanos se requieren en cantidades pequeñas. Estas se dividen en dos amplias categorías, las que son liposolubles (A, D, E y K) y las que son hidrosolubles (complejo B y C). Se requieren alrededor de 12 vitaminas para el funcionamiento de un metabolismo saludable en el cuerpo humano. Las vitaminas del complejo B están presentes en los cereales integrales y se concentran en el salvado y el germen de los cereales, sin embargo, el procesamiento de los cereales para producir harina blanca conduce a una reducción potencial de este grupo de vitaminas. Un problema particular en las vitaminas como las del grupo B y la vitamina C es que no son completamente estables durante el procesamiento de alimentos, incluida la cocción y el horneado, por lo tanto, el nivel de vitaminas que quedan en un producto horneado terminado puede ser menor que el de la fórmula inicial. Teniendo en cuenta esto, se ha llevado a cabo la fortificación obligatoria y voluntaria de harinas blancas destinadas a la fabricación de productos horneados (Cauvain & Clark, 2019).

Las vitaminas del complejo B; como la tiamina (vitamina B₁), riboflavina (vitamina B₂), niacina (vitamina B₃) y la piridoxina (vitamina B₆), son importantes y necesarias para el aprovechamiento de los nutrimentos básicos (carbohidratos, proteínas, grasas). Por su

parte, el ácido ascórbico (vitamina C) es un componente común en los mejoradores de pan en todo el mundo; aunque su función no se utiliza por razones nutricionales sino por su función tecnológica en la prevención de la oxidación de las proteínas de la harina de trigo durante la formación del gluten (Cauvain & Clark, 2019).

En cuanto a la distribución de minerales, debido a que estos son inorgánicos, no se destruyen durante el procesamiento de alimentos, sin embargo, pueden ser propensos a filtrarse en cualquier agua de proceso utilizada, particularmente durante el remojo del grano. Por lo tanto, en las materias primas la distribución de minerales puede no ser uniforme. En el caso de los cereales, que su contenido de minerales está asociado a las capas externas de salvado y aleurona, significa que la harina blanca tiende a tener niveles más bajos de minerales presentes que en la harina integral, razón por la cual también se ha visto involucrado el proceso de fortificación de la harina.

En la mayoría de los casos, para cumplir con la declaración relacionada con la salud, lo más probable es que sea necesario complementar el nivel de cada mineral específico. Las aplicaciones más comunes de la fortificación de minerales en la harina se realizan respecto al calcio, hierro, fósforo, magnesio y el potasio (Cauvain & Clark, 2019).

Desde el punto de vista reológico, el sistema que constituye la masa de pan es complejo. Tiene una estructura de esponja con alveolos de gas interconectados entre sí en una fase con propiedades viscoelásticas formada por el gluten, una fase continua y diferentes constituyentes incorporados, a partir de los cuales se define su calidad (Dendy, 2004).

Al considerar que un pan sea de buena calidad se deben contemplar distintos aspectos: el tipo de pan que se desea elaborar, un aspecto atractivo en cuanto al color, y si es el caso, que la masa alcance el volumen suficiente, la miga sea uniforme con alveolos finos y suficientemente firme al realizar un corte. Dicho lo anterior, la calidad del pan depende de gran medida de la composición de la materia prima utilizada (Linlaud, 2014).

5.1. Productos de panificación alternativos sin gluten.

En los últimos años han incrementado las respuestas alérgicas a determinadas materias primas y alimentos, cuyos síntomas (dependiendo del individuo) varían de leves a agudos, llegando a ser potencialmente mortales, por lo que la presencia de éstos, se encuentra claramente indicada en la etiqueta como prevención a los consumidores. Las alergias comunes que pueden encontrar su lugar en los productos de panadería son las relacionadas con la presencia de las proteínas del gluten, el cacahuate, los frutos secos, el huevo, la leche de vaca, las semillas de ajonjolí y los derivados de soya (Cauvain & Clark, 2019).

Por esta razón, los productos de panificación han hecho reformulaciones para eliminar el alérgeno causante y sustituirlo con otro ingrediente o aditivo para proporcionar la funcionalidad necesaria en el producto horneado. En la actualidad el desarrollo de productos “libres de gluten” está aumentando, con nuevas versiones que salen al mercado continuamente. Cabe mencionar que en algunos casos estos productos sin alérgenos se consumen como parte de una elección de estilo de vida y no necesariamente como resultado de una reacción alérgica conocida (Cauvain & Clark, 2019).

Se conoce que de la población mundial las personas con celiaquía o intolerancia al gluten forman entre 5 a 10 % del total. La enfermedad celíaca es una sensibilidad digestiva autoinmune provocando una reacción alérgica mediada por células a la proteína de almacenamiento de trigo conocida como gliadina, un componente principal de muchos cereales, especialmente el trigo, que es probablemente la respuesta alérgica más conocida relacionada con los productos de panadería, donde el único tratamiento es implementar una dieta libre de gluten (Salehi, 2019).

Por tal motivo, la industria alimenticia ha propuesto desarrollar productos de panificación innovadores libres de gluten. Los productos de panificación que se elaboran con harinas libres de gluten presentan características sensoriales diferentes a los elaborados con el trigo (Cauvain & Clark, 2019; Salehi, 2019).

A partir de diferentes estudios se ha determinado que la incorporación de aditivos alimentarios a las materias primas contribuye para obtener características similares a las de los productos que contienen gluten, en particular los hidrocoloides. Las gomas son un grupo importante de polisacáridos de alto peso molecular y ramificados generalmente. Las gomas solubles en agua también se conocen como “hidrocoloides” y se utilizan para diversas aplicaciones como fibra dietética, películas de empaque, modificadores de textura, espesantes, agentes gelificantes, estabilizantes, emulsificantes y agentes de recubrimiento, esto hace posible reproducir las propiedades viscoelásticas parecidas al gluten al igual que son capaces de retener el gas carbónico (CO₂) producido durante la fermentación.

Estas características, dependen en gran medida de la naturaleza del hidrocoloide, ya que se encuentran en diversas fuentes. Su uso en el horneado está relacionado con su capacidad para controlar la reología y la textura de las suspensiones acuosas. Varios estudios muestran el uso potencial de los hidrocoloides en productos de panificación como panes, galletas, pasteles y formulación de pastas (Salehi, 2019).

Además de la complejidad estructural, cabe destacar tres propiedades que determinan una parte importante de los ingredientes de una formulación, las cuales consisten en la capacidad de producción de gas y la capacidad de retención del mismo y la dependencia de su estructura frente a la manipulación mecánica empleada durante el proceso de producción. De igual manera se debe tener en cuenta cualquier variable que afecte al proceso (pH, temperatura, concentración de solutos y presencia de fases oleosas entre otros.) que influirá en mayor o menor medida en el comportamiento de la masa.

Por otra parte, en cuanto a la formulación del producto de panificación existen múltiples factores o variables, los cuales se deben tener en cuenta al momento de formular, por ejemplo, la identidad del propio producto, la legislación vigente, el proceso de producción, entre muchos otros. Debido a esto, no existe una metodología universal de formulación, puesto que depende de diversas variables cuyo conocimiento se adquiere por medio de análisis y experiencia (Boatella, 2004).

5.2. Funcionalidad de ingredientes de productos de panificación.

Harina

La harina (término proveniente del latín *farina*, que a su vez proviene de *far* y de *farris*, nombre antiguo del farro) es un polvo fino que se obtiene a partir de cereales, leguminosas o tubérculos deshidratados y molidos ricos en almidón y en otros componentes como proteína, azúcares, minerales y vitaminas, pudiendo o no contener pericarpio o envolturas celulósicas de acuerdo a la materia prima que se trate (Romero & Tuiran, 2017).

Durante la fermentación, los carbohidratos como el almidón sirven como sustrato de las levaduras que, al fermentarlas, producen gases. Generalmente la cantidad de harina que se utiliza en la formulación está entre un 50 al 66 % del total, por lo que es el componente más importante y es el que forma, junto con el agua, una masa con propiedades viscoelásticas muy particulares que retiene el gas producido. Las harinas que se emplean para la elaboración de productos de panificación son una amplia gama, cada producto se fabrica a partir de diferentes tipos de harina. Los panes, bollos, pasteles, galletas, entre muchos otros, requieren de una harina especial dependiendo de la identidad del producto que se desea elaborar y ofrecer al consumidor (Márquez, 2001).

Agua

El agua es uno de los principales ingredientes del pan. El agua hidrata las proteínas para la formación del gluten, a su vez se hidratan los gránulos de almidón para iniciar el proceso de gelatinización, funciona como medio activador de las enzimas contenidas en la matriz alimentaria. El agua actúa también como vehículo para disolver otros ingredientes, distribuyéndolos en la mezcla al mismo tiempo que se controla la temperatura y consistencia de la masa (Márquez, 2001). Partiendo del agua potable, la dosis y la calidad del agua definirán la estructura de la miga del pan. Entre el 45-50 % de agua respecto a la cantidad de la harina se logra una miga densa de alveolado pequeño, regular y corteza lisa; entre 55-65 % el alveolado es regular y pequeño; con más del 70 % incluso llegando hasta más del 100 %, se obtienen especialidades que fermentan en bloque y se caracterizan por una miga de alveolos grandes e irregulares (DPAS, 2018).

La dureza del agua 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 (CaO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3), existentes en cada litro de agua, representado en [mg/L]. Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud, se realiza con base a CaO_3 en 4 intervalos de 0-60 mg/L, se define como “blanda”; entre 61-120 mg/L como “moderadamente dura”; entre 121-180 mg/L como “dura” y >180 mg/L como “muy dura”. Los minerales como el calcio y magnesio refuerzan la estructura de la miga en el pan, mientras que sales como los fosfatos sirven también como nutrientes para la levadura, ayudando a obtener una fermentación correcta en menos tiempo (Mora, Portuguez, Alfaro & Hernández, 2015).

Más allá de la concentración de minerales como alimento para las levaduras, el impacto de estos minerales en el gluten tiene una relación directa sobre la fermentación de las masas, es decir, cuando una masa se realiza con agua definida como “dura” va a provocar el reforzamiento del gluten, donde se obtiene un gluten sumamente rígido que será excesivamente fuerte y poco extensible, lo que afectará tanto al proceso al que sometemos a la masa como a la textura del producto terminado; esa masa tendrá menos agua disponible para las levaduras y enzimas debido a ese mismo reforzamiento, lo que llevará a una fermentación más lenta. En adición a esto, se sabe que el agua “dura” por lo general es más alcalina, que por consecuencia también inhibe la acción de las levaduras. El agua alcalina aporta un pH elevado y, por lo tanto, dificulta la formación glutámica y la fermentación es deficiente. Esto se puede corregir con reguladores de pH y añadiendo más levadura a la masa. Mientras que en el caso del agua “blanda”, aunque tengan menos minerales como alimento para las levaduras, las levaduras trabajarán con más rapidez y también las enzimas, poniendo a disposición de las levaduras más azúcares, teniendo un efecto de fermentación más rápida, sin embargo, va a provocar el desarrollo de una masa débil, pegajosa por la escasez de minerales para dar soporte al gluten, y para corregir este efecto puede requerir de la adición de sales (sodio y magnesio) junto con un mejorante de pan u otro aditivo para ayudar a obtener una textura más agradable (PPA, 2015).

Cabe destacar que el agua es el segundo ingrediente principal en el pan para realizar el proceso de amasado, sus características pueden afectar la reología de la masa y del producto a elaborar. Sin embargo, las probabilidades de tener un problema por la calidad del agua son muy bajas comparadas con todos los otros factores implicados en el proceso de elaboración (tipo y calidad de la harina, proceso de fermentación y tiempo de amasado, masa madre usada, entre otros). Dicho lo anterior, se debe valorar si todo el proceso ha sido correctamente desarrollado y tener conocimiento de todos los factores que puedan afectar la reología de la masa, con ello, se pueden implementar medidas como se mencionó anteriormente para evitar que afecten al producto final (DPAS, 2018).

Sal

La sal se adiciona al pan con el objetivo de aportar sabor directo y realzar el de otros ingredientes. El cloruro de sodio es considerado el principal compuesto, sin embargo, se pueden emplear sustitutos de sal como el cloruro de potasio, cloruro de litio, extracto acuoso de levadura, los cuales no se utilizan con frecuencia por cuestiones de precio o facilidad de obtención o eliminar sodio en la dieta (Valverde & Picado, 2013).

La sal actúa sobre la formación del gluten reforzándole debido a que favorece la absorción de agua de las proteínas, aumentando la fuerza y la tenacidad a medida que la dosificación aumenta, como consecuencia de las fuerzas de atracción electrostáticas que ocurren en la red formada con la sal le confieren a la masa mayor captación y rigidez (Gosset, 2015). La falta de sal en la masa se manifiesta con masas blandas, pegajosas, suaves y la miga del pan se desmorona.

