



Universidad de Valladolid



**PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA
AGROALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS**

TESIS DOCTORAL:

**Reutilización para alimentación humana
de los desechos de pan en industria y
distribución**

Presentada por Priscila Guerra de Oliveira para
optar al grado de
Doctor/a por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:
Manuel Gómez Pallarés

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi profesor y tutor de tesis, Manuel Gómez Pallarés, todas las enseñanzas durante estos años. Por entender mi situación en todo momento y ayudar siempre de la mejor manera posible con contribuciones que van más allá de las enseñanzas fundamentales (como cursos, congresos y viajes).

También me gustaría dar las gracias a David, que ha sido mi pilar en estos años y que seguramente ha tenido una gran participación en la elaboración de este trabajo y que me ha apoyado en todo momento.

También agradecer a la Universidad de Valladolid la cesión del espacio y los laboratorios necesarios para los experimentos de esta tesis.

Quiero agradecer a mis compañeros de doctorado y de laboratorio que he conocido durante estos años, especialmente a Cristina Gallego, por todas las enseñanzas y conocimientos generales que han hecho que mi vida en la universidad y en España sea mucho mejor.

Por último, pero no menos importante, me gustaría agradecer a mis padres: José Antonio Cortes de Oliveira y Elizabeth Guerra de Oliveira, por la educación única que me ofrecieron para que hoy pueda estar donde estoy. Vosotros sois mi base y la razón principal por la que puedo presentar esta tesis, por vosotros estoy eternamente agradecida y esta tesis está dedicada a vosotros.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN	8
DESPERDICIO: ASPECTOS GENERALES	9
ASPECTOS AMBIENTALES	10
EL DESPERDICIO DE PAN	12
PANIFICACIÓN	16
PROCESADO	16
GLUTEN	18
ALMIDÓN	19
ENVEJECIMIENTO DEL PAN	20
HARINA DEL PAN	22
PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LA HARINA DE PAN EN PRODUCTOS A BASE DE CEREALES	23
GALLETAS	23
BIZCOCHOS	26
BIBLIOGRAFÍA	29
OBJETIVOS	39
ESTRUCTURA	41
CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN DE LAS DIFERENTES HARINAS DE PAN	43
PHYSICAL PROPERTIES OF FLOUR OBTAINED FROM WASTED BREAD CRUST AND CRUMBS	44
EFFECT OF PARTICLE SIZE IN WASTED BREAD FLOUR PROPERTIES	45
CAPÍTULO II: PRODUCTOS PREPARADOS CON HARINAS DE PAN	46
WASTE BREAD AS INGREDIENT FOR COOKIE ELABORATION	47
WASTE BREAD FLOUR AS NOVEL INGREDIENT IN CAKE MAKING	48
CONCLUSIÓN	49

RESUMEN

El desperdicio o pérdida de alimentos se reconocen como una grave amenaza para la seguridad alimentaria, la economía y el medio ambiente y tiene influencia directa a la disminución de la disponibilidad de alimentos comestibles a lo largo de la cadena alimentaria humana. En el mundo de los cereales, el desperdicio tiene una gran relación con los supermercados y la industria, principalmente en los productos que no han tenido contacto con el consumidor final. De acuerdo con la UE hay una preferencia en destinar los residuos en primer lugar con la intención de reintegrarlos en la cadena alimentaria humana. En los últimos años la creciente demanda de investigación sobre la reintegración de alimentos en la cadena alimentaria ha hecho que aumente la bibliografía, sin embargo, teniendo en cuenta el desperdicio de pan, se encuentran pocos estudios y se centran en el uso no alimentario y sin aclarar cómo funciona este nuevo ingrediente o su caracterización de forma más completa.

La intención de esta tesis es estudiar las características y posibilidades de los residuos de pan desechado que no han tenido contacto con el consumidor final, para tratar de entender la funcionalidad y posibilidad de reintroducción de este alimento y en qué tipos de productos.

El tipo de pan y su zona (miga o corteza) influyen en las características de las harinas obtenidas a partir del pan desechado. Para la producción de harina de pan, las muestras seleccionadas de varios tipos de pan (blancos e integrales), que después de secos, fueron molidos. Estas harinas de pan presentan valores más altos de capacidad de retención de agua y de capacidad de fijación de agua y valores más altos de módulo elástico (G') y de módulo viscoso (G''), tanto en frío como después del calentamiento, que las harinas de trigo. Sin embargo, generan geles más débiles. Las harinas de corteza, y los geles obtenidos a partir de ellas, son más oscuros que los de las migas y sus geles. En cuanto a la hidratación y la

reología, las harinas de pan de molde y las integrales suelen ser más bajas que las demás harinas de pan. Estas harinas también generan geles más blandos, posiblemente causados por la dilución del almidón con otros componentes.

