

Aspectos que influyen en la calidad harino-panadera de los trigos

El 60% de la producción mundial de trigos se dedica a panificación

El trigo es el cereal más cultivado del mundo por delante del arroz y el maíz. Un 60% de la producción mundial de trigo se dedica a panificación, un 17% para pastas, entre un 10 y un 12% para semilla (siembra), un 12% para pienso y el resto entre 0,3 y 0,5% para usos industriales.

Del trigo duro se obtienen sémolas para fabricación de pastas y de los trigos blandos las harinas para la fabricación del pan, galletas, masas, alimentación infantil, pizzas, etc. El trigo puede ser una importante fuente proteica, si se utiliza conjuntamente con alimentos que provean ciertos aminoácidos, como la Lisina de la que es deficitario.

Componentes de la calidad

La calidad harino-panadera del trigo viene definida por un complejo conjunto de factores que vienen determinados tanto por la genética de la variedad como por las condiciones ambientales.

El contenido y las características de las proteínas contenidas en el endospermo del grano explican en buena parte las diferencias en calidad panadera de un trigo. Estas proteínas, gluteninas y gliadinas, constituyen el gluten, que forma una red continua que retiene el anhídrido carbónico liberado en la fermentación, permitiendo que la masa se expanda al cocerse. Ello ocurre cuando el gluten es elástico, lo que es propio de los trigos harineros. Otros componentes de la calidad son la morfología del grano y el contenido en polisacáridos y lípidos.

Fracción proteica

Clasificación.

El temprano trabajo de Osborne (1907) (citado en Simmonds,

La calidad harino-panadera de los trigos viene definida por un complejo conjunto de factores que vienen determinados tanto por la genética de la variedad como por las condiciones ambientales. Repasamos aquí algunos factores que influyen en esta calidad.

José María Criado. Ingeniero Agrónomo.
Dpto de Desarrollo de Semillas Verneuil S.A.

1989) presentó que la harina del trigo contiene varias fracciones proteicas con diferentes propiedades de solubilidad. Osborne reconoció cuatro grupos principales que podían ser separados por extracción secuencial. Estas eran las albúminas solubles en agua, las globulinas solubles en soluciones de sal disuelta (usualmente 10 % Na Cl), las prolaminas (o gliadinas) solubles en 70-90 % de etanol diluido y las gluteninas (o gluteninas) que sólo podían ser disueltas en disoluciones de ácido o álcali. Osborne usó el término genérico prolaminas y gluteninas respectivamente, siendo el último de mayor complejidad y peso molecular. Aunque esta clasificación no es enteramente satisfactoria debido al solapamiento de solubilidades, ha persistido a causa de su simplicidad y conveniencia.

Las gliadinas y gluteninas pueden ser divididas a su vez en distintos subgrupos, las gliadinas en a-, b-, g- y w-gliadinas, y las gluteninas según su peso molecular, en gluteninas de alto peso molecular (HMW) y de bajo peso molecular (LMW).