Por tanto, la sal en la masa aumenta notablemente la firmeza y mejora su manejabilidad. Al contrario, un exceso de sal, tiende a reducir la capacidad de la levadura e incluso puede detener la fermentación. Es muy frecuente en las fermentaciones largas añadir un poco más de sal, con el fin de que restrinja la actividad de la levadura durante las primeras horas de la fermentación (Tejero, 2017). La sal también tiene un efecto inhibitorio en cierto grado sobre la actividad de otros microorganismos, inhibiendo la acción de bacterias productoras de ácido (Márquez, 2001).

A pesar que el brillo de la corteza es asociado generalmente con los azúcares y dextrosas, la sal evita el consumo total de azúcar, para que haya reacciones de Maillard y en conjunto con los azúcares, la sal es necesaria para el desarrollo de brillo y color, en panes en donde se ha omitido la sal, se observa un aspecto de corteza pálido y poco brillante, también la sal al absorber agua ayuda a aumentar la humedad y la actividad acuosa (aw) del producto final. La cantidad que se puede emplear de sal en los productos de panificación está en un intervalo entre el 0.1% a máximo un 2.0%, siendo comúnmente la cantidad de referencia, dosificar un 2% con respecto al peso de la harina (Tejero, 2017).

Levadura y agentes leudantes

Hablando de productos de panificación horneados, es esencial referirse a su capacidad de expansión como indicador de calidad, debido a la influencia que esta propiedad importante genera en el consumidor. Es necesario optimizar y adaptar a las necesidades y propiedades del producto teniendo un amplio rango en la industria de panificación. De este modo, se utiliza el término agente leudante y productos leudantes.

La acción leudante se puede lograr mediante varios métodos, que incluyen la fermentación con levadura de origen biológico; la incorporación mecánica de aire mediante el mezclado y la agitación; la formación de vapor de agua en el horno junto con la producción de dióxido de carbono y otros gases como amoníaco por medio de algunos agentes leudantes de origen químico -mejor conocido como “polvo para hornear”- (Rodríguez, Otero & Tabares, 2020).

a) Levadura

En los productos de panificación, la levadura se emplea en distintas presentaciones (seca activa, seca instantánea, comprimida, en crema) teniendo cada una sus ventajas y desventajas dependiendo el producto. La levadura está compuesta de células de cepas selectas del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*. Básicamente la acción de la levadura consiste en la producción de dióxido de carbono (CO₂), el cual causa la expansión de la masa desde el interior formando núcleos de acumulación de gas

intercalados con la masa; el desarrollo o maduración de la masa a partir de su fermentación que junto con el dióxido de carbono produce alcohol en forma de etanol, que se evapora en el proceso de horneado; y el desarrollo de precursores de sabor. La levadura logra estas acciones mediante el rompimiento inicial de azúcares, como la sacarosa, que no es fermentable, en forma de glucosa, fructosa y manosa, con la capacidad que presenta para producir numerosas enzimas como proteasas, peptidasas, invertasas, hidrolasas, maltasas, fosfatasas, galactosidasas, etc. Estas son empleadas para producción de dióxido de carbono, aldehídos, cetonas, éteres, entre muchos otros, que son compuestos responsables del aroma y sabor característico del pan a través de las reacciones complejas que se llevan a cabo con la levadura. Como se mencionó anteriormente, en la elaboración de pan cuando se utiliza levadura existe una fermentación alcohólica que puede ser definida en términos generales como la conversión enzimática de carbohidratos en etanol y dióxido de carbono, como productos principales, siendo un proceso anaeróbico; y para que exista el crecimiento y reproducción de la levadura se requieren nutrimentos adicionales como azúcares fermentables, fuente de nitrógeno (amonio, urea, aminoácidos y amidas), azufre, vitaminas solubles en agua y minerales, los cuales pueden adicionarse en la formulación (Márquez, 2001).

b) Agentes leudantes

Es una sustancia o mezcla de sales inorgánicas (fosfatos y sulfatos) con sales orgánicas (bicarbonatos y carbonatos), que es adicionada a la formulación como aditivo alimentario. Generalmente esta mezcla se realiza con una base de almidón de maíz o de arroz que controla el grado de humedad. Estos compuestos tienen la propiedad de generar gas al contacto con agua a una temperatura adecuada y, de esa manera, aumentar el volumen y disminuir la densidad de una masa. También conocidos como “polvos para hornear” o “leudantes químicos”; en la industria de panificación, son utilizados cuando la fermentación no se efectúa con levadura de origen biológico (Rodríguez, Otero & Tabares, 2020).

En el proceso de horneado, el gas generado junto con el vapor de agua y el aire atrapado quedan entrelazados en forma de burbujas con la masa, ejerciendo una presión a medida que los gases se calientan en el interior y por consiguiente la red tridimensional conformada por las proteínas del gluten se expande.

Estas burbujas deben ser abundantes, pequeñas y tener una distribución homogénea para obtener así la textura porosa genuina del pan. Los polvos para hornear están constituidos por bicarbonato de sodio o de manera análoga a este el carbonato de amonio, con uno o más ácidos o sales ácidas y un diluyente, típicamente almidón o carbonato de calcio. Sin embargo, el uso del carbonato de amonio es más restringido por generar amoníaco que llega a permanecer en el pan provocando cambios sensoriales y se ha sustituido por el bicarbonato de sodio, este sólo se utiliza en galletas o en masas con muy bajo contenido de humedad (Badui, 2006).

Entre los ácidos o las sales ácidas más comunes, destacan el ácido tartárico, el tartrato ácido de potasio (bitartrato o cremor tártaro), el sulfato sódico-alumínico, el ortofosfato monocálcico y el pirofosfato ácido de sodio. El ácido fumárico, siendo un agente acidulante puede reemplazar los ácidos leudantes mencionados previamente, y tener el mismo efecto funcional o incluso mejorarlo, contribuyendo de este modo a la disminución de aditivos en las formulaciones y obteniendo productos alineados a las nuevas tendencias del mercado que implican la menor cantidad de aditivos. Como también se emplea la glucono- δ -lactona, este compuesto dada su lenta descomposición genera ácido glucónico que actúa como agente activo (Badui, 2006; López, Cardona & Rodríguez, 2017).

Los agentes leudantes se seleccionan principalmente en función de su reactividad, teniendo distinta velocidad y temperatura de reacción para liberar el gas. Los polvos para hornear se clasifican por tipo de liberación (acción simple o doble). En la fase líquida de la masa el ácido y la sal reaccionan entre sí, es donde juega un papel importante el componente inerte de la harina, como el almidón, evitando que se genere una reacción espontánea (Rodríguez, Otero & Tabares, 2020).

Ingredientes adicionales

Se pueden emplear una inmensa diversidad de ingredientes puesto que las masas de los productos de panificación son muy versátiles a la hora de incorporar ingredientes, por ejemplo, edulcorantes (azúcares y jarabes), derivados lácteos (leche), aceites y grasas, huevo, saborizantes entre muchos otros (Boatella, 2004).

a) Edulcorantes

Entre los ingredientes más utilizados se encuentran los edulcorantes (calóricos y no calóricos). Tienen como función principal aportar sabor dulce al producto. Los azúcares añadidos a la masa como la sacarosa, glucosa, fructosa, maltosa, dextrinas y jarabes, sirven de sustrato para la levadura en el proceso de fermentación, donde la sacarosa granulada proveniente de la caña de azúcar es la más utilizada. También afecta la textura reteniendo el agua en la miga y el color oscuro provocado por reacciones de Maillard (Márquez, 2001).

Dentro de los edulcorantes no calóricos, se pueden emplear una inmensa variedad de estos. Es importante considerar que el o los edulcorantes sean termorresistentes, pues serán sometidos a temperatura elevada al momento de hornear el producto. Los polioles son considerados como compuestos no calóricos, pero si hay una absorción parcial en el intestino, estos operan como sustitutos de azúcar, agentes de volumen, espesantes, humectantes, antiapelmazantes y algunos dan textura cremosa (Badui, 2006; Fennema, 2008).

b) Productos lácteos

Los productos lácteos en la formulación garantizan un aumento en la calidad del pan por su aporte nutricional, mejora la textura y el color de la corteza. Industrialmente la leche en polvo descremada es la presentación más utilizada, esta contiene una mayor cantidad de riboflavina y minerales. La leche da un alto valor nutritivo a los productos, ya que se complementa el aporte de aminoácidos, tiene un efecto enlazante sobre las proteínas de la harina reteniendo agua en el horneado, así la miga se mantiene suave durante su vida de anaquel. Los sustitutos de leche también son implementados con frecuencia, los cuales están formados esencialmente del suero de la leche y de otros sustitutos parciales

de leche en mezclas como caseinato de sodio, lecitina, leche descremada, fosfato de calcio, por lo general se emplean en presentación en polvo (Márquez, 2001).

c) Grasas y aceites

Las grasas y aceites dependiendo del producto a desarrollar van a mejorar la plasticidad de la masa, dan suavidad a la miga del pan y a la estructura del gluten (en caso de contenerlo en la formulación), impiden la salida de gases producidos en la fermentación, imparte a la estructura de la masa impermeabilidad al vapor de agua que se desarrolla durante la cocción ayudando a lograr el volumen deseado.

Sin embargo, en productos que contengan un alto contenido de grasas o aceites se ven afectados en la vida de anaquel, disminuyendo por las reacciones de rancidez oxidativa, cuando por acción de factores externos los ácidos grasos se oxidan. Los factores externos que favorecen la oxidación de la grasa son la presencia de oxígeno atmosférico, grado de insaturación de los ácidos grasos, luz, temperatura, ausencia de antioxidantes, presencia de metales pesados, entre otros (Márquez, 2001; Badui, 2006).

d) Huevo

El uso del huevo en productos de panificación también contribuye al valor nutricional por ser una importante fuente de proteínas de alta calidad ya que aporta todos los aminoácidos esenciales. En la yema contiene grasas, proteínas, vitaminas (A, D, E, K y del complejo B) y minerales (hierro, fósforo y calcio).

La yema es de gran importancia para impartir el color y sabor de la miga, sobre todo en aquellos productos que no se permite el uso de colorantes artificiales debido a que forma parte de reacciones de oscurecimiento con azúcares reductores.

La proporción entre los ácidos grasos saturados e insaturados del huevo es nutricionalmente recomendable, entre ellos se encuentra la lecitina que actúa en el pan como emulsificante. Las proteínas de la clara del huevo tienen diversas funciones, entre ellas puede aportar a la estructura una gran cantidad de proteínas con la propiedad de formar espuma al momento de ser parcialmente batidas que al desnaturalizarse originan una estructura aireada que sostiene otros ingredientes, es capaz de aumentar su

volumen de 5 a 6 veces su propio peso. Al tener una gran cantidad de agua, promueve la retención de agua y la humectación de la miga (Márquez, 2001).

Aditivos Alimentarios

Debido a múltiples variedades genéticas y ambientales, es frecuente la necesidad de emplear aditivos con el fin tecnológico de lograr un producto de buen volumen, aspecto, aroma, sabor y textura. Se emplean los diversos tipos de aditivos, normalmente en mezclas y se venden bajo nombres comerciales. Constantemente los nuevos aditivos del mercado permiten mejorar la calidad de la masa y las características del producto final, prolongando la conservación de los productos de panificación (Linlaud, 2014).

Los aditivos alimentarios pueden clasificarse en varias familias según su funcionalidad: acidulantes, antioxidantes, conservadores, edulcorantes, emulsificantes, enzimas, leudantes, hidrocoloides, humectantes, texturizantes, etc. (Linlaud, 2014).

Los hidrocoloides, en particular, son aditivos que poseen la capacidad de regular la absorción, distribución y retención del agua en la masa, fortaleciendo así la estructura de la miga del producto, mejorando significativamente el rendimiento, vida útil y la tolerancia al envejecimiento (Gosset, 2015).

5.3. Envejecimiento del pan.

La calidad del pan se relaciona a la retrogradación del almidón de manera directa, con la modificación en las cadenas de amilosa y amilopectina. Durante el cocimiento, parte de la amilosa se difunde fuera del gránulo y al enfriarse ocurre la retrogradación (este proceso de difusión ocurre más rápido a temperaturas altas), de este modo las moléculas de la amilopectina contenidas en el gránulo quedan rodeadas con los restos de amilosa.

Durante los primeros días de almacenamiento (aproximadamente 5 días), el envejecimiento del pan se ve manifestado básicamente con la recristalización de las cadenas de amilopectina y la formación de una red de almidón continua, rígida y parcialmente cristalina.

En el caso de un pan fresco las cadenas ramificadas se extienden completamente, mientras que en un pan duro cuando la miga se rigidiza, la corteza pierde su textura crujiente y el sabor del pan desaparece parcialmente cuando las ramas de estas cadenas se unen entre sí debido a la extracción del agua de las redes amorfas en la miga del pan y reduce la cantidad de agua congelable, indicando que este polímero ya está retrogradado (Badui, 2006; Bosmans, 2013).