Cuando realizamos la molienda de la harina de pan, se pueden generar harinas con diferentes tamaños de partícula que influyen en sus propiedades. El tamaño de partícula (200, 500 y 1000 μm) presentan valores representativos con el objetivo comparativo. Sobre las propiedades de hidratación, pegado y gelificación, las harinas de pan muestran una mayor capacidad de absorción de agua en frío y una menor capacidad de absorción de aceite que la harina de trigo. No se observaron diferencias en las propiedades de absorción de agua tras el calentamiento. Las curvas de viscosidad de las harinas de pan presentaron valores más bajos que las de la harina de trigo, y los geles obtenidos fueron más débiles. Al revés de lo que era esperado, las propiedades de las harinas de pan no se vieron influidas por los diferentes tamaños de partícula.

Con esos conocimientos sobre la caracterización de la harina de pan, ha sido posible introducir el pan desechado de los comercios en la elaboración de galletas de azúcar, donde también ha sido importante la posible influencia del producto final con el tamaño de partícula. Con harinas de pan de diferentes tamaños de partícula a partir de panes desechados (blanco tradicional y de trigo integral), han sido producidas galletas utilizando el 100% de las harinas de pan y combinaciones del 50% de harina de pan y harina de trigo. Se evaluó la reología de las masas, las dimensiones de las galletas, textura y color. Las masas de harina de pan presentaron valores G' y G'' más altos que las de harina de trigo, especialmente las de mayor tamaño de partícula. Las galletas de harina de pan tenían un diámetro menor y una textura más dura que el control, pero en el caso de las harinas de pan integrales de mayor tamaño de partícula, esas diferencias se redujeron. Las galletas elaboradas con harina de pan tenían un color más oscuro y valores a^* más altos. Las mezclas al 50% no presentaron diferencias significativas con respecto al control en cuanto a la reología de la masa, la dureza o la luminosidad. Para las muestras que presentan mezclas entre harina de pan y harina de trigo, aunque el factor de extensión se redujo en comparación con

galletas producidas solo con harina de trigo, fue más similar al control que a las galletas con 100% de harina de pan.

Como para la producción de galletas el tamaño de partícula si produjo diferencia en los resultados finales, la harina de pan de varios tamaños de partícula (1000 μm , 500 μm y 200 μm) ha sido elegida para la continuidad de los estudios para producción de dos tipos distintos de bizcochos en diferentes porcentajes. Para formulaciones de bizcochos de la tipología "*sponge*" hubo una mezcla de harina de trigo con harina de pan en diferentes porcentajes (10% y 20%) y en bizcochos del tipo "*layer*" (10%, 20% y 30%). La inclusión de harina de pan cambia la microestructura del batido. La viscosidad no afecta a los bizcochos *sponges*, pero tiende a aumentar en los *layers*, sobre todo en el caso de las harinas más finas. El volumen específico se reduce en los bizcochos, mientras que la dureza suele aumentar, incluso con los porcentajes más bajos de harina de pan. En los *layers*, esta reducción del volumen sólo es visible en las dosis más altas de harinas inferiores a 500 micras, sin que se produzcan cambios en la dureza.

ABSTRACT

Food waste or food loss is recognised as a serious threat to food security, the economy and the environment and has a direct influence on decreasing the availability of edible food along the human food chain. In the world of cereals, waste has a strong relationship with supermarkets and industry, mainly in products that have not had contact with the final consumer. According to the EU there is a preference to dispose of waste first with the intention of reintegrating it into the human food chain. In recent years the increasing demand for research on the reintegration of food into the food chain has led to a growing literature, however, considering the waste of bread, few studies are found and they focus on non-food use and without clarifying how this new ingredient works or its characterisation in a more complete way.

The intention of this thesis is to study the characteristics and possibilities of discarded bread waste that has not had contact with the final consumer, to try to understand the functionality and possibility of reintroduction of this food and in which types of products.