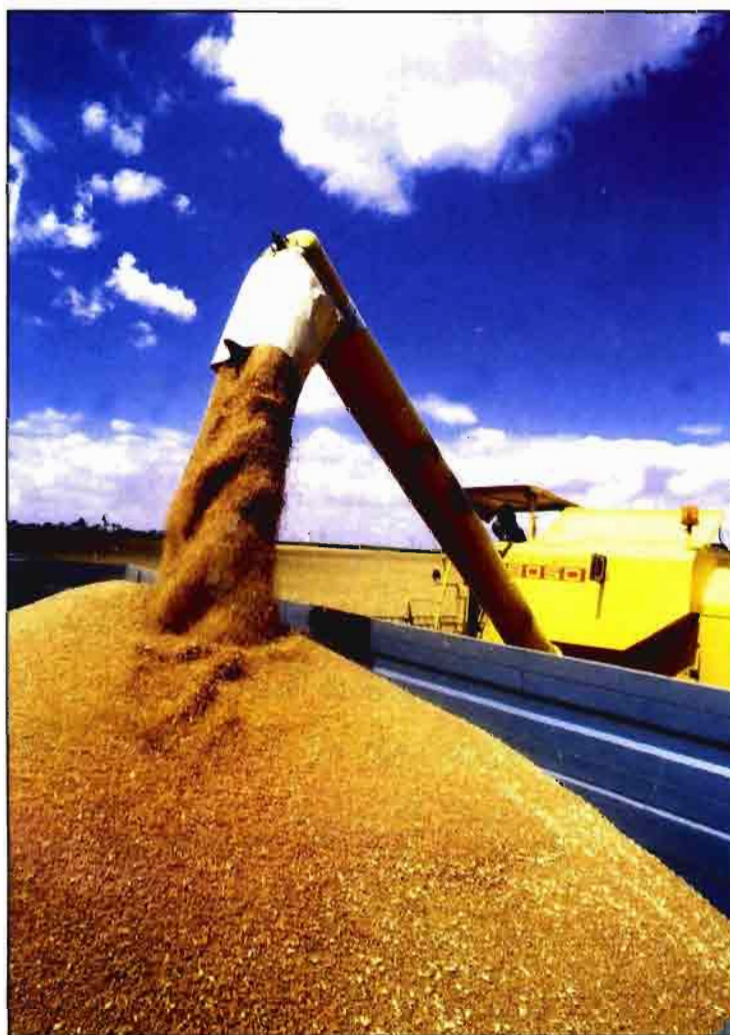
Otra clasificación ha sido propuesta (Shewry et al., 1986) que no se corresponde con la anterior clasificación más ampliamente empleada. El primer grupo está formado por las w-gliadinas (prolaminas pobres en S), el segundo por las subunidades de glutenina HMW, y el tercero (prolaminas ricas en S) engloba las gliadinas (a, b y g) y subunidades de gluteninas LMW, (ver **tabla I**).

Otra clasificación ha sido propuesta (Shewry et al., 1986) que no se corresponde con la anterior clasificación más ampliamente empleada. El primer grupo está formado por las w-gliadinas (prolaminas pobres en S), el segundo por las subunidades de glutenina HMW, y el tercero (prolaminas ricas en S) engloba las gliadinas (a, b y g) y subunidades de gluteninas LMW, (ver **tabla I**).

Características.

- **Albúminas y globulinas.**

Se consideran derivadas del protoplasma original de la célula en desarrollo, de las membranas celulares y del retículo endoplasmático; tienen funciones metabólicas y estructurales. Enzimas celulares y algunas de las carbohi-



El trigo es el cereal más cultivado del mundo

TABLA I: CLASIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DE RESERVA DEL TRIGO (según Shewry et al., 1986).

Grupo de prolaminas	Pobres en S		Ricas en S		HMW
Nomenclatura clásica	w-gliadinas	α-gliadinas	γ-gliadinas	Subunidades de glutenina LMW	Subunidades de glutenina HMW
Composición parcial de aá (mol %)					
Glutamina	41-53	36-42	39-40	38	34-39
Prolina	20-30	15-16	18-19	15	13-16
Glicina	0,9-1,4	1,9-2,7	2,7	3,3	14-20
Fenilalanina	8,1-9,0	3,7-3,9	1,4-1,7	4,7	0,3-1,1
Cistina	0	1,8-1,9	1,9-2,0	2,7	0,4-1,5
Metionina	0-0,1	0,9-1,2	0,9-1,7	0,6	Traza-0,4
Pesos moleculares por SDS-PAGE	44-74.000	32.000	38-42.000	36-44.000	95-136.000

drato-proteínas de las paredes celulares entran dentro de esta categoría. Sus pesos moleculares van desde 17.000 a 28.000, aunque se han descrito algunas globulinas de hasta 200.000.

• Gliadinas.

Las moléculas de gliadinas consisten en una compleja mezcla de proteínas monoméricas sin una estructura de subunidades mantenidas por puentes disulfuro. Estas proteínas son fácilmente extraídas en presencia de un agente reductor y solventes apropiados como el dodecil sulfato sódico (SDS), y son normalmente caracterizadas según su carga por electroforesis en geles de poliácridamida a pH ácido (APAGE), separándose en cuatro grupos denominados a, b, g y w (Wall, 1979; citado en Carrillo et al., 1990).