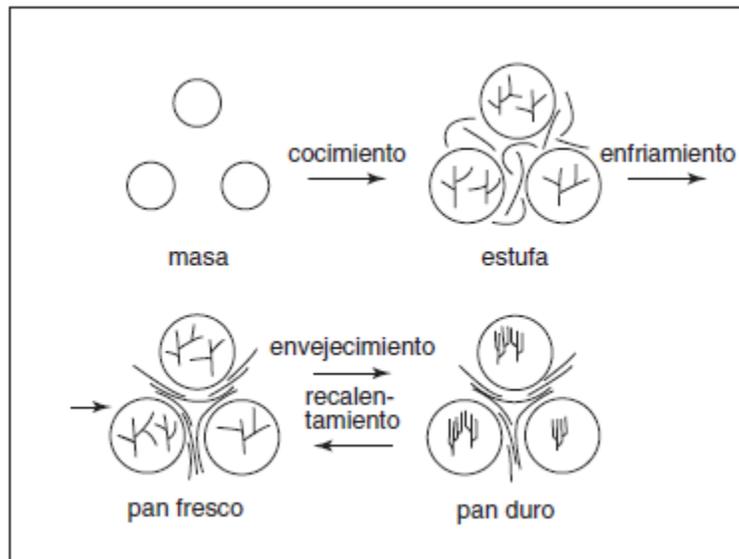


Figura 1. Esquema de la función de las fracciones del almidón en el envejecimiento del pan sin emulsionantes. Fuente: Badui (2006).

Cuando las proteínas y los polisacáridos se mezclan con agua a altas concentraciones, como en la masa del pan, se separan en fases y la fase de polisacáridos se enriquece con agua. El almidón tiene una mayor afinidad por el agua que el gluten. Al ser inmiscibles las proteínas y el almidón, da lugar a la difusión del agua del gluten al almidón durante el almacenamiento del pan, aquí el agua migra de la miga a la corteza, reduciendo la humedad de la miga aún más (Bosmans, 2013).

Los hidrocoloides afectan la gelatinización y retrogradación del almidón. A través de una fuerte asociación de la cadena lineal de amilosa con el tipo y la concentración del hidrocoloide empleado, resulta en una disminución de la retrogradación del almidón. La

adición de hidrocoloides se emplea para mejorar la sensación en boca al cambiar las propiedades viscoelásticas de los productos de panificación horneados dando como resultado productos más suaves, con gran volumen, estructura uniforme de la miga, aportando mayor tolerancia al envejecimiento y aumentando la vida de anaquel (Salehi, 2019).

6. Hidrocoloides.

La palabra goma se deriva del término egipcio *quemi*, o *kami*, que se refiere a la exudación pegajosa de la planta *Acanthus*. En Asia, en los años 800 al 600 A.C, se utilizaron las gomas de algas marinas como componentes de varias preparaciones de alimentos hindúes. Con el paso del tiempo muchos exudados de plantas se descubrieron y la palabra «goma» se aplicó a todo tipo de material con propiedades adhesivas, espesantes y gelificantes, tornándose más confusa su clasificación.

Después de la II Guerra Mundial varios científicos en el campo (como Smith, Montgomery, Whistler, Glicksman y otros), unieron esfuerzos para adoptar una terminología uniforme. Actualmente, para propósitos prácticos las «gomas» se han dividido en dos tipos, las solubles y las insolubles en agua.

Las primeras todavía se conocen como «gomas», pero gradualmente han sido reemplazadas por una designación más científica como «coloides hidrofílicos», o preferiblemente «hidrocoloides». Las segundas se refieren al chicle, la goma rosina, el látex de caucho, entre otros, y se conocen en sentido general como «resinas» (Rodríguez & Sandoval, 2003).

Los hidrocoloides se pueden agrupar en tres categorías principales como se muestra en la Tabla 1; se observa entonces que existen hidrocoloides naturales, semisintéticos y sintéticos.

Tabla 1. Clasificación de hidrocoloides.

Naturales	Semisintéticos	Sintéticos
Exudados de árboles	Fermentación microbiológica	Polímeros vinílicos
Acacia o Arábiga	Xantana	Polivinilpirrolidona
Tragacanto	Gelana	Polivinilalcohol
Karaya	Dextrana	Polímero carboxivinílico
Ghatti	Derivados de celulosa	Polímeros acrílicos
Alerce	Carboximetilcelulosa	Ácido poliacrílico
Semillas	Metilcelulosa	Poliacrilamida
Guar	Celulosa microcristalina	Polímeros de óxido de etileno
Algarrobo	Hidroxipropilmetilcelulosa	
Tara	Derivados de almidón	
Cassia	Almidón carboximetílico	
Goma de Tamarindo	Almidón carboxietílico	
Psyllium plantago	Almidón carboxipropílico	
Mezquite	Almidones modificados (en general)	
Raíces	Otras fuentes	
Konjac	Pectina de bajo metoxilo	
Extractos de algas marinas	Alginato de propilenglicol	
Rojas	Alginato de tictanolamina	
Cafés	Carboximetilguar	
Agar Agar	Carboximetilalgarrobo	
Carrageninas		
Otras fuentes		
Pectina		
Gelatina		
Almidón		
Celulosa		

Fuente: Badui (2006).

Los hidrocoloides son aquellos polisacáridos solubles en agua y los polisacáridos que han sido modificados. Estos son empleados en formulaciones de alimentos y en otras aplicaciones industriales con el propósito de mejorar sus propiedades estructurales.

Son un grupo de polímeros de cadenas largas y alto peso molecular (polímeros de origen vegetal, animal, microbiano o sintético) cuya composición química y física les permite dispersarse en agua fría o caliente lo cual produce un aumento de la viscosidad, obteniendo así un efecto gelificante o espesante (Badui, 2006).

Los hidrocoloides naturales se obtienen de fuentes vegetales, esencialmente de naturaleza glucídica, al igual que de otras fuentes animales de naturaleza proteica como es el caso de la gelatina. Los hidrocoloides semisintéticos se elaboran a partir de un polímero natural que se somete a alguna transformación física o química; en esta categoría se encuentran aquellas producidas por fermentación microbológica como la goma xantana, al igual que los almidones modificados, las pectinas, las carrageninas y los derivados celulósicos.

Las gomas sintéticas son polímeros vinílicos y acrílicos que hasta la fecha no están aprobadas para el consumo humano, aunque presentan muchas propiedades similares a las que poseen las gomas naturales.

Las propiedades reológicas de los hidrocoloides son debido a su gran capacidad de retención de agua, esta expresión hace referencia a la cantidad de agua que las macromoléculas pueden retener sin liberarla, siendo por lo general, un polisacárido o bien una proteína.

La retención de agua puede causar la formación de un gel, donde los grupos hidroxilo en el hidrocoloide interactúan con las moléculas de agua del medio, generando propiedades coloidales, como son la viscosidad o la gelificación por la formación de una red tridimensional, esto depende de diversos factores intrínsecos como el tipo de polímero, linealidad, peso molecular, etc. y extrínsecos como pH, temperatura, fuerza iónica, etc. (Badui, 2006; Fennema, 2008).

6.1. Propiedades funcionales.

La elección de un hidocoloide específico para una aplicación particular va a depender de diversos factores dada su función tecnológica y del tipo de matriz, lo cuales consisten en la viscosidad o la fuerza de gel deseada, las propiedades reológicas, el pH del sistema, las temperaturas del proceso, las interacciones con otros ingredientes, la textura buscada y el costo de la cantidad necesaria para alcanzar estas propiedades. Los geles de polisacáridos contienen en general sólo alrededor de un 1% de polímero, ya que pueden contener hasta un 99% de agua y llegan a ser bastante fuertes.

Generan propiedades funcionales secundarias que dependen del tipo de hidocoloide y la concentración, dichas funciones son: estabilizantes, emulsificantes, enturbiantes, agente de suspensión, adhesivos, formadores de películas, extensores, vehículo de sabores, floculantes, etc. Estas gomas se comercializan en forma de polvo de diversos tamaños de partícula y se utilizan ampliamente dentro de la industria alimentaria.

La eficacia de los hidocoloides como agentes de textura depende del alimento al que se pretende incorporar, por lo que es necesario estudiar su aplicación en cada caso (Badui, 2006; Fennema, 2017; Sánchez, 2021; Márquez, 2001; Aurica, 2015).

Hoy en día existen varias gomas que buscan retardar el envejecimiento del pan. Múltiples estudios científicos han demostrado la efectividad de estos aditivos en el mantenimiento de la calidad del pan, ya que ayudan a la disminución de la retrogradación del almidón y el incremento en el volumen específico (Gutiérrez, 2015).

Debido a los diferentes efectos que se presentan al adicionar hidocoloides en los alimentos, el uso en la industria alimentaria es muy extenso, dando lugar a una gran variedad de productos (Tabla 2).

Tabla 2. Funciones y aplicaciones de los hidrocoloides en los alimentos.

Función	Aplicación en Alimentos
Inhibidor de la cristalización	Helados
Emulsificante	Aderezos, bebidas
Encapsulante	Sabores, vitaminas microencapsuladas
Formador de películas	Productos cárnicos y confitería
Agente floculante o clarificante	Vino, cerveza
Estabilizador de espumas	Cerveza, cremas
Agente gelificante	Pan, Postres, Mermeladas, Gomitas
Estabilizador	Cerveza, bebidas, lácteos
Agente espesante	Salsas, mermeladas
Texturizante y ligante	Pan, Postres

Fuente: Badui (2006).

6.2. Físicoquímica de hidrocoloides.

Como se mencionó anteriormente, el efecto de cada hidrocoloide para proporcionar la textura deseada en el alimento depende de diversos factores. Definir lo que hoy entendemos por textura de los alimentos no ha sido una tarea sencilla debido, principalmente, a que este atributo es el resultado de la percepción de estímulos de distinta naturaleza, y a que su evaluación por el hombre no es instantánea, sino que comprende de un conjunto de propiedades reológicas y de estructura (geométricas y de superficie) de un producto perceptibles por los mecano-receptores, los receptores táctiles y en ciertos casos, por los visuales y los auditivos que se integran en el cerebro para dar una sensación única (UNE, 1994).

Las características de textura de la base del alimento, son en primer lugar, la viscosidad del medio. Esto hace referencia al conjunto de propiedades reológicas y de estructura, de manera que se considera que las propiedades mecánicas se refieren a aquellas relacionadas con el flujo y la deformación, terreno de la reología.

La reología se ocupa de la deformación de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, trata de la fricción de sólidos, el flujo y la reducción de la partícula. Este parámetro contribuye al conocimiento de la estructura del alimento siendo muy importante para la aceptación del consumidor hacia el producto; así como al diseño de la maquinaria y se logra un control en el proceso (evitando pérdidas y, de manera industrial, se tiene un funcionamiento adecuado de los equipos de manera continua) (Díaz, 2018).

La viscosidad de una solución se debe al tamaño y a la forma de las moléculas de cada uno de estos polímeros, al igual que a la conformación que adoptan en el solvente. Las formas de las moléculas de los polisacáridos en solución están en función de las oscilaciones en torno a los enlaces de las uniones glicosídicas. Cuanto mayor es la libertad interna de cada enlace glicosídico, mayor es también el número de conformaciones posibles en cada segmento individual.

Debido a esta flexibilidad entre los enlaces de la cadena se desarrolla un fuerte estado entrópico que induce a la cadena a adoptar en solución formas desordenadas o de hélices al azar (Figura 2). Cabe mencionar que la mayor parte de los polisacáridos presentan desviaciones formando hélices rígidas o extendidas, cuya naturaleza depende de la composición de los monosacáridos y sus enlaces (Fennema, 2008).

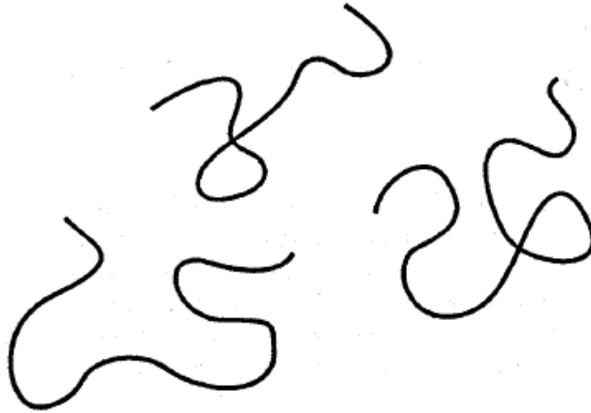


Figura 2. Moléculas de polisacárido plegadas al azar (Fennema, 2008).

En el caso de las moléculas de los polímeros lineales al estar en solución son capaces de girar y flexionarse, de modo que ocupan un espacio mayor que su tamaño real. A menudo colisionan entre sí, creando fricciones, consumiendo energía, y produciendo por tanto viscosidad. Estas cadenas poseen sólo un tipo de carga iónica (que siempre es una carga negativa derivada de la ionización de los grupos carboxílicos o semiésteres de sulfato) se sitúan en una configuración extendida debida a la repulsión de las cargas del mismo signo que incrementa la longitud de la cadena de extremo a extremo, por lo que el volumen ocupado por la molécula es mayor. En consecuencia, estos polímeros tienden a producir soluciones de alta viscosidad, aunque se encuentren en bajas concentraciones.