The type of bread and its area (crumb or crust) influence the characteristics of the flours obtained from discarded bread. The production of bread flour, samples were selected from various types of bread (white and wholemeal), which, after drying, were milled. These bread flours show higher values of water holding capacity and water binding capacity and higher values of elastic modulus (G') and viscous modulus (G''), both when cold and after heating, than wheat flours. However, they generate weaker gels. Crust flours, and the gels obtained from them, are darker than crumbs and their gels. In terms of hydration and rheology, bread flours and whole wheat bread flour are generally lower than other bread flours. These flours also generate softer gels, possibly caused by dilution of the starch with other components.

When bread flour is milled, it can produce flours with different particle sizes that influence its properties. The particle sizes (200, 500 and 1000 μm) presents representative values for comparative purposes. On hydration and gelling properties, bread flours show a higher cold water absorption capacity and a lower oil absorption capacity than wheat flour. No differences in water absorption properties were observed after heating. The viscosity curves of the bread flours showed lower values than those of the wheat flour, and the gels obtained were weaker. Against expectations, the properties of the bread flours were not influenced by the different particle sizes.

With the knowledge on bread flour characterization, it has been possible to introduce discarded bread from shops into the production of sugar cookies, where the possible influence of particle size on the final product has also been important. Bread flours of different particle sizes from discarded breads (traditional white and whole wheat), cookies have been produced using 100% bread flours and combinations of 50% bread flour and 50% wheat flour. Dough rheology, dimensions, texture and colour were evaluated. Bread flour doughs had higher G' and G'' values than wheat flour doughs, especially those with larger particle size. Bread flour cookies were smaller in diameter and harder in texture than the control, but in the case of the larger particle size wholemeal bread flours, these differences were reduced. Cookies made with bread flour had a darker colour and higher a^* values. The 50% blends showed no significant differences compared to the control in terms of dough rheology, hardness or lightness. For samples with blends between bread flour and wheat flour, although the spreading factor was reduced compared to cookies produced with only wheat flour, it was more similar to the control than cookies with 100% bread flour.

As for cookies production the particle size did make a difference in the final results, bread flour of various particle sizes (1000 μm , 500 μm and 200 μm) has been chosen for the continuation of the studies for the production of two different types of cakes in different percentages. For sponge cake formulations there was a mixture of wheat flour with bread flour in different percentages (10% and 20%) and in layer cake formulations (10%, 20% and 30%). The

inclusion of bread flour changes the microstructure of the batter. Viscosity does not affect sponges, but tends to increase in layers, especially in the case of thinner flours. The specific volume is reduced in sponge cakes, while the stiffness tends to increase, even with the lowest percentages of bread flour. In the layers, this reduction in volume is only visible at the highest doses of flours below 500 microns, with no change in hardness.

INTRODUCCIÓN

1. DESPERDICIO: ASPECTOS GENERALES

El desperdicio o pérdida de alimentos se reconocen como una grave amenaza para la seguridad alimentaria, la economía y el medio ambiente (Socas-Rodríguez et al., 2020). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) define el desperdicio de alimentos como material comestible sano destinado al consumo humano, que surge en cualquier punto de la cadena de suministro y que, en cambio, se desecha, se pierde, se degrada o es consumido por las plagas (FAO, 1981). En la figura 1 se representan las actividades dentro de la cadena de suministros que dan lugar a pérdidas y desperdicio de alimentos. El desperdicio de alimentos tiene influencia directa sobre la disminución de la disponibilidad de alimentos comestibles a lo largo de la cadena alimentaria humana, y genera anualmente una pérdida de aproximadamente un tercio de todos los alimentos producidos para el consumo humano, representados en aproximadamente 1.300 millones de toneladas de alimento (Ishangulyyev et al., 2019). El valor monetario de esta pérdida se estima en aproximadamente 936.000 millones de dólares. Según Stuart (2009) regiones como América del Norte y Europa tienen un desperdicio de entre 30 y 50% de sus suministros de alimentos, cantidad suficiente para alimentar tres veces la población considerada en situación de inseguridad alimentaria en el mundo.