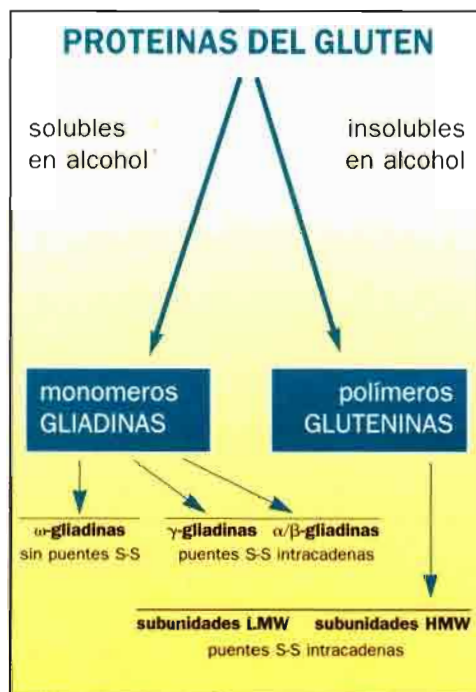
Este es un grupo heterogéneo de proteínas con pesos moleculares que oscilan entre 30.000 y 80.000. Son solubles en alcohol, urea o detergente y componen la mayor parte de los cuerpos proteicos del endospermo. Todas se caracterizan por tener grandes cantidades de glutamina (más del 30 % en peso) y prolina (más del 10%), y sólo pequeñas cantidades de lisina y otros aminoácidos básicos.

Las w-gliadinas son las de mayor peso molecular (75.000 a 80.000) y contienen muy pocos o ningún aminoácido azufrado (cisteína, cistina y metionina). Sus contenidos en ácido glutámico y aspártico se acercan al 50 %, los cuáles se encuentran esencialmente en forma amida. También contienen más del 20 % de prolina y más del 8 % de fenilalanina, mientras su contenido en lisina y arginina es extremadamente bajo. Como consecuencia tienen una carga electrostática muy baja y por su tamaño migran muy lentamente en el gel de electroforesis. Debido a

su casi ausencia de azufre no posee puentes disulfuro internos o externos.

Las a-, b- y g-gliadinas son más variables en composición, conteniendo más aminoácidos azufrados cisteína, cistina y metionina y menos glutamina y prolina. Gluteninas.

Consisten en subunidades las cuáles forman polímeros de alto peso molecular estabilizados por puentes disulfuro entre cadenas, aunque también pueden encontrarse dentro de cadenas. Estos polímeros son insolubles en mezcla de alcohol y agua, pero las subunidades individuales reducidas sí son solubles. La composición en aminoácidos de este grupo presenta que contienen muchos de los residuos de aminoácidos capaces de promover asociaciones entre subunidades. Por ejemplo, hay altas concentraciones de aminoácidos hidrofóbicos tales



como la leucina capaz de promover interacciones hidrofóbicas, y de glutamina la cual es capaz de formar puentes de hidrógeno (Simmonds, 1989).

Poseen unas secuencias repetitivas que son las principales responsables de la inusual composición de aminoácidos (son ricas en prolina y glutamina), y de las propiedades solubles de la proteína completa.

a) Subunidades de glutenina de bajo peso molecular (LMW).

Han sido llamadas por algunos autores tanto gluteninas de bajo peso molecular como gliadinas de alto peso molecular. A causa de su polidispersión en peso molecular forman un patrón de bandas en la región de movilidad ligeramente inferior a la de las verdaderas gliadinas durante la electroforesis. Esta polidispersión es confirmada por el patrón de bandas obtenida por cromatografía. Sus pesos moleculares están entre 100.000 y 500.000. En reducción el patrón de bandas desaparece y los componentes dan origen a unas subunidades de gluteninas de más alto peso molecular 80.000-140.000, y principalmente a otras de menor peso molecular de 30.000 a 80.000.

b) Subunidades de gluteninas de alto peso molecular (HMW).

Son las verdaderas gluteninas. Apenas se desplazan en el gel de electroforesis a causa de su alto peso molecular, que puede ser desde 500.000 a varios millones. Sus altos pesos moleculares son principalmente debidos a la presencia de puentes disulfuro no reducidos que unen diferentes cadenas peptídicas. En reducción se componen de 17-20 subunidades que pueden ser reconocidas como bandas discretas en electroforesis. Estas subunidades tienen un amplio rango de tamaños moleculares, los más pequeños de 30.000 a 80.000 y los mayores de 80.000 a 140.000, denominados respectivamente subunidades de tipo-x y tipo-y. Aunque las primeras son similares en tamaño a las gliadinas, parecen ser bastantes distintas en composición (ver gráfico).