Por el contrario, los polímeros ramificados ocupan menos espacio y colisionan entre sí con menor frecuencia, dando como resultado soluciones menos viscosas. La viscosidad dependerá tanto del peso molecular como de su extensión y rigidez, es decir, de la forma y flexibilidad de la cadena del polímero en solución (Fennema, 2008).

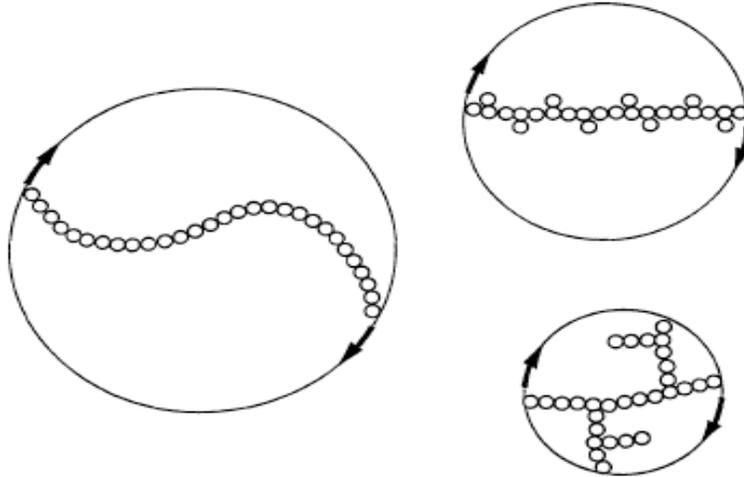


Figura 3. Representación esquemática de los tipos de polisacáridos lineales, ramificados y linealmente ramificados (Belitz y cols, 2009).

Los polisacáridos linealmente ramificados, es decir, los polímeros con una cadena larga y con muchas cadenas laterales cortas, son una combinación perfecta de los polisacáridos lineales y ramificados.

La cadena lineal es responsable de la alta viscosidad de la solución, sin embargo, con la presencia de las numerosas cadenas laterales cortas debilita enormemente las interacciones entre las moléculas (Belitz y cols, 2009).

Los polisacáridos regulares, no ramificados, que se disuelven en agua por calentamiento, forman dispersiones moleculares inestables que precipitan o gelifican rápidamente al colisionar segmentos de las largas moléculas y formar enlaces intermoleculares a lo largo de distancias variables de unas pocas unidades. Los alineamientos cortos se extienden y refuerzan en gran medida las interacciones dentro de la estructura, quedando así un núcleo organizado. Cuando los segmentos de otras cadenas se colisionan con este núcleo se unen a él, incrementando el tamaño de la fase ordenada y cristalina. Al seguir uniéndose forman micelas que alcanzan un tamaño en el que precipiten gracias a las fuerzas gravitacionales.

Esto se puede notar en la amilosa del almidón, al disolverse en agua con ayuda del calor, y se enfría, se produce una agregación molecular donde ocurre la precipitación, en el proceso de retrogradación (Fennema, 2008).

Durante el enfriamiento del pan y otros productos de panadería, las moléculas de amilosa se asocian para formar una estructura más firme. Conforme avanza el tiempo de conservación, las ramas de amilopectina se asocian entre sí, lo que resulta en el envejecimiento del pan.

Las soluciones de los hidrocoloides están constituidas por dispersiones de moléculas hidratadas y/o agregados de moléculas hidratadas. Su comportamiento de flujo está determinado por el tamaño, forma, facilidad de deformación dada su flexibilidad en los enlaces, por la presencia y magnitud de cargas en estas moléculas y/o agregados hidratados (Fennema, 2008).

La viscosidad se define como la resistencia de una solución a fluir bajo una fuerza aplicada o un esfuerzo de cizalla. Los polímeros en disolución obedecen al modelo de Newton, estos pueden ser newtonianos o no newtonianos. Dentro de los fluidos newtonianos se encuentran aquellos que exhiben cambios en su viscosidad directamente proporcional a la velocidad de deformación. Los fluidos no newtonianos son independientes o dependientes del tiempo (Badui, 2006; Sánchez, 2021).

Respecto a estos últimos existen dos tipos generales de flujo de las soluciones de polisacáridos:

- 1) *Pseudoplástico*: La viscosidad de los fluidos pseudoplásticos depende de la fuerza aplicada o de cizalla, al incrementar la velocidad del flujo o de corte presenta un incremento en la fuerza de cizalla; es decir, cuanto más rápido fluye el fluido, menos viscoso es. La velocidad de flujo puede ser incrementada aumentando la fuerza aplicada por vertido, masticación, deglución, bombeo, mezclado, etc. El cambio en la viscosidad es independiente del tiempo; en otras palabras, la velocidad de flujo cambia instantáneamente al modificar la fuerza de cizalla. Este tipo de flujo es el más común en soluciones de gomas.

- 2) *Tixotrópico*: La viscosidad de estas soluciones disminuye debido a una fuerza de cizalla constante, siendo un flujo dependiente del tiempo, y vuelve a alcanzar la viscosidad original cuando cesa la fuerza, también se ve reflejado después de un intervalo de tiempo definido y medido, por lo que la reducción de la viscosidad

cuando incrementa la velocidad de flujo no ocurre instantáneamente. Este comportamiento es debido a que se produce una transición gel → solución → gel. En otras palabras, una solución tixotrópica en reposo es un gel débil (capaz de ser vertido).

A lo referido anteriormente, usualmente las gomas de mayor peso molecular son más pseudoplásticas, ya que las moléculas de polímeros lineales forman soluciones cuya viscosidad disminuye con la fuerza de cizalla. Se denomina como de «flujo largo» a las soluciones de gomas menos pseudoplásticas, y de «flujo corto» a las soluciones más pseudoplásticas (Fennema, 2008).

En la ciencia de los alimentos, un material menos pseudoplástico es el que posee las características de ser espeso, de adherirse a la boca y de ser difícil de deglutir. Uno más pseudoplástico debe producir una marcada pérdida de viscosidad a fuerzas de cizalla bajas derivadas de la masticación y la deglución (Fennema, 2008).

Los geles tienen mucha importancia en la industria de alimentos por sus características, es una matriz o red tridimensional continua de macromoléculas interconectadas que atrapan e inmovilizan a la fase líquida en sus espacios aumentando en gran medida su volumen. Los geles presentan varios grados de rigidez y elasticidad, y muestran estructuras semisólidas y sólidas. El mecanismo de formación de un gel, implica la interacción cadena-cadena de segmentos de secuencia de una conformación ordenada, interrumpidos por segmentos enrollados aleatoriamente que corresponden a una secuencia de cadena desordenada, se puede aplicar generalmente a geles de otras macromoléculas.

En muchos alimentos, el gel está constituido por moléculas de un polímero (polisacárido y/o proteína) o por fibrillas formadas a partir de moléculas de polímero unidas por enlaces de hidrógeno, asociaciones hidrofóbicas (fuerzas de Van der Waals), fuerzas iónicas, «enredos al azar» o enlaces covalentes; y la fase líquida es una solución acuosa de solutos de bajo peso molecular y las porciones de las cadenas de polímero (Figura 4). Además de una longitud de cadena suficiente, la interrupción de una secuencia periódica y su conformación ordenada da a la estructura del gel la capacidad de endurecimiento.

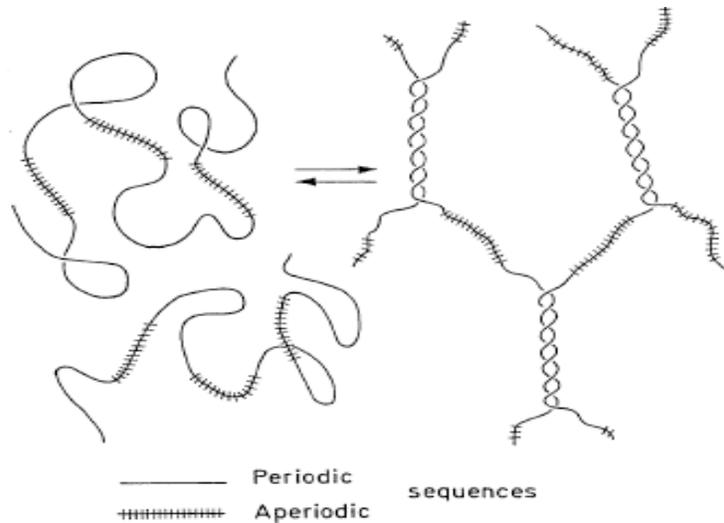


Figura 4. Representación esquemática de un proceso de ajuste del gel (Belitz y cols, 2009).

La interrupción se consigue mediante la inserción en la cadena de un residuo de azúcar de diferente geometría de enlace (carragenina, alginatos, pectina), mediante una distribución adecuada de grupos carboxilo libres y esterificados (glicuronanos) o mediante la inserción de cadenas laterales (Badui, 2006; Fennema, 2008; Belitz y cols, 2009).

6.3. Estabilidad.

Algunos geles son conocidos como termorreversibles, ya que tienen la capacidad de pasar del estado sólido al líquido (dispersión tipo sol), gracias a la adición o eliminación mediante un calentamiento (energía térmica) en un rango de temperatura de 55°C a 79°C y enfriamiento posteriormente. Este cambio es debido a sus enlaces de tipo puente de hidrógeno y fuerzas de Van der Waals que mantienen su estructura. Unos ejemplos muy representativos de geles termorreversibles son la gelatina o los geles de agar.

En el caso de las proteínas y algunos polisacáridos que en su estructura poseen enlaces covalentes e interacciones hidrofóbicas, el gel es termoestable. Este tipo de gel es más fuerte y resistente que el termorreversible, no rompiéndose cuando se congela y se

descongela, al igual que tiene resistencia a enzimas y a la hidrólisis ácida (Badui, 2006; Sánchez, 2021). Los polisacáridos son bastante menos estables a su rotura hidrolítica que las proteínas. Durante el proceso y/o almacenamiento de los alimentos llegan a sufrir despolimerización. Las gomas utilizadas en los alimentos asiduamente son despolimerizadas de forma deliberada, por consiguiente, se utiliza una concentración relativamente elevada para proporcionar cuerpo al producto sin producir una viscosidad no deseada (Fennema, 2008).

La estabilidad de los alimentos radica en mantener las características físicas, sensoriales y organolépticas desde su envasado hasta el momento de su consumo. En los sistemas gelificados la inestabilidad es producida por un fenómeno conocido como sinéresis (Díaz, 2018). Esta ocurre cuando existe una separación en las zonas de unión de las fases que componen una suspensión o mezcla, haciendo más compacta la red tridimensional y se ve identificada con la aparición de gotas de líquido en la superficie del gel, siendo generalmente este líquido un sol diluido (Badui, 2006; Fennema, 2008).

La sinéresis en geles se ve influida por varios factores:

- 1) Es afectada por el pH del sistema y alcanza su máximo cuando se presenta el punto isoeléctrico.
- 2) La temperatura a la que se mantiene el gel puede acelerar la sinéresis; la temperatura puede ser baja o alta, de acuerdo con el tipo de gel y su tendencia a la sinéresis.
- 3) La presión ejercida sobre un gel contribuye a su sinéresis. La naturaleza de la fase dispersa tiene un efecto sobre la sinéresis, por ejemplo, al disminuir la concentración de almidón en un gel aumenta su sinéresis (Badui, 2006).

Los hidrocoloides también se clasifican dentro del grupo de aditivos alimentarios conocidos como estabilizantes, sin embargo, aunque la sinéresis usualmente sucede como resultado de una desestabilización de un sistema alimentario o gel, la presencia de cierto tipo de gomas obedece a reducir este defecto de calidad. En algunos casos la adición de un hidrocoloide se utiliza con fines de formar un gel y/o aumentar la viscosidad del medio, lo cual no presenta en sí una función estabilizante; una goma sí puede ser agregada con el fin de prevenir la sinéresis o bien la separación de fases (emulsiones), convirtiéndose, por tanto, en un estabilizante (Ponce & Calderón, 2016).

6.4. Estatus legal.

El estatus legal de los aditivos alimentarios se rige bajo diferentes legislaciones correspondientes de cada país, las cuales cumplen con el mismo objetivo: proteger la salud del consumidor. Es necesario comprobar que estas sustancias no puedan causar efectos perjudiciales para la salud humana antes de utilizarlos. Por esta razón, el Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA, por sus siglas en inglés) es el órgano internacional encargado de la evaluación de la inocuidad de los aditivos alimentarios, que a su vez depende del Codex Alimentarius.

En los alimentos comercializados internacionalmente solo se pueden utilizar aditivos que, tras ser evaluados, hayan sido considerados inocuos por el JECFA. Esta evaluación se basa en las dosis máximas de uso establecidas por la Comisión del *Codex Alimentarius* (OMS, 2018).

La norma general para los aditivos alimentarios del *Codex Alimentarius* (CODEX, 1995) define como aditivo alimentario a 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 intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, 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.