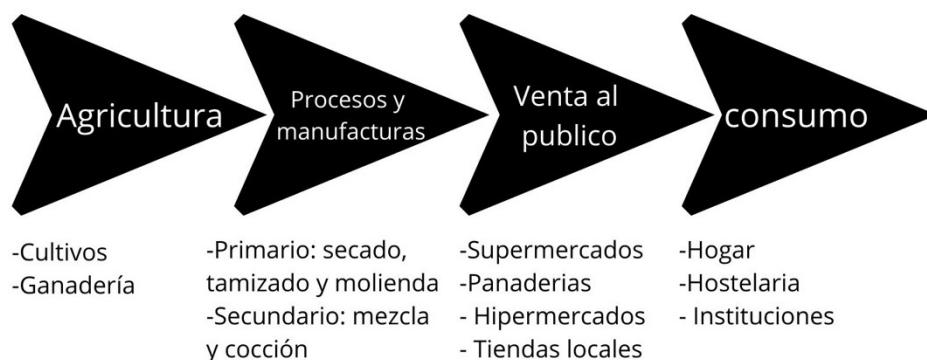


Fig1. Actividades que dan lugar a pérdidas y desperdicio de alimentos en la cadena de suministros

Las pérdidas y el desperdicio de alimentos en la cadena primaria son mayores en países en desarrollo, no obstante, los países desarrollados tienen la tasa de desperdicio más alta en la fase de consumo. En el África subsahariana, y en el sur y sureste de Asia, se estima una media de entre 120 e 170 kg per cápita al año de pérdida de alimentos (Gustavsson et al., 2011), con la mayoría de estas pérdidas producidas en las primeras etapas de la cadena alimentaria (Lipinski et al., 2018). Esto se debe a la baja inversión en tecnologías de recolección y almacenamiento y las restricciones laborales y financieras, en combinación con la falta de medios de transporte adecuados y vías. Las condiciones climáticas extremas también son un inconveniente que puede aumentar los riesgos de deterioro de los alimentos almacenados (Foxy y Fimeche, 2013). En cambio, en los países desarrollados, el desperdicio de alimentos es mayor durante la fase de consumo (Lipinski et al., 2018), con una media entre 280 e 300 kg per cápita al año en Europa y América del Norte (Gustavsson et al., 2011).

1.1. Aspectos ambientales

En este contexto, los impactos ambientales, sociales y económicos negativos del desperdicio de alimentos se hacen más evidentes. El desperdicio de alimentos debe ser tenido en cuenta para una gestión más sostenible de los residuos a nivel mundial (EPA., 2012; Defra, 2011).

Uno de los principales impactos ambientales de los residuos alimentarios está relacionado con su eliminación final en los vertederos. Cuando los residuos alimentarios se eliminan en los vertederos se producen metano y dióxido de carbono, como parte de su proceso de descomposición natural. El metano y el dióxido de carbono son GEI (gases de efecto invernadero) que contribuyen al cambio climático, siendo el metano el más negativo de los dos, ya que atrapa 21 veces más calor que el dióxido de carbono (Adhikari et al., 2006). Se calcula que el sector de los residuos representa aproximadamente el 3% de las emisiones mundiales de GEI. Aproximadamente el 35% de la producción total de cereales de América del Norte, Europa y Asia son residuos (Belc et al., 2019). Los desechos industriales de cereales provocan contaminación medioambiental por su gran carga biológica, de residuos sólidos y nutrientes. Estos residuos, al depositarse en el agua, sufren una descomposición que conduce a un empeoramiento de la

calidad del agua, produciendo un aumento de la demanda biológica de oxígeno, y poniendo en riesgo a diferentes especies que viven en este medio (Thirugnanasambandham, et al., 2013).

A diferencia de otros materiales de desecho no orgánicos, las propiedades de los alimentos cambian en un periodo de tiempo relativamente corto. Eso significa que un alimento cuando se descompone se convierte en no comestible y finalmente en residuo. La vida útil de los alimentos es fundamental cuando consideramos la inocuidad alimentaria, algo crucial para la jerarquía de residuos en el contexto del desperdicio de alimentos. Dentro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), una de las metas (12.3) incluye: "reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita a nivel de minoristas y consumidores, y reducir las pérdidas de alimentos a lo largo de las cadenas de producción y suministro (incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha) para 2030" (UN-GA, 2015).

La jerarquía de residuos se definió como un plan estratégico en la legislación europea, concretamente en la Estrategia Comunitaria para la Gestión de Residuos en 1989 (Parlamento Europeo Consejo, 1989). Desde entonces, este es el plan preventivo que marca la finalidad de gestionar y minimizar los residuos. Desde de la implementación hay países, como Corea del Sur, que han aumentado sus residuos alimentarios reciclados del 2% en 1995 a cerca del 95% en 2021. El vertido de alimentos en vertederos en este país se prohibió en 2005, y en 2013 se introdujo el reciclaje obligatorio de residuos alimentarios (Tamasiga et al., 2022). La jerarquía de residuos ha sido adoptada en todo el mundo en formato de pirámide, con el objetivo de identificar las opciones prioritarias que proporcionen mejor resultado medioambiental global. Como se aprecia en la Figura 2, la pirámide se constituye de cinco escalones en donde la opción más favorable es la "prevención", seguida de "reutilización" y la opción menos favorable es la "eliminación" (Parlamento Europeo, Consejo, 2008).