Estructura del gluten

Los diferentes experimentos de extracción y fraccionamiento han descrito al gluten como un complejo de al menos tres fracciones proteicas: gliadinas, gluteninas LMW y gluteninas HMW. Las gluteninas HMW formarían el armazón de la estructura del gluten, que debido a su alto peso molecular y ligamientos por puentes disulfuro forman una red altamente extensible y elástica, con la cual interactúan los más pequeños componentes: gliadinas y gluteninas LMW, formando ramificaciones, y posibilitando algunos

enlaces. El gluten se puede extraer de una masa de harina, lavándola al chorro de agua o con una disolución diluida de sal común Na Cl. Así se eliminaría la mayor parte del almidón y sustancias hidrosolubles. La composición del gluten seco ha sido establecido como: gliadina 43 %, glutenina 39 %, otras proteínas 4,4 %, lípidos 2,8 %, azúcares 2,1 % y almidón 6,4 %, con algo de celulosa y sustancias minerales (Kent, 1987).

Efecto sobre la calidad.

- Albúminas y Globulinas.

Debido a su solubilidad en agua y sal, estas proteínas son eliminadas en su mayoría durante el proceso de lavado necesario para preparar el gluten, por lo que es improbable que ejerzan un efecto muy importante sobre las características del gluten y la masa de la harina. Sin embargo, esta fracción proteica contiene algunas de las enzimas, tales como proteasas, amilasas y lipoxigenasas las cuáles tienen una considerable importancia en la panificación.

La fracción soluble en agua (albúminas) también contiene azúcares de bajo peso molecular, péptidos, aminoácidos y sales inorgánicas que son esenciales para el crecimiento de las levaduras y por tanto afectan al poder gasificante de la masa durante la fermentación. Las albuminas, como otras proteínas, tienen una superficie activa. Una importante función de las proteínas solubles en agua durante la fermentación es la estabilización de la estructura espumosa de la masa. Estas se concentran en la interface entre las burbujas de dióxido de carbono y la matriz formada por las proteínas y el almidón, estabilizando las burbujas e incluso interviniendo en la estructura de la espuma.

Los principales efectos de las albuminas de la harina en las propiedades panaderas parecen ser el poder gasificante, actividad superficial y viscosidad, y por tanto estabilidad de la espuma. No hay ninguna evidencia de que esta fracción tenga otro papel significativo en la determinación del volumen y la estructura de la masa.

- Proteínas del gluten.

El gluten es el principal responsable de la calidad panadera de un trigo. Este actúa formando una red continua que retiene el anhídrido carbónico liberado en la fermentación, permitiendo que la masa se expanda al cocerse. Ello ocurre cuando el gluten es elástico, lo que es propio de los trigos harineros.

Hay tres aspectos que influyen en la estructura final del gluten: la estructura de las proteínas individualmente, las interacciones entre ellas y sus interacciones con otros componentes de la masa (almidón y lípidos).

Las gluteninas de alto peso molecular

HMW, a pesar de representar sólo el 20 % del total de gluteninas (y 6-10 % del gluten completo), hay evidencias que hacen que estén asociadas a una alta elasticidad y una buena calidad panadera. Una de ellas es que sólo están presentes en polímeros de alto peso molecular, los cuáles están asociados con buena calidad panadera. Otra evidencia que lo demuestra, es que la variación alélica en su número y composición está fuertemente correlacionada con la variación en la calidad panadera (Payne, 1987).

Se ha evidenciado que la proporción relativa de las proteínas de alto y bajo peso molecular en el gluten (cociente entre las gliadinas y las gluteninas) debido a sus diferentes propiedades físicas afecta drásticamente a sus propiedades reológicas (viscosidad, extensibilidad y resistencia a la extensión). Las gliadinas forman una sustancia pegajosa y altamente extensible, con una consistencia parecida a la miel, mientras que las gluteninas (LMW y HMW), en cambio, forman otra dura y elástica. Combinadas estas en diferente proporción y vueltas a añadir a la harina, producen masas cuyas propiedades abarcan todo el rango desde una harina débil y extensible, a otra mucho más fuerte y estable (Lee y MacRitchie 1971; MacRitchie, 1972, 1973; citado por Simmonds, 1989). Esto demuestra el efecto que ejerce la proporción de gluteninas y gliadinas en las propiedades físicas de la masa, e indirectamente, en sus propiedades de manejo y cocción.