También se menciona que se entenderá que el uso de un aditivo alimentario no es motivo de preocupación en lo que respecta a la inocuidad en las condiciones de uso que, según la JECFA, no dan lugar a preocupaciones de orden toxicológico (CODEX, 1995), considerando a los hidrocoloides como "GRAS". Este término es un acrónimo de la frase «Generalmente Reconocido como Seguro». De acuerdo con lo anterior, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos, los considera como aditivos alimentarios, cuyo límite de aplicación está

regido por las buenas prácticas de manufactura (Food & Drug Administration, 2019; *Codex Alimentarius*, Report 51st session, 2019).

El Consejo de la Comunidad Europea estableció en 1969 un Comité Permanente de Expertos, delegados de los respectivos Gobiernos, que ya han elaborado un buen número de Normas y Reglamentos sobre algunos Alimentos y sus Aditivos para armonizar las diferencias entre las legislaciones (Schmidt-Hebbel, 1990) de los 27 países miembros junto con los países asociados.

Define como aditivo alimentario a “cualquier sustancia que no se consuma normalmente como alimento en sí mismo y que no se utilice normalmente como ingrediente característico de un alimento, tenga o no valor nutritivo, cuya adición intencional al alimento con un fin tecnológico en la fabricación; el procesamiento, la preparación, el tratamiento, el envasado, el transporte o el almacenamiento de dichos alimentos resulta, o se puede esperar razonablemente que den lugar a que ellos o sus subproductos se conviertan directa o indirectamente en un componente de dichos alimentos”. Clasificando a los hidrocoloides como aditivos alimentarios; cabe mencionar que todos los aditivos alimentarios bajo este reglamento se identifican con un número E (Official Journal of the European Union, 2008).

La legislación mexicana para los aditivos alimentarios a través del Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias, se encuentra bajo el cargo de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). La definición de aditivo alimentario es análoga a la de *Codex Alimentarius*, difiriendo que la adición de los aditivos es al producto en el acuerdo mexicano, mientras que en el *Codex Alimentarius* se hace la adición al alimento. En este acuerdo los hidrocoloides se consideran aditivos alimentarios, y establece que el límite de aplicación es de acuerdo con las buenas prácticas de manufactura o de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana del producto en que se aplique. Cabe aclarar que algunos hidrocoloides que se consideran fibras tienen límites de uso muy elevados (COFEPRIS, 2012).

6.5. Principales hidrocoloides utilizados en productos de panificación.

A pesar de la inquietud y los temores de los consumidores en torno al uso de los aditivos alimentarios y a pesar de los intentos por parte del productor para reducirlos en el procesamiento de alimentos, el uso de los agentes de textura (espesantes, estabilizantes, espumantes, gelificantes, texturizantes, etc.) presenta claras ventajas en la producción de los alimentos. Los aditivos alimentarios mejoran la seguridad, la calidad de los alimentos desde el punto de vista sensorial y algunos, posiblemente, desde el punto de vista nutricional.

Por ello, se debe tener una información adecuada hacia el consumidor ya que se percibe generalmente al aditivo alimentario como algo “no natural” y es necesario que se comprenda que los aditivos texturizantes pueden ayudar a la elaboración de alimentos preparados. Desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, este grupo de aditivos ha sido unos de los menos cuestionados y son pocos los aditivos de este grupo a los que se les ha asociado algún riesgo para la salud (EPSA, 2013).

En general, los polisacáridos se encuentran en muchos productos alimenticios, partiendo de su papel natural como sustancias que proveen estructura a frutas y verduras, o sustancias nutritivas asimilables de cereales, tubérculos y legumbres.

Los polisacáridos aislados se utilizan en gran medida en el procesamiento de alimentos, ya sea en forma nativa o modificada, como agentes espesantes o gelificantes (almidón, alginato, pectina, goma guar); estabilizantes para emulsiones y dispersiones; sustancias de recubrimiento formadoras de película para proteger los alimentos sensibles de cambios no deseados; rellenos inertes para aumentar la proporción de fibras no digeribles en una dieta o simplemente como agentes de volumen (Belitz y cols, 2009).

A continuación, la Tabla 3. ofrece una descripción general de las características químicas y propiedades fisicoquímicas de los principales hidrocoloides utilizados en la tecnología de panificación.

Tabla 3. Características de los principales hidrocoloides utilizados en productos de panificación.

Nombre	Principales constituyentes	Fuente	Función tecnológica	Propiedades características
Goma Guar (Guarano)	Cadena principal de unidades D-manopiranosas ligada a residuos de D-galactopiranosas, en proporción 2:1, unidos por enlaces glicosídicos, puede describirse químicamente como galactomanano.	Obtenido del endospermo molido de semillas de <i>Cyamopsis tetragonolobus</i> (L.) Taub (Fam. Leguminosae).	Estabilizante, espesante, emulsificante, incrementador de volumen, gelificante.	Es dispersable en agua fría o caliente, formando un sol, al 1% con un pH entre 5.4 y 7.0. No gelifica, se puede convertir en un gel mediante la adición de pequeñas cantidades de borato de sodio. Posee alta viscosidad en bajas concentraciones. Genera soluciones tixotrópicas.
Goma de Algarrobo (Goma carobo, harina de algarrobo, algarroba, garrofin, goma St. John's)	Cadena principal de unidades D-manopiranosas ligada a residuos de D-galactopiranosas, en proporción 4:1, unidos por enlaces glicosídicos, puede describirse químicamente como galactomanano.	Obtenido del endospermo molido de <i>Ceratonia siliqua</i> (L.) Taub. (Fam. Leguminosae).	Espesante, estabilizante, emulsificante, gelificante.	Es dispersable en agua fría y debe ser calentado entre 75 y 85°C para lograr su hidratación total, formando un sol. Actúa en pH entre 5.4 y 7.0. No gelifica, puede convertirse en un gel mediante la adición de pequeñas cantidades de borato de sodio (estos geles no son comestibles). Genera soluciones pseudoplásticas.
Goma Tara (Carruba peruana)	Cadena principal de unidades D-manopiranosas ligada a residuos de D-galactopiranosas, en proporción 3:1, unidos por enlaces glicosídicos, puede describirse químicamente como galactomanano.	Obtenido del endospermo de las semillas del arbusto <i>Caesalpinia Spinosa</i> .	Espesante, estabilizante, incrementador de volumen, gelificante.	Es dispersable en agua fría y debe ser calentado entre 75 y 85°C para lograr su hidratación total, formando un sol. Tiene una alta estabilidad en soluciones ácidas. Actúa en pH entre 4.0 y 10.0. Se hidrata totalmente sin necesidad de calentar, es por medio de agitación a velocidad alta. Estable a tratamiento térmico, resiste hasta 145°C en equipo continuo o 121°C en esterilización. Puede usarse como reemplazo de la goma de algarrobo.
Goma de Tamarindo	Contiene unidades de glucosa, xilosa y galactosa, en proporción 3:2:1. Su estructura se basa en un esqueleto de β (1-4)-D-glucano, sustituido en la posición 6 de las unidades de glucopiranosil principalmente por residuos de α -D-xilopiranosil, así como por cadenas laterales de disacáridos compuestas por residuos de β -D-galactopiranosil-(1-2)- α -D-xilopiranosil.	Obtenido de las semillas del árbol de tamarindo <i>Tamarindus Indica</i>	Espesante, estabilizante, gelificante.	Se dispersa e hidrata rápidamente en agua fría, se alcanza la viscosidad máxima al calentar la solución durante 20 a 30 min. La solución exhibe propiedades típicas de flujo no newtonianas. Con el aumento de la concentración de azúcar, la viscosidad aumentará rápidamente e incluso formar un gel cuando la concentración de azúcar es de 40 a 50%.
Goma Arábiga (Acacia)	D-galactopiranosas, L-ramnosa, L-arabinofuranosa, ácido D-glucourónico y metil glucoronico	Exudación gomosa seca que se obtiene de los tallos y ramas de <i>Acacia senegal</i> (L.) Willdenow o de especies relacionadas de <i>Acacia</i> (Fam. Leguminosae).	Espesante, emulsificante, incrementador de volumen, agente de relleno, gelificante, estabilizante, agente de glaseado	Bastante soluble en agua. Debido a su bajo peso molecular y estructura ramificada, forma soluciones poco viscosas. Es sensible al calor. Debido a las proteínas en su estructura, sus capacidades emulsionantes disminuyen con el calor. Se disuelve en una porción de agua formando una solución que fluye fácilmente antes de introducirlo en los aceites. Estable en pH ácido. Es insoluble en alcohol.
Goma Tragacanto	Fración soluble en agua: residuos de ácido D-galacturónico y D-xilopiranosas. Fracción insoluble en agua: L-arabinopiranosas, D-xilopiranosas y ácido D-galacturónico. También pueden estar presentes pequeñas cantidades de ramnosa y glucosa (derivadas de trazas de almidón y / o celulosa).	Exudación gomosa y seca que se obtiene de los tallos y ramas de <i>Astragalus gummifer Labillardiere</i> u otras especies asiáticas de <i>Astragalus</i> (Fam. Leguminosae).	Emulsificante, estabilizante, espesante, gelificante.	Soluble en agua, forma soluciones altamente viscosas aún a bajas concentraciones. Se hincha y forma geles en presencia de iones calcio. Resiste la acción de ácidos y es una de las pocas gomas exudadas de color casi blanco. Comportamiento pseudoplástico.
Agar	Agarosa: D-galactopiranosas 3,6-anhidro-L-galactopiranosas. Agarpectina: D-galactopiranosas, 3,6-anhidro-L-galactopiranosas, ácido D-glucurónico, ácido pirúvico, sulfato	Algas marinas del género <i>Gelidium</i> y <i>Gracilaria</i>	Espesante, gelificante, estabilizante, agente de relleno, incrementador de volumen, emulsificante.	Insoluble en agua fría. Una solución al 1.5% será transparente, formará un gel firme después de ebullición y enfriar a temperatura entre 34 y 43 ° C. Sus geles son muy resistentes mecánicamente y estables al calor. Sus geles son termorreversibles. Este gel no se derretirá por debajo de los 85 ° C.

Carrageninas	Sus estructuras son de varios tipos diferentes y se designan con las letras griegas κ , λ , i . Su fórmula química consiste en unidades de D-galactosa unidas por enlaces glucosídicos $\alpha(1,3)$ y $\beta(1,4)$ alternadamente; se diferencian entre ellas por la concentración de los azúcares anhidros 3,6-anhidro-D-galactosa que tengan, y por la posición en que se encuentren los grupos sulfato, así como por la cantidad de estos últimos en la molécula D-galactosa.	Producto obtenido de la extracción en agua o medio alcalino de algas de la familia algas marinas rojas (<i>Rhodophyceae</i>), siendo los géneros <i>Chondrus</i> (<i>Ch. crispus</i> , <i>Ch. ocellatus</i> , <i>Euclima cottonii</i> , <i>E. spinosum</i> , <i>Gigartina radula</i> , <i>Iridaea laminarioides</i>)	Espesante, gelificante, estabilizante, emulsificante, incrementador de volumen.	Tipos kappa (κ): El potasio es especialmente necesario para que la fracción κ gelifique; soluble en agua a temperatura superior de 65°C, cuando se enfría, se induce una transición de sol a gel que origina la formación de una estructura tridimensional. Tiene la capacidad de estabilizar las caseínas α y β contra su precipitación por iones calcio (tal como lo hace la caseína κ de manera natural). Forma geles rígidos, frágiles y termorreversibles con $K^+ > Ca^{2+}$. Gelificación sinérgica con goma de algarrobo.
Alginato	Cadenas de ácido $\beta(1,4)$ - D-manurónico y ácido $\alpha(1,4)$ -L-gulosilurónico, con secuencia y composición variables.	Se extrae de las algas café de las <i>Feoficeae</i> , siendo <i>Macrocystis pyrifera</i> , <i>Laminaria hyperborea</i> , <i>L. digitata</i> y <i>Ascophyllum nodosum</i> .	Espesante, estabilizante, gelificante, incrementador de volumen, emulsificante, agente de glaseado, espumante, humectante, secuestrante, sustancia inerte.	Solubles en agua en forma de sales alcalinas, de sodio, potasio, amoníaco o calcio. La solubilidad está controlada por el pH, la fuerza iónica y el contenido de iones gelificantes. El agua dura, es decir, agua que contiene iones como calcio, dificulta la solubilidad de los alginatos. También precipitan en condiciones ácidas (pH < 3.5) o en presencia de altas concentraciones de iones (principalmente calcio). Los alginatos de sodio, potasio y amonio son solubles en agua fría y caliente y en soluciones alcalinas. Se dispersa uniformemente los alginatos para que se hinchen y se disuelvan sin formar grumos.
Goma Karaya (Goma Esterculia, Goma kadaya, Katilo, Kutirra, Kullo)	D-galactosa, L-ramnosa, ácido D-galacturónico y ácido L-glucurónico. Los azúcares están parcialmente acetilados (13% de grupos acetilo en base al peso seco).	Exudación gomosa seca de <i>Sterculia urens</i> Roxburgh y otras especies de <i>Sterculia</i> (Fam. Sterculiaceae), o de <i>Cochlospermum gossypium</i> . De <i>Condolle</i> u otras especies de <i>Cochlospermum Kunth</i> (Fam. Bixaceae).	Espesante, estabilizante, emulsificante, incrementador de volumen, gelificante.	Una de las gomas menos solubles en agua, pero absorbe grandes cantidades de agua y produce soluciones muy viscosas que pueden desarrollar olor a vinagre por la liberación de ácido acético. Insoluble en alcohol. Relativamente estable a pH ácido si fue hidratada antes de disminuir el pH. En algunos casos se emplea como sustituto de la goma tragacanto.
Goma Xantana	D-glucopiranososa, D-manopiranososa y ácido D-glucourónico en proporción de 2.8:3.0:2.0. Además contiene grupos acetilícos y residuos de ácido pirúvico	Producida por fermentación en cultivo puro de un carbohidrato con <i>Xanthomonas campestris</i> , purificado por recuperación con alcohol isopropílico, secado y molido.	Emulsificante, estabilizante, espesante, gelificante, espumante.	Soluble en agua fría o agua caliente, es soluble en glicerol o etilenglicol a 65°C e insoluble en solventes orgánicos y alcohol. La solución viscosa resiste cambios de pH y temperatura. Se disuelve directamente en soluciones ácidas. No gelifica. Comportamiento pseudoplástico. Se degrada en presencia de agentes oxidantes y es estable a los agentes reductores. Resiste la degradación enzimática. En concentraciones mayores de 0.25% de sal la viscosidad aumenta.
Carboximetilcelulosa (Carboximetilcelulosa de sodio, CMC, celulosa modificada, goma celulosa)	Éter carboximético de 2-hidroxietil, es una mezcla de ésteres metílicos de la celulosa.	Derivado sintético de la celulosa del algodón con hidróxido de sodio y ácido monocloraético y neutralizado, que se obtiene por reacción de la celulosa alquímica con una mezcla de sosa y óxido de metilo.	Espesante, emulsificante, estabilizante, gelificante, sustancia inerte, agente de recubrimiento.	Sus propiedades dependen del grado de sustitución, normalmente entre 0.6 y 0.95. Soluble en agua y mezclas de agua-alcohol. Insoluble en solventes orgánicos. Soluciones claras y estables, pseudoplásticas o tixotrópicas. Es inversamente proporcional a la temperatura, gel termorreversible. Temperatura de gelificación entre 50 y 55°C, siendo gel muy firme. El pH óptimo es entre 5 y 9. Resiste la degradación enzimática. Presenta estabilización con presencia de sal (NaCl) y destabilización iónica con iones divalentes, mientras que los trivalentes provoca precipitación de la solución.