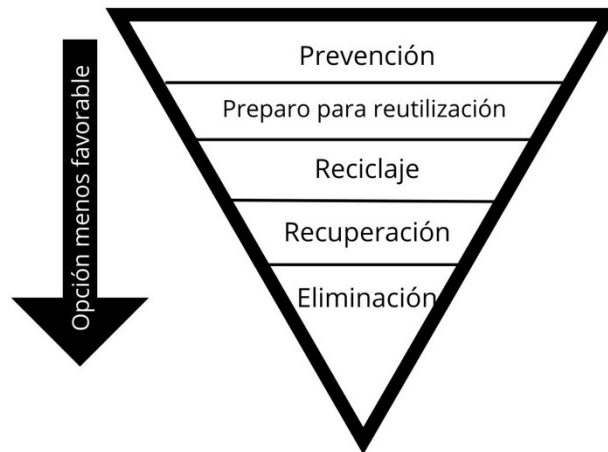


Fig2. Pirámide de reuso

1.2. El desperdicio de pan

Los residuos de pan representan una parte importante del desperdicio alimentario. Entre los alimentos que se desperdician en los supermercados, los que tienen una mayor huella ambiental son la carne y los productos de panadería (Brancoli et al., 2017). Distintos trabajos han valorado la cantidad de desperdicio de pan en Europa. Así se estima que, según uno de los estudios más recientes realizados en Suecia que el desperdicio de pan era de 8,1 kg por persona/año y se concentraba en los hogares y en el comercio minorista (Brancoli et al., 2019). Brancoli et al. (2017) cuantificaron y evaluaron los impactos ambientales y económicos del desperdicio de alimentos en un supermercado sueco, y concluyeron que el pan era uno de los principales contribuyentes en relación a su cantidad, los impactos ambientales y los costes. Así, se ha demostrado que la correcta gestión de los residuos de panadería ofrece la mejor medida para reducir el efecto invernadero, en comparación con la gestión de otros alimentos desperdiciados (Eriksson, 2015). En el Reino Unido se estima que el desperdicio de pan corresponde al 10% de todo el desperdicio de alimentos y que el 32% de todo el pan comprado se desperdicia en los hogares (WRAP et al., 2011). En el conjunto de la Unión Europea, se calcula que el porcentaje de residuos de productos de panadería es superior al 7% de la producción total. Este porcentaje se estima aproximadamente en 1,3 millones de toneladas al año (Mena et al., 2011). Aunque determinar la cantidad exacta de pan que se desperdicia durante su ciclo de vida es difícil, algunos autores estiman que se desperdician cientos de toneladas diarias en todo el mundo (Melikoglu y Webb, 2013).

El elevado desperdicio de productos horneados puede estar relacionado con la escasa vida útil de algunos tipos de pan fresco (no mayor de 24 horas) y a la retirada de panes industriales, de mayor vida útil, antes de la fecha de consumo preferente. También está favorecido por la política de mantener las estanterías llenas de pan recién horneado durante toda la jornada del punto de venta (Brancoli et al., 2019). Esta política se apoya, en parte, en que el pan es uno de los alimentos que atraen a más clientes a las tiendas y, por tanto, los minoristas se esfuerzan por mantener sus estanterías llenas de pan, aunque esto genere residuos de los productos no vendidos. Por otra parte, los proveedores tienen un gran interés en mantener las estanterías llenas de pan por el riesgo de perder el espacio libre de estas estanterías a favor de los competidores (Ghosh y Eriksson, 2019). Otro factor que también puede estar relacionado con la elevada cantidad de desperdicio de pan es el frescor, puesto que hay consumidores que prefieren que el pan sea lo más fresco posible (recién horneado) en el momento de la compra (Lyndhurst, 2011; Østergaard y Hanssen, 2018). Dada la importancia de la frescura para los consumidores a la hora de comprar pan, se ha creado un patrón de compras de último en entrar, primero en salir, lo que significa que es más probable que los consumidores elijan los productos más frescos y dejen los productos viejos sin vender (Rohm et al., 2017). Para los productos de panadería envasados, las tiendas retiran habitualmente los productos de sus estanterías hasta tres días antes de la fecha de consumo preferente y la mayoría de estos productos se desperdician debido a su proximidad a esta fecha (Brancoli et al., 2019). Según un estudio en Suecia, Los minoristas y las panaderías están de acuerdo en que una cierta cantidad de residuos es inevitable y afirman que producen más para satisfacer esta demanda de lo que harían si tuvieran control sobre las cantidades entregadas (Rohm et al., 2017).