Gupta y MacRitchie (1994) dedujeron de sus investigaciones que las diferencias en la fuerza de la masa estaban causadas por las diferencias en la cantidad, tamaño y/o tipos de comportamiento polimérico de las subunidades proteicas, concluyendo que esta estaba principalmente determinada por la proporción de polímeros de mayor peso molecular. Los efectos positivos de las subunidades de glutenina pueden atribuirse principalmente a su capacidad para formar puentes disulfuro intermoleculares, por lo que la variación en la cantidad o calidad de estas subunidades puede afectar el tamaño de la proteína completa considerablemente (hasta varios millones). Contrariamente, las gliadinas que no forman estos enlaces, tienen un rango de tamaños más limitados, con lo cual, pueden tener un efecto muy pequeño en el tamaño de la proteína.

Por otra parte, mientras la elasticidad del gluten está asociada a la formación de enlaces covalentes entre los polímeros de glutenina, y en particular con las subunidades HMW, la viscosidad está principalmente determinada por interacciones no covalentes. Esta viscosidad del gluten la proporcionan los fuertes puentes de hidrógeno e interac-

ciones hidrofóbicas entre los dominios repetitivos de las proteínas que lo componen, principalmente entre las gliadinas (Shewry et al. 1993).

En la estructura del gluten, sin embargo, se encuentran ligados íntimamente a las proteínas otros componentes como lípidos y polisacáridos. Las interacciones entre ellos todavía no están claras, pero se han revelado correlaciones de la calidad panadera con el contenido en lípidos, y también se ha demostrado que los lípidos actúan dando plasticidad a las proteínas del gluten (Tatham et al., 1990).

Polisacáridos.

Los polisacáridos de los cereales se pueden dividir en dos grandes grupos: los polisacáridos de reserva, de los cuáles el almidón es el más importante, y los polisacáridos estructurales del salvado y las paredes celulares.

Almidón.

El almidón es el mayor componente químico del grano de trigo, ocupando el 60-70% del peso seco del grano y entre el 65-82 % de la harina, dependiendo esta última cantidad de la proporción de extracción.

Los dos polímeros principales que forman los gránulos de almidón son la amilosa y la amilopectina, las cuáles están generalmente presentes en una proporción de 1:3, aunque esta proporción puede variar. La amilosa forma cadenas lineales, mientras la amilopectina forma cadenas muy ramificadas. Esta proporción de amilosa a amilopectina y otras propiedades distintivas del gránulo de almidón tales como su tamaño y forma están genéticamente controlados (Simmonds, 1989).

Durante la operación de la molienda se produce una rotura de los gránulos de almidón. Los gránulos rotos se hinchan en presencia de agua y son particularmente susceptibles al ataque de enzimas degradadoras del almidón. A causa de esta mayor absorción de agua, los gránulos rotos juegan un papel importante en la cantidad de agua absorbida por la harina durante la preparación de la masa. Esto no sólo permite obtener un mayor rendimiento de pan a partir de un peso de harina dado, sino que también constituyen una fuente de azúcar para ser utilizadas durante la fermentación por las levaduras, para crecer y producir dióxido de carbono. Actuando sobre la intensidad del proceso de molienda podemos manipular la cantidad de gránulos de almidón rotos, y por tanto ejercer un control sobre la calidad.

Los productos de bajo contenido en humedad como galletas y pastas secas son he-

chas con harinas con niveles de baja rotura de gránulos de almidón, mientras que los productos como el pan, los cuáles tienen un mayor contenido de humedad, requieren harinas que tengan niveles más altos de rotura de gránulos.

Los azúcares también son responsables del color y sabor de la corteza. Al calentarse reaccionan con grupos libres de aminos, con los cuáles forman pigmentos de melanina de color oscuro que le dan a la corteza del pan su característico color tostado, y su agradable sabor y aroma.

El almidón sufre unos cambios considerables en sus propiedades cuando se alcanza su temperatura de gelatinización en presencia de humedad. Debido a que esta temperatura es sobrepasada durante el proceso de fabricación del pan, la gelatinización del almidón tiene un papel importante en la formación y estabilización de la estructura de la miga del pan. Esta proporciona un almacén flexible, a la cual la red del gluten puede adherirse durante la expansión del pan en el horno y formar una estructura completamente rígida.