Hidroxiopropilmetilcelulosa (Éter 2-hidroxiopropílico de metilcelulosa; Modificado Celulosa, HPMC)	Éter 2-hidroxiopropilmetílico de la celulosa, es una mezcla de ésteres metílicos e hidroxiopropílicos de la celulosa. Debe contener grupos metoxilos e hidroxiopropoxilos.	Primer derivado sintético de la celulosa del algodón con hidróxido de sodio y ácido monocloracético y neutralizado, que se obtiene por reacción de la celulosa alquímica con una mezcla de sosa y óxido de propileno.	Estabilizante, espesante, espesante, emulsificante, gelificante, agente de glaseado, incrementador de volumen, agente de recubrimiento.	Es soluble en agua. Estable en soluciones con pH entre 3 y 11. Comportamiento pseudoplástico o tixotrópico. Forman películas al secarse y experimentan una transformación reversible de sol a gel al calentar y enfriar, respectivamente, gel termorreversible. Temperatura de gelificación en 70°C, siendo gel suave. Tienen la propiedad única de formarse gel a mayor temperatura debido a su carácter más hidrofóbico. Resiste la degradación enzimática. Con adición de sal presenta desestabilización en la red.
Celulosa Microcristalina (Gel de celulosa)	Metil 4-O-metil hexopiranosil, hexopiranosil, unidos mediante enlaces β-1,4- glucosídicos.	Segundo derivado sintético de la celulosa, que se obtiene por reacción de hidrólisis ácida de la celulosa que se extrae de la madera, es purificada y parcialmente despolimerizada.	Emulsificante, antiaglomerante, texturizante, dispersante, espesante, estabilizante, incrementador de volumen, gelificante, sustancia inerte.	Es insoluble en agua, en ácidos diluidos, en soluciones diluidas de hidróxido de sodio y en la mayoría de los disolventes orgánicos. Resiste la degradación enzimática. Comportamiento pseudoplástico o tixotrópico. La viscosidad de las soluciones disminuye con el aumento de la temperatura y son estables en el rango de pH 3 a 11.
Almidón modificado: Almidón hidroxiopropilado (HP); Almidón acetilado (AC); Almidón oxidado (OX).	Almidón nativo (Amilosa es una α-D-(1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α-maltosa; Amilopectina unidades de glucosa unidas por enlaces α-D-(1,6)) sometido a distintos tratamientos.	HP: se obtiene por la esterificación de almidón nativo con óxido de propileno. AC: se obtiene por la esterificación de almidón nativo con anhídrido acético. OX: se obtiene por la oxidación de almidón nativo con hipoclorito de sodio.	Estabilizante, espesante, aglomerante, emulsificante, regulador de pH, antiaglutinante, coadyuvante de elaboración, clarificante, incrementador de volumen, gelificante.	Insolubles en alcohol, éter y cloroformo. Si no están pregelatinizados, son prácticamente insolubles en agua fría. Al calentar en agua, los gránulos suelen comenzar a hincharse a temperaturas entre 45 y 80 °C, dependiendo del origen botánico y el grado de modificación. Se gelatinizan completamente a temperaturas más altas. Los almidones pregelatinizados se hidratan en agua fría.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Committee on Food Chemicals Codex, 2004; Badui, 2006; Hurley, 2012; Belitz y cols, 2009; Ponce & Calderón, 2016.

6.6. Efectos de hidrocoloides en productos de panificación

En panificación los hidrocoloides favorecen propiedades de los diversos productos como la retención de humedad, mejoran la apariencia, al igual que la maquinabilidad de la masa, la estabilización y espesamiento, la prevención de la sinéresis, la obtención de “cuerpo” en productos bajos en grasas y almidón, la prevención de la retrogradación del almidón en pan y pasteles, retención de agua en la masa (goma tragacanto, alginato, goma karaya, goma xantana, goma guar, harina de algarrobo, carboximetilcelulosa, alginato, almidones modificados, agar, carragenina, entre muchas otras) (EPSA, 2013; Belitz y cols, 2009).

En productos sin gluten, son ingredientes fundamentales, ya que las gomas, al ser poliméricas, pueden en ciertos casos, imitar las propiedades viscoelásticas del gluten en la masa de pan. Asimismo, la alta viscosidad desarrollada por algunas gomas mejora la estabilidad de las masas durante el leudado y cocción generando un mejor volumen final,

entre estos se utilizan frecuentemente: goma xantana, goma guar, CMC, HPMC y almidones modificados (EPSA, 2013; Linlaud, 2014).

Con relación a la Tabla 3, se enlistan a continuación los efectos y beneficios primordiales que cada hidrocoloide aporta a los productos de panificación.

Goma Guar

En harinas con gluten mejora la viscosidad, la densidad y la palatabilidad, al igual que en las harinas libres de gluten, por lo tanto, aumenta la vida de anaquel. Aumenta la capacidad de retención de humedad y aire, controla el tamaño de la miga, mejora la textura de la masa y del producto final. En productos congelados controla la cristalización del agua evitando que se dañe la estructura del pan. En masas fritas forma películas que disminuye la penetración de aceite y mejora la textura. En productos bajos en calorías da sensación de saciedad, considerado fibra soluble (viscosas) poco fermentables, tienen beneficios en la salud. Concentración de uso: 0.35 % (Committee on Food Chemicals Codex, 2004; Badui, 2006; FDA, 2020).

Goma de Algarrobo

Tanto en productos con gluten como los que carecen de este, aumenta la capacidad de retención de humedad y aire, obteniendo uno de los mejores resultados en el volumen del pan, por lo que aumenta rendimientos y la vida de anaquel. La textura de la miga es más firme, presenta mayor homogeneidad en los alveolos de la miga. Mejora notablemente el color de los panes. Considerada fibra soluble (viscosas) poco fermentables, tienen beneficios en la salud. En productos congelados aporta textura blanda al producto final, controla la cristalización del agua y evita el daño a la estructura del pan. Es el mejor hidrocoloide para reducir la sinéresis en un sistema alimentario. Concentración de uso: 0.15 % (Azizi & Rao, 2004; Committee on Food Chemicals Codex, 2004; Mandala, Polaki & Yanniotis, 2009; FDA, 2020).

Goma Tara

Se ha observado que aumenta la capacidad de retención de humedad y aire en productos de panificación con gluten. En productos libre de gluten mejora la textura, viscosidad y palatabilidad. Controla el tamaño de la miga, mejora la expansión de la celda de gas durante el fermentado, y de esta forma, influye positivamente en el volumen y permite obtener una miga bien aireada. La textura de la miga es más firme. En productos con y sin gluten aumenta la vida de anaquel. Concentración de uso: 1.0 % (Vidaurre, Matheus, Salas, Barraza, Schoenlechner & Repo-Carrasco, 2019).

Goma de Tamarindo

Forma soluciones viscosas, espesas y elásticas. En pan regular y libre de gluten mejora la textura, aporta firmeza a la miga en gran medida e indica un efecto antienviejimiento, aumentando la vida de anaquel. En productos congelados controla la cristalización del agua y evita el daño a la estructura del pan. No tiene buen funcionamiento en productos sin contenido de azúcar. Concentración de uso: 1.0 % (Hong & Kweon, 2020).

Goma Arábiga

Tanto pan regular y libre de gluten, aumenta la retención de agua en la masa y el producto final. Mejora la textura esponjosa y suave en la miga, da cuerpo y palatabilidad a la masa. Provoca la formación de costra más crujiente en el producto. Aumenta las características de sabor, el color, el aroma y la vida de anaquel. Presenta un control de la cristalización de azúcares. En productos altos en grasa y en los glaseados mejora la formación y la adhesión, debido a su capacidad para emulsionar las interfaces grasa / agua. Formador de barreras contra oxígeno y humedad. La adición de goma de acacia puede conducir, dependiendo de las regulaciones del país, a alegaciones nutricionales de enriquecimiento de fibra (“enriquecido en fibras” / “fuente de fibras”). Concentración de uso: 1.0 % (Jaouen, 2017; FDA, 2020).

Goma Tragacanto

En productos libre de gluten mejora la textura, aporta firmeza a la miga e indica un efecto antienviejecimiento. En pan regular la goma añadida puede competir por el agua del medio con los gránulos de almidón de trigo nativo en la masa, es decir, podría restringir el hinchamiento y la solubilización del almidón durante el horneado y, por lo tanto, reducir la firmeza. En ambos productos aumenta la vida de anaquel. Presenta la formación de costra más crujiente en el producto y mayor homogeneidad en los alveolos de la miga. En productos congelados controla la cristalización del agua y no daña la estructura del pan. Concentración de uso: 0.2 % (Hajmohamadi, Hojjatoleslami & Molavi, 2013; FDA, 2020).

Agar

En pan regular aporta ligera firmeza en la miga, mejora la estabilidad de la masa. En productos libre de gluten proporciona propiedades viscoelásticas deseables. Extiende la vida de anaquel. Mejora la formación de glaseados a base de agua (productos horneados), al igual que aquellos a base de grasas (pasteles) en combinación de azúcares y emulsificantes. Concentración de uso: 0.8 % (Lestari, Kresnowati, Rahmani, Aliwarga & Bindar, 2019; FDA, 2020).

Carrageninas

Exhibe un mejor volumen específico, una miga más suave, aporta estabilidad a la masa durante la fermentación y mejora el contenido de humedad. En productos libre de gluten disminuye la dureza, hace la masa más cohesiva y miga uniforme. En producto regular horneado y congelado disminuye la elasticidad de la masa y la firmeza de la costra. La corteza se opaca y tiene el color de miga oscuro. Concentración de uso: 0.5 – 1.0 % (Lestari, Kresnowati, Rahmani, Aliwarga & Bindar, 2019; Rosell, Rojas, & Benedito de Barber, 2001).

Alginato

Los alginatos son fibras solubles (viscosas) poco fermentables, tienen beneficios como la reducción de la absorción de nutrientes por parte del intestino delgado. En productos bajos en grasa mejoran las propiedades sensoriales, pero existe reducción de la palatabilidad, esto se debe al aumento de la viscosidad que produce el alginato y la alteración de la sensación en la boca. En pasteles y mezclas de pan mejora la vida útil y la retención de humedad. Para coberturas y glaseados actúan como estabilizantes o espesantes. Previene la sinéresis y aporta estabilidad de congelación y descongelación. Mejora y estabiliza la consistencia de los rellenos para productos horneados. Concentración de uso: 1.0 % (Kohajdová & Jolana, 2009; Houghton, Wilcox, Brownlee, Chater, Seal & Pearson, 2019; FDA, 2020).