Sin embargo, la vida útil es solo una de las razones por las que se desperdicia pan. Durante el proceso de fabricación también se deshecha una gran cantidad de productos, sea debido a factores de procesamiento, por patrones de calidad o por parámetros estéticos impuestos por consumidores. Por ejemplo, en la producción de pan de molde se puede eliminar la corteza o la capa externa de los panes, lo que equivale a aproximadamente 40% del producto (Verni et al., 2020).

Los residuos de productos de panadería, incluidos los residuos de pan, se producen a lo largo de la cadena de suministro de alimentos, desde la producción hasta el transporte y el almacenamiento (Benabda et al., 2018). Sin embargo, los minoristas se encuentran en una posición estratégica para influir sobre las cantidades de residuos que pueden ser prevenido o producido en otros sectores de la cadena de suministro, como la producción primaria, la distribución y el consumo final (Kulikovskaja y Aschemann-Witzel, 2017). Por ejemplo, la reducción de los residuos innecesarios en el comercio minorista tiene el potencial de lograr una disminución significativa de las cargas ambientales, económicas y sociales asociadas a los residuos de pan en la cadena de suministros (Brancoli et al., 2019). En la actualidad, ya se han establecido métodos para intentar no sólo reducir los residuos generados, sino también eliminarlos de forma más sostenible. Programas como los existentes en Suecia para la recogida del pan en los comercios tienen la ventaja de funcionar con una logística inversa y permitir un desecho limpio del pan sin mezclarlo con otros ingredientes, lo que aumenta las opciones de tratamiento de estos residuos. (Brancoli et al., 2019). Programas nacionales también están poniendo en práctica la recogida de alimentos en grandes supermercados para la finalidad de compostaje.

Aunque las posibilidades para la reutilización de los desperdicios de pan es una realidad posible, es necesario considerar posibles problemas relacionados con esta práctica. La calidad higiénico-sanitaria es el punto de partida para la reutilización de esos productos, una vez que un pan degradado microbiológicamente puede modificar las características de estos productos, de manera descontrolada, y aportar sabores y aromas extraños. Pero quizás el motivo principal consista en que estos microorganismos, aunque se puedan destruir con un tratamiento térmico posterior, pueden generar micotoxinas que resisten estos tratamientos térmicos (Dong y Karboune, 2021; Smith y Johansson., 2004). Pero en una industria, pueden aprovecharse los restos de una elaboración defectuosa rápidamente, sin que se produzca ningún tipo de deterioro microbiológico. En la distribución hay ciertos tipos de panes que se deterioran muy rápidamente por cambios en su textura, y debido a eso son retirados del mercado en 24-48 horas, sin que se produzca deterioro microbiano,

pero también existen casos en los que los panes sufren este tipo de deterioro (Axel et al, 2017). Porque, aunque los excedentes de pan producidos en las fases de fabricación y venta al por menor no están contaminados con materia orgánica, no siempre se puede descartar la proliferación de bacterias y mohos. Un ejemplo de panes que tienen mayor probabilidad de proliferación de bacterias y mohos son los panes que contienen mayor actividad de agua, como las del pan precocido o la masa, el pan de molde y otros panes de larga duración. En esos casos, para la posible reutilización hay que tener en cuenta el tipo de pan utilizado, así como el tiempo de almacenamiento para evitar proliferaciones de bacterias y mohos. También es importante obtener un protocolo de control higiénico estricto para evitar contaminaciones en el proceso, una vez que, si las muestras se contaminan microbiológicamente, no deben considerarse para el consumo humano o animal. El pan desechado suele utilizarse para la producción de etanol (Haroon et al., 2016), para la alimentación animal (Afzalzadeh et al., 2007), para digestión anaerobia (Hassan et al., 2021; Melikoglu et al., 2015). También se ha utilizado residuos de pan hidrolizado para la producción de levaduras panaderas (Benabda et al., 2018). Sin embargo, estas opciones siguen sin disminuir significativamente la cantidad de subproductos, muchas veces sin considerar también otros factores como la huella de carbono, o los gastos energéticos para producir en el proceso, por lo que no consiguen resolver el problema en su totalidad. Al considerar el esquema de distribución del pan, es posible crear estrategias de redistribución y recuperación, que pueden suponer un mayor ahorro medioambiental junto con un flujo de ingresos adicional para las panaderías y los minoristas. En ese esquema, los residuos de pan generados en la fabricación y venta al por menor no se mezclan con otros residuos alimentarios y, por tanto, pueden gestionarse por separado de otros flujos de residuos. Esos residuos producidos en la fase de producción normalmente son producidos en grandes volúmenes y distribuidos dentro de un esquema de servicio completo que implica un acuerdo de recuperación (TBA) entre el minorista y el proveedor, lo que permite un flujo completo que favorece diferentes vías de redistribución y valorización de los residuos (Brancoli et al., 2020).