El endurecimiento del pan se piensa que está provocado por un incremento en cristalinidad del almidón, acelerado por la transferencia de humedad desde la corteza, así como de la fracción proteica (Simmonds, 1989).

Moss y Miskelly (1984) concluyeron que la distribución de tamaño de los gránulos de almidón, su comportamiento de gelatinización y el contenido en proteína del producto final, son los parámetros más importantes para el fabricante y el consumidor. Tanto la distribución de tamaños como el comportamiento de gelatinización del almidón están controlados tanto varietal como ambientalmente. El principal factor que controla la viscosidad de la pasta de almidón es la proporción de amilosa a amilopectina en los gránulos de almidón. lo cual es fundamentalmente un factor de calidad heredable. Sin embargo, la cantidad de amilosa presente tiende a incrementarse más rápidamente que la amilopectina cuando se acerca la maduración (Duffus y Murdoch, 1979). Esto implica un incremento en el cociente amilosa/amilopectina y un descenso en la viscosidad de la pasta si la estación se prolonga y tiene condiciones favorables. Bajo estas condiciones el contenido en proteínas normalmente es bajo, resultando una correlación negativa en-



tre la viscosidad de la masa y el contenido en proteínas (citados por Simmonds, 1989).

Polisacáridos estructurales.

Los principales componentes de las paredes celulares en el endospermo de los cereales y la capa de aleurona comprende un complejo conjunto de polisacáridos y polisacáridos-proteinicos como la celulosa y las hemicelulosas denominados todas ellas pentosanas. A causa de sus importantes funciones estructurales y sus propiedades físicas, juegan un importante papel, tanto en la molienda y el comportamiento en germinación como en la calidad de malteado, viscosidad del extracto acuoso y valor nutricional.

Las pentosanas desempeñan un papel muy importante en la absorción de agua por la masa (aunque representan sólo el 2 % del peso seco de la harina son responsables del 23 % de la absorción de agua).

Aunque las pentosanas son responsables de la absorción de una importante cantidad de agua por la masa de harina del trigo, no se ha presentado ninguna evidencia real

de que afecten significativamente al volumen de la masa durante la cocción. Si se ha demostrado, en cambio, que las pentosanas insolubles en agua, en particular, pueden disminuir el ritmo de endurecimiento del pan.

Lípidos.

Los lípidos son un componente menor pero importante dentro del grano de trigo, ocupando entre el 2-4 % del peso total. Estos contribuyen a la estructura de las membranas y orgánulos de todos los tejidos del grano, y también se encuentran como gotitas de reserva denominadas esferosomas en las células de la capa de aleurona, escutelo y eje embrional.

El contenido total de lípidos de la harina está entre el 1-2 % en peso, de este aproximadamente una tercera parte procede de la contaminación por el embrión y la aleurona, mientras algo menos de otra tercera parte se encuentra dentro de los gránulos de almidón (lípidos unidos al almidón). El restante 40 %, lípidos no unidos al almidón, consiste en todo el material lipídico que constituye las membranas y otras estructuras orgánulares presentes en las células del endospermo, así como los que se encuentran en la superficie de

los gránulos de almidón, derivados de los residuos de la membrana de los amiloplastos.

Los lípidos afectan principalmente a la fase de cocción. Los lípidos de reserva no polares tienen un efecto de depresión del volumen, en cambio el grupo polar primero tiene un efecto depresivo y luego rápidamente incrementa el volumen. Cuando se añaden juntos, los dos grupos de lípidos tienen un efecto combinado intermedio entre los dos extremos. La textura del pan también es mejorada. Ambos grupos tienen en general un efecto positivo en el volumen del pan.

Las investigaciones llevadas a cabo hasta la fecha sugieren que las propiedades necesarias para los lípidos de una harina de buena calidad panadera son: un alto contenido de lípidos no unidos al almidón, un alto porcentaje de lípidos polares a no polares, y un bajo contenido de ácidos grasos libres (MacRitchie, 1983; citado por Simmonds, 1989).

Se piensa que los lípidos retrasan el endurecimiento del pan, debido al retardo en la degradación de las cadenas de glucosa que forman la fracción de almidón. ■