Goma Karaya

Aumenta la capacidad de retención de agua. Se utiliza también como ligante en la elaboración de productos bajos en calorías fabricados a partir de harinas. Las masas aumentan la elasticidad. Presenta una mayor homogeneidad en los alveolos de la miga. Aumenta la estabilidad a los productos en el tiempo de congelación, previniendo la sinéresis de los geles y proporciona textura deseada. Aumenta rendimientos y la vida de anaquel. Concentración de uso: 0.3 % (Azizi & Rao, 2004; FDA, 2020).

Goma Xantana

Se ha observado un incremento en la capacidad de retención de agua. En masas aumenta ligeramente la elasticidad y viscosidad, debido a esto, en productos libre de gluten no aumenta considerablemente el volumen. Es recomendable el uso de goma xantana junto con gluten para mejorar el volumen del pan. En rellenos de panificación proporciona textura que previene que sean absorbidos en la masa. En productos congelados controla la sinéresis. Se han registrado mejores resultados al combinar la

goma xantana con otros hidrocoloides. Concentración de uso: 0.5 % (Azizi & Rao, 2004; FDA, 2020).

Carboximetilcelulosa (CMC)

Existe un aumento en la viscosidad de la masa, mejora la calidad de la miga, aumenta el volumen en gran medida y ayuda con la retención de humedad. Su propiedad característica se muestra en productos congelados, actúa como sustituto de la harina de trigo, controla la cristalización del agua y evita el daño a la estructura del pan. En tortillas extiende la vida útil y mantiene una textura flexible. En productos sin gluten mejora la estructura interna como las proteínas del gluten y la sensación en la boca. En masas fritas puede reducir la absorción de aceite y mejora la textura. En estos productos incrementa la vida de anaquel. Concentración de uso: 1.0 % (Correa & Ferrero, 2015; Rodríguez, Polanía & Lorenzo, 2017).

Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC)

En productos congelados aporta textura blanda al producto final, controla la cristalización del agua y no daña la estructura del pan. Estabiliza emulsiones y espumas, que es crítico para el desarrollo de la masa durante el horneado. Sustituye la grasa y parcialmente al huevo, actúa como lubricante para ayudar a mantener una sensación cremosa en la boca. En masas fritas puede reducir la absorción de aceite y mejorar la textura. Sustituto de gluten, más eficazmente cuando se combina con carboximetilcelulosa (CMC) en productos horneados. En particular, para pan regular y libre de gluten incrementa el volumen y el rendimiento. Mejora la uniformidad, la viscosidad, la estabilidad de la miga y la masticabilidad, incrementa la retención de agua y prolonga la vida útil.

En productos bajos en calorías da sensación de saciedad, considerado fibra soluble (viscosas) poco fermentables que tienen beneficios en la salud. Concentración de uso: 1.0 % (Zecher & Gerrish, 1997; Correa & Ferrero, 2015; Mandala, Polaki & Yanniotis, 2009).

Celulosa Microcristalina (MCC)

Sus partículas pueden romper la matriz de gluten y hacer una masa menos elástica. Incrementa la retención de agua y prolonga la vida útil. En productos congelados aporta textura blanda al producto final, controlando la cristalización del agua y no daña la estructura del pan. Al igual que la HPMC, estabiliza emulsiones y espumas, que es crítico para el desarrollo de la masa durante el horneado.

En productos bajos en calorías puede ser sustituto parcial de la harina, da sensación de saciedad, considerado fibra soluble (viscosas) poco fermentables, tienen beneficios en la salud. Concentración de uso: 1.0 % (Correa & Ferrero, 2015).

Almidón modificado

Entre muchos almidones modificados químicamente, se ha demostrado en múltiples estudios que el almidón hidroxipropilado (HP) es el más eficaz para el envejecimiento del pan debido a la lenta retrogradación de la amilopectina. El almidón acetilado (AC) también puede mejorar la estabilidad de almacenamiento del pan en comparación con el almidón nativo al interrumpir la linealidad de los segmentos de amilosa y amilopectina e interferir estéricamente con la alineación intermolecular.

Mientras que, el almidón AC podría prevenir cambios indeseables en la textura y apariencia causados por la retrogradación durante el procesamiento y almacenamiento. Los mismos autores encontraron que el almidón oxidado (OX) puede reducir el grado de retrogradación en comparación con el almidón nativo debido a los grupos carboxilo o carbonilo voluminosos que se sustituyen en el almidón. En conjunto en el pan regular incrementa el volumen y el rendimiento. En productos libre de gluten se alcanza un volumen similar que los productos con gluten. Hay un incremento de la retención de agua, aporta textura suave de la miga y prolonga la vida útil del producto.

En productos congelados controla la cristalización del agua y no daña la estructura del pan. Concentración de uso: 0.5 % (Kang, Reddy, Park, Choi & Lim, 2018).

6.7. Compatibilidad o sinergia entre hidrocoloides.

Como se ha visto, cada hidrocoloide presenta características físicas y químicas determinadas, que no pueden sustituirse fácilmente con el uso de otro polisacárido. La elección de una goma específica para una aplicación particular depende de la viscosidad o de la fuerza de gel deseadas, de las propiedades reológicas esperadas, del pH del sistema, de las temperaturas de procesado, de las interacciones con otros ingredientes, de la textura buscada y del costo máximo aceptado de acuerdo con la cantidad necesaria para alcanzar las propiedades deseadas. Adicionalmente, hay que considerar las características funcionales deseadas (Badui, 2006; Fennema, 2008).

Al tener una combinación de dos o más de estos compuestos se establecen nuevas propiedades funcionales que no generan individualmente. Esto se puede notar en la emulsificación de sistemas aceite/agua, que se logra con mezclas de gomas (Badui, 2006).

Algunos investigadores han demostrado que la mezcla de hidrocoloides, como xantana y goma guar, podría promover un efecto sinérgico que incrementa los atributos de viscosidad y gelatinización de una masa (Aurica, 2015).

La goma guar es un polímero no iónico compatible con la mayoría de otros hidrocoloides vegetales, que proporciona la capacidad espesante con un escaso coste a numerosos productos alimenticios. Es usada muy frecuentemente en combinación con otras gomas, como carboximetilcelulosa, carrageninas, goma de xantana, goma arábica, goma de algarrobo, celulosa microcristalina, alginatos, pectina, agar, goma karaya y goma de tragacanto. También es compatible con casi todos los almidones químicamente modificados, almidones crudos, celulosas modificadas, polímeros sintéticos, y proteínas solubles en agua (Fennema, 2008; Milani & Maleki, 2012).

Los galactomananos, siendo las más conocidas, algarrobo, guar y tara, se conforman de la misma larga estructura lineal, a diferencia del orden de sus unidades galactosílicas. Puesto que la goma guar tiene sus unidades galactosílicas dispuestas de manera bastante regular a lo largo de la cadena, existen pocas regiones de las cadenas que estén libres para formar zonas de unión para otras gomas. Por el contrario, la goma de

algarrobo, con sus regiones de cadena «desnuda», puede formar zonas de unión, es decir, tiene una mayor interacción con otras gomas (Fennema, 2008). La goma Tara al tener una naturaleza no iónica, es compatible con prácticamente todos los hidrocoloides de origen vegetal, además de los almidones y CMC (Rodríguez, Polanía & Lorenzo, 2017).

La goma de algarrobo rara vez se utiliza sola, es común su uso en combinación con CMC, carragenano, xantano y goma guar. Presenta sinergismo con κ -carrageninas y goma de xantano para formar geles rígidos. Con la goma de xantano forma geles termorreversibles. El efecto sinérgico entre κ -carrageninas y la goma de algarrobo tiene la capacidad de modificar la textura de los geles de una gran fuerza y elasticidad, además de reducir la tendencia a la sinéresis (Fennema, 2008).

La estructura celulósica de la xantana es compatible con la estructura básica de las galactomananas, exhibe un comportamiento sinérgico con la goma guar incrementando la viscosidad, puede formar geles termorreversibles cuando se mezcla con la goma de algarrobo o con glucomananos, como la goma konjac, sin embargo, no gelifica por sí misma. La goma xantana no gelifica, pero forma agregados o microgeles. Presenta una buena compatibilidad con alginatos y almidones. El carragenano puede añadirse también como efecto estabilizante para prevenir la separación de fases (Fennema, 2008; Milani & Maleki, 2012; Pérez, 1998).

La goma de tamarindo no tiene ningún efecto sinérgico con otras gomas, sin embargo, se necesita menos azúcar para lograr la fuerza de gel deseada que en los geles de pectina correspondientes, por lo que se considera que es un adecuado sustituto de la pectina (Belitz y cols, 2009).

Se sabe que la goma karaya, en combinación con carragenina, es eficaz para retrasar el envejecimiento del pan. También se muestra el efecto al realizar una mezcla de gomas (karaya, guar y carragenina) sobre las propiedades de la masa y presenta una mejora en la reología de la masa. La combinación de goma karaya con goma arábica se emplea como estabilizante de buena calidad en emulsión de glaseados para pasteles y bizcochos (Azizi & Rao, 2004; Gracia, 1997).

La aplicación del agar en la industria alimentaria se basa en sus principales propiedades; es esencialmente indigerible, forma geles resistentes al calor y tiene actividad emulsificante y estabilizante. A menudo se utiliza en combinación con goma de tragacanto o goma de algarrobo o grenetina (Belitz y cols, 2009).

En el caso de los derivados celulósicos, la carboximetilcelulosa (CMC) en aplicaciones del área de panificación se ha registrado que, al combinarse con otros hidrocoloides como goma de algarrobo, almidones modificados, carrageninas, goma guar, influyen positivamente de manera significativa en las características de los productos finales ya sean en productos con o sin contenido de gluten.

En el caso de la aplicación de CMC con la goma tara, se observó una disminución de volumen en productos libres de gluten. Por otro lado, en productos libre de gluten se ha observado el efecto positivo en las características físicas y reológicas cuando se combina la CMC junto con la HPMC (hidroxipropilmetilcelulosa) (Mandala, Polaki, Yanniotis, 2009; Rodríguez, Polanía & Lorenzo, 2017).

Conclusiones.

A través de esta investigación, se logró recopilar información bibliográfica de los hidrocoloides más importantes que se pueden emplear en los productos de panificación.

Se documentaron la utilidad y seguridad de hidrocoloides como aditivos alimentarios.

Se analizaron la composición química de estos hidrocoloides, su función tecnológica, así como sus propiedades características. Se definieron usos, los beneficios y las concentraciones recomendadas de distintos hidrocoloides que se utilizan comúnmente en los productos de panificación. Por ello se concluye que se cumplieron los objetivos del proyecto.

La importancia del pan en la vida del ser humano ha sido parte fundamental de la dieta y la cultura al paso de los años. El pan dada su composición resulta ser una fuente completa de nutrimentos para la dieta, la cual depende en gran medida de la proporción en ella. Debido a los diversos productos que se pueden crear en el área de panificación, surge la importancia de emplear aditivos alimentarios, utilizados con un fin tecnológico.

En particular los hidrocoloides, que provienen de un origen natural y semisintético (Tablas 1 y 3) poseen la capacidad de regular la distribución y retención del agua en la masa del pan y contribuir a sus propiedades reológicas como son la viscosidad y la gelificación, utilizándose en combinación con otros hidrocoloides o bien, teniendo un efecto de sinergismo entre ellos, con objeto de prolongar y mejorar las características fisicoquímicas y sensoriales, como también retardando la retrogradación del almidón que, en consecuencia, confiere una mayor vida de anaquel.

Por tanto, el rango de productos en los que se pueden aplicar los hidrocoloides es muy amplio, tan es así que la innovación en esta área aporta beneficios al sabor y la textura, además, que implementan ventajas a la salud del consumidor tomando en cuenta las necesidades específicas que se tienen hoy en día a nivel global.

Bibliografía.