Según la Directiva Marco de Residuos, la jerarquía prioritaria de la reutilización de los residuos alimentarios debe ser la reutilización de estos productos, antes del reciclaje de los residuos comestibles, en la cadena de consumo humano, encontrada en el tercer escalón de la pirámide (Unión Europea, Directiva 2008/98/CE). De acuerdo con la normativa de la UE sobre seguridad alimentaria para el consumo humano, los alimentos deben ser antes reutilizados en la cadena de consumo humano, siempre que cumplan los requisitos establecidos. Esto asegura la generación de productos no perjudiciales para la salud y aptos para el consumo humano (Parlamento Europeo y Consejo, 2002).

Por lo tanto, investigaciones para aprovechar, por ejemplo, subproductos de la industria de frutas y verduras en productos de panadería han incrementado en los últimos años, y han dado lugar a distintas revisiones bibliográficas (Martins et al., 2017; Quiles et al., 2018). Pero, a pesar de la importante preocupación por los residuos de pan en la industria y los minoristas, y la facilidad de su introducción en otros subproductos tras un simple proceso de secado y molturación, los estudios que apoyan la reintroducción de estos residuos en la cadena alimentaria humana son muy escasos y se limitan a su uso para la producción de masa madre (Gélinas et al., 1999) y de aperitivos extruidos (Luo y Koskel, 2020; Samray et al., 2018). Actualmente, y debido en gran parte a la mayor concienciación de la población, hay un incremento de las investigaciones sobre la posible reintroducción de los restos de pan para alimentación humana, y su inclusión en la elaboración de distintos productos alimentarios.

2. PANIFICACIÓN

2.1 Procesado

La panificación es un proceso complejo que parte, como principales componentes, de harina, agua, levadura y sal. Estos ingredientes pasan por un proceso de amasado, que es clave para la calidad final del producto, debido que en este paso ocurre la homogeneización de los ingredientes y el trabajo mecánico necesario para el desarrollo de la red de gluten. Conjuntamente, los biocatalizadores presentes en la levadura y la harina inducen reacciones químicas y bioquímicas, que se consolidan en los pasos siguientes, y se

completan tras los efectos de las altas temperaturas durante el proceso de cocción (Kulp et al., 1981).

Durante el proceso de amasado se empieza a degradar el almidón previamente dañado, por acción de las amilasas, y la mayor parte de los azúcares generados en este proceso comienzan a ser transformados por las levaduras en alcohol y CO₂. El siguiente paso tras el amasado es la fermentación, donde la producción de CO₂ es crucial para un adecuado volumen final del pan. En esta fase es donde se produce la mayor actividad de las levaduras, transformando los azúcares en alcohol y CO₂. En este punto es importante la capacidad de las células de gas para aumentar de tamaño, de modo que no se produzca un colapso de la estructura (Shehzad et al., 2010). El siguiente paso es el horneado, en la que la masa sigue su expansión y aumento de volumen (en las primeras fases). Durante este periodo, el agua presente se evapora y, con el aumento de la temperatura, las enzimas también se inactivan. La combinación de calor y humedad durante el proceso de cocción hace que los gránulos de almidón se hinchen y gelatinicen (Hug-Iten et al., 1999). Es durante el horneado cuando se produce la diferenciación entre miga y corteza, una vez que el calor debe ir penetrando desde el exterior al interior de las piezas. Las condiciones de horneado también pueden modificar estos cambios, y así la presencia de vapor puede retrasar el calentamiento de las piezas y generar cortezas más finas (Le Bail et al., 2011).