1. AgroAvances. (2021). *Pan de masa madre ¿mejores que los demás?* AgroAvances [En línea]: <https://agroavances.com/sabiasque-detalle.php?idSab=557>
2. Aristizábal, J., Sánchez, T. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. de FAO [En línea]: <http://www.fao.org/3/a-a1028s.pdf>
3. Atkins, P., de Paula, J. (2006). *Atkins' Physical Chemistry*. UK: Oxford University Press. 1085. 682.
4. Aurica, C. (2015). *Obtención de panes libres de gluten: Efecto estructural de distintos hidrocoloides sobre masas panarias de maíz*. Tesis de maestría en Gestión y Seguridad Alimentaria. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural, Universidad Politécnica de Valencia, España. 20.
5. Azizi, M., Rao, G. (2004). *Effect of Surfactant gel and gum combinations on dough rheological characteristics and quality of bread*. Journal of Food Quality. 18.
6. Badui, S. (2006). *Química de los alimentos*. (4a ed.). Pearson Educación. 88,224-235.
7. Badui, S. (2012). *Química de los alimentos*. (5a ed.). Pearson Educación. 552.
8. Belderock, B., Mesdag, J. y Donner, D. A., (2000). *Bread-making quality of wheat: A century of breeding in Europe*. Wageningen: Springer-Science-Business Media. 3.
9. Belitz, H., Grosch, W., Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4th ed.). Springer Berlin Heidelberg. 299-342.
10. Boatella Riera, J., Codony Salcedo, R., & López Alegret, P. (2004). *Química y Bioquímica de los alimentos II*. Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. 92-94.
11. Bosmans, G. M. (2013). *The impact of baking time and bread storage temperature on bread crumb properties*. Food Chemistry, 141(4), 3301–3308.
12. Calva, K. (2008). *Panificación: ingredientes, calidad, y sus procesos*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM, México.
13. Catalán, G. (2019) *Comportamiento de flujo de hidrocoloides bajo diferentes condiciones de medio acuoso, concentración y adición de un soluto de bajo peso molecular*. Tesis de licenciatura. Facultad de química. UNAM, México.

14. Cauvain, S. P., & Clark, R. H. (2019). *Baking Technology and Nutrition: Towards a Healthier World* (1a ed.). Wiley.
15. Codex Alimentarius. (1995). *NORMA GENERAL PARA LOS ADITIVOS ALIMENTARIOS CODEX STAN 192-1995*, última revisión 2019, de FAO/OMS. [En línea]: http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192s.pdf
16. Codex Alimentarius Commission. (2019). *REPORT OF THE 51st SESSION OF THE CODEX COMMITTEE ON FOOD ADDITIVES*. Jinan, China. 25 – 29 March 2019, de FAO/OMS. 73.
17. COFEPRIS. (2012). *ACUERDO por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias*. Diario Oficial de la Federación, Tercera Sección, 228.
18. Collar, C., Andreu, P., Martínez, J., Armero, E. (1999). *Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study*. Food Hydrocolloids. 13: 467-475.
19. Committee on Food Chemicals Codex. (2004). *Food chemicals codex*, Fifth Edition. Washington D.C.: The National Academic Press. 1027.
20. Correa, M., Ferrero, C. (2015). *A Comparative Study of Commercial Modified Celluloses as Bread Making Additives*. International Journal of Food Properties, 18(4), 849–861.
21. Crispín, G. (2019). *Caracterización fisicoquímica de goma de semilla de tamarindo y su funcionalidad como estabilizante en emulsiones*. Tesis de doctorado en ciencias agroalimentarias. Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, México. 14-17.
22. Dendy, D. (2004). *Cereales y productos derivados. Química y tecnología*. Zaragoza: Acribia. Capítulo 8.
23. Díaz, C. (2018). *Efecto de carragenina sola y en mezcla con hidrocoloides espesantes en la textura y estabilidad de leches gelificadas*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios superiores Cuautitlán. UNAM, México.
24. Díaz, R. (2018). *Reología aplicada a sistemas alimentarios*. Editorial Grupo Compás, Guayaquil Ecuador, 13-15.

25. DPAS. (2018). *La importancia del agua en la calidad del pan. Método Pascual (II)*. DULCYPAS. [En línea]: <https://www.pasteleria.com/articulo/201701/2546-la-importancia-del-agua-en-la-calidad-del-pan-metodo-pascual>
26. Encyclopaedia Britannica. (2016). *Plasticity*. Ecylopaedia Britannica, Inc. [En línea]: <https://www.britannica.com/science/plasticity>
27. EPSA. (2013). *Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad*. Tecnifood, 19, 3. [En línea]: http://www.aditivosalimentarios.es/php_back/noticias/archivos/EPSAempresasTF90.pdf
28. FAO. (1997). *Grasas y aceites en la nutrición humana. Consulta FAO/OMS de expertos. (Estudio FAO Alimentación y Nutrición - 57)*. de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud. [En línea]: <http://www.fao.org/3/v4700s/v4700s00.htm#Contents>
29. Farmacopea. (s/f). Hidroxipropilmetilcelulosa. [En línea]: http://www.anmat.gov.ar/webanmat/fna/flip_pages/Farmacopea_Vol_II/files/assets/basic-html/page519.Html
30. FDA. (2020). *CFR - Code of Federal Regulations Title 21*. [En línea]: <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?CFRPart=172>
31. FDA, C. for F. S. and A. (2019). *Generally Recognized as Safe (GRAS)*. FDA; FDA. [En línea]: <https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras>
32. Fennema, O. Damodaran, S. Parkin, K. (2008). *Química de los alimentos*. (3 ed.) Zaragoza, España: Acribia. 213-264.
33. Gosset, M. (2015). *Efecto de la temperatura de fermentación y la adición de xantana sobre las propiedades mecánicas y la estabilidad térmica de pan blanco durante su envejecimiento*. Tesis de licenciatura. México: Facultad de Química, UNAM. 11-12.
34. Gracia, O. (1997). *La Goma Árábica: Una maravilla natural que nos beneficia a todos*. Gomas Naturales, 2-8.
35. Gutiérrez, A. (2015). *Efecto de la adición de goma xantana, goma guar y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en pan*

- tipo pita integral*. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias agrarias. Universidad Privada Antenor Orrego, Perú. 51.
36. Hajmohamadi, A., Hojjatoleslami, M., Molavi, H. (2013). *Effect of tragacanth gum on texture and staling of commercial sponge cake*. Journal of Herbal Drugs, 4(1), 5.
37. Hong, Y., Kweon, M. (2020). *Optimization of the Formula and Processing Factors for Gluten-Free Rice Bread with Tamarind Gum*. Foods: MDPI. 11.
38. Houghton, D., Wilcox, M., Brownlee, I., Chater, P., Seal, C., Pearson, J. (2019). *Acceptability of alginate enriched bread and its effect on fat digestion in humans*. Food Hydrocolloids, 93, 395–401. 1-7.
39. Hurley, S. (2012). *Title 21 Food and Drugs – Parts 170 to 199*. Code of Federal Regulations. 32-602.
40. Jaouen, I. (2017). *Acacia Gum Brings Benefits to Bread*. Food Marketing & Technology, 31, 9-10.
41. Kang, N., Reddy, C., Park, E., Choi, H., Lim, S. (2018). *Antistaling effects of hydrocolloids and modified starch on bread during cold storage*. LWT, 96, 13–18.
42. Kohajdová, Z., and Jolana K. (2009). *Application of hydrocolloids as baking improvers*. Chemical Papers 63(1), pp 26-38.
43. Lestari, D., Kresnowati, M., Rahmani, A., Aliwarga, L., Bindar, Y. (2019). *Effect of hydrocolloid on characteristics of gluten free bread from rice flour and fermented cassava flour (Fercaf)*. Reaktor, 19(3), 89–95.
44. Linlaud, N. E. (2014). *Efecto de distintos hidrocoloides sobre la microestructura de la masa y su relación con la calidad de productos de panificación*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Argentina. 2.
45. López, J., Cardona, M., Rodríguez, E. (2017). *Efecto del ácido fumárico en las características de calidad de muffins*. Universidad Nacional de Colombia. [En línea]: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.scielo.org.co%2Fpdf%2Frlsi%2Fv14n2%2F1794-4449-rlsi-14-02-00009.pdf&clen=1267298&chunk=true>.
46. Mandala, I., Polaki, A., Yanniotis, S. (2009). *Influence of frozen storage on bread enriched with different ingredients*. Journal of Food Engineering, 92(2), 137–145.

47. Márquez, J. (2001). *Empleo de gomas en panificación para alargar la vida de anaquel*. Tesis de licenciatura. México: Facultad de Química, UNAM. 2-5.
48. Marquina, E. (2013). *Cereales*. Universidad Miguel Hernández de Elche, proyecto Badali. [En línea]: <http://badali.umh.es/assets/documentos/pdf/artic/cereales.pdf>
49. Milani, J., Maleki, G. (2012). *Hydrocolloids in Food Industry, Food Industrial Processes - Methods and Equipment*. Dr. Benjamin Valdez (Ed.), InTech, 24. [En línea]: <http://www.intechopen.com/books/food-industrial-processes-methods-and-equipment/hydrocolloids-in-foodindustry>
50. Mora, D., Portuguez, C., Alfaro, N., Hernández, M. (2015). *Diferencias de dureza del agua y las tasas de longevidad en la península de nicoya y los otros distritos de Guanacaste*. Tecnología en Marcha. Vol. 28, Nº 3. 3-14.
51. Muñoz, M. (2015). *El grano de trigo y su aporte nutritivo*. Consejo Nutricional, La salud a través de la alimentación y nutrición. [En línea]: <https://consejonutricional.com/2015/07/08/el-grano-de-trigo-y-su-aporte-nutritivo/>
52. Official Journal of the European Union (2008). *Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on food additives*, Pub. L. No. 32008R1333, 354 OJ L. [En línea]: <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/1333/oj/eng>
53. OMS. (2018). *Aditivos alimentarios*. Organización Mundial de la Salud. [En línea]: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-additives>
54. Pérez, M. (1998). *Estudio de hidrocoloides en la gelificación del músculo de bacaladilla (*Micromesistius poutassou*, Risso) inducida térmicamente y por alta presión*. Tesis doctoral. Facultad de Farmacia, Universidad de Alcalá, España. 393. 24-22.
55. Ponce, E., Calderón, M. (2016). *Agentes gelificantes y sinergia*. Laboratorio de Microcomponentes Alimentarios, UAM-Iztapalapa. 2-3.
56. PPA. (2015). *A12manos: Temática Aguas*. La Pepa, pequeños panaderos afines. [En línea]: <http://xn--pequeospanaderosafines-oec.com/a12manos-tematica-aguas/>

57. Rodríguez, E., Otero, N., Tabares, J. (2020). *Influence of different types of baking powder on quality properties of muffins*. Universidad Nacional de Colombia, 87(214), 9–16.
58. Rodríguez, E., Polanía, L., Lorenzo, G. (2017). *Effect of Dried Cassava Bagasse on the Baking Properties of Composite Wheat Bread*. Journal of Texture Studies, 48(1), 76–84.
59. Rodríguez, E., Sandoval, A. (2003). *Hidrocoloides naturales de origen vegetal*. Universidad Politécnica de Valencia. España. (13) 1-10.
60. Rodríguez, J. (2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela*. 9(12).
61. Romero, D., Tuiran, L. (2017). *Caracterización fisicoquímica, funcional, reológica y composicional de la harina precocida de cubio (Tropaeolum tuberosum R&P) cultivado en diferentes fuentes de fertilización*. Universidad de La Salle.
62. Rosell, C., Rojas, J., Benedito de Barber, C. B. (2001). *Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality*. Food Hydrocolloids, 7.
63. Rubel, W. (2011). *Bread: a global history*. (1a ed). Reaktion Books Ltd. 13.
64. Salehi, F. (2019). *Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: A review*. Food Science & Nutrition, 7(11), 3391–3402.
65. Sánchez, D. (2021). *Panorama actual de las aplicaciones del hidrocoloide curdlan en la industria alimentaria*. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. UNAM, México. 3-16.
66. Schär. (2011). *Digestión del gluten*. Dr. Schär Institute. [En línea]: <https://www.drschaer.com/es/institute/a/digestion-gluten>
67. Schmidt-Hebbel, H. (1990). *Aplicaciones y comentarios de orden químico y tecnológico. En Avances en Aditivos alimentarios y la reglamentación de los alimentos (156)*. Santiago, Chile: Fundación Chile.
68. Serra, A., (2010). *Libro blanco del pan*. Editorial Panamericana, Madrid. 15-24,90.
69. Tejero, F. (2017). *Asesoría Técnica en Panificación*. [En línea]: <http://www.franciscotejero.com/tecnicas/la-sal-en-panificacion/>

70. UNE 87001-94 (1994). *Análisis Sensorial: Vocabulario*. Tomo I – Alimentación. Recopilación de Normas UNE. Ed. AENOR. Madrid. España.
71. Valverde, M., Picado, J. (2013). *Estrategias mundiales en la reducción de sal/sodio en el pan*. Revista Costarr Salud Pública, Vol. 22, N.º 1. 61-65.
72. Vidaurre, J., Matheus, S., Salas, F., Barraza, G., Schoenlechner, R., Repo-Carrazco, R. (2019). *Influence of tara gum and xanthan gum on rheological and textural properties of starch-based gluten-free dough and bread*. European Food Research and Technology, 245(7), 1347–1355.
73. Zecher, D., Gerrish, T. (1997). *Cellulose Derivatives, Thickening and Gelling Agents for Food Products*. 2º Edición. A. Imenson. Springer. pp 79.
74. Zizumbo, D., García, M., Colunga, P. (2008). *El origen de la agricultura, la domesticación de plantas y el establecimiento de corredores biológico-culturales en Mesoamérica*. Revista de Geografía Agrícola, (41),85-113. [En línea]: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75711472007>