La parte de la miga es un sistema coloidal en el que el componente principal es el almidón (Kulp, et al., 1981). Este se hidrata e hincha, gelatinizando en el proceso de horneado. Por su parte la corteza, asociada a un bajo contenido de humedad y actividad de agua, presenta una estructura de almidón y gluten que se encuentran en un estado vítreo, lo que hace que las paredes celulares sean más propensas a la fractura (Stokes y Donald, 2000). En la miga, por tener mayor humedad, se produce una mayor gelatinización del almidón y un aumento de la estructura celular. Sin embargo, en la corteza, por el bajo contenido de agua no se produce una completa gelatinización del almidón, lo que afecta a la textura y sensación en boca (Vanin et al., 2009). Sin embargo, en el caso de aplicar vapor al comienzo de la cocción, algo muy frecuente en algunas panificaciones, o realizar esta en el interior de moldes, la gelatinización del almidón de la corteza puede ser mucho mayor.

Las cortezas también pueden contener cantidades apreciables de acrilamida. La acrilamida es un componente potencialmente cancerígeno que se genera durante las reacciones de Maillard (Keramat et al., 2011). Para la formación de acrilamida se deben alcanzar temperaturas superiores a 150°C, y por tanto en los procesos de panificación solo se genera en las últimas fases del horneado, y solo en la zona externa de las piezas. Los niveles de acrilamida dependen de las condiciones del horneado, como el tiempo y la temperatura, siendo mayores a medida que estas aumentan. Actualmente existen prácticas que nos permiten reducir el contenido de acrilamida, como el uso de asparaginasa, sales cálcicas, ácidos o algunas sustancias antioxidantes (Nematollahi et al., 2021; Sarion et al., 2021). Para la reutilización de panes como un subproducto, los niveles de acrilamida son algo a tener en cuenta, una vez que tras un segundo proceso de horneado esos valores pueden ser incrementados. Por ese motivo puede ser interesante la separación de la miga y corteza.

2.2 Gluten

Entre las harinas de cereales, sólo la harina de trigo tiene la capacidad de formar una masa fuerte y cohesiva que retiene el gas y produce un producto horneado ligero. Se cree que las proteínas del trigo y, más concretamente, las proteínas del gluten son las principales responsables de esa singularidad del trigo.

El gluten proporciona a la masa extensibilidad, elasticidad y cohesividad, y contribuye a la capacidad de absorción de agua (Wieser, 2007). En el caso del pan, tiene la habilidad de formar una fina película que entre sus funciones incluye: retención del gas procedente de la fermentación, permitiendo que la masa se expanda; responsable de la retención de agua y, contribuye directamente a la formación de una estructura alveolar en la miga que, tras el horneado, confiere una textura suave y ligera y proporciona palatabilidad (Cauvain y Young, 2007). En el caso del pan, la matriz de gluten es un factor decisivo en las características reológicas de las masas, la tolerancia al exceso de amasado y la capacidad de retención de gas, una vez que un exceso de amasado provoca colapsos estructurales que da lugar a un menor volumen en el pan (Schofield, 1986).

Durante el horneado, las propiedades reológicas del gluten cambian significativamente, ya que la masa viscoelástica se convierte en un sólido elástico. Cuando la masa se somete a una temperatura por encima de 55°C, el gluten asume un carácter viscoso que ayuda en el volumen final (Bale y Muller, 1970). Con el aumento de la temperatura también ocurre la desnaturalización de la proteína, que junto con la gelatinización del almidón afecta a la difusión del agua, ya que la liberan y absorben (Delcour et al., 2012). El calor desnaturaliza las proteínas del gluten por debajo de 100°C (Schofield et al., 1983). La glutenina, por ejemplo, se ve afectada a partir de los 75°C. Además, el calor inactiva las enzimas presentes, como las amilasas, que pierden su funcionalidad (Singh y Kayastha, 2014).

Por todos estos cambios el gluten pierde su funcionalidad original, y en las harinas de pan la proteína de trigo no es capaz de formar una red, similar a la que sí forma el gluten original, una vez hidratado y con el suficiente trabajo mecánico aplicado. Por ese motivo no es posible elaborar pan, o productos que requieran la formación de la red de gluten, únicamente con harinas procedentes de productos de panificación.

2.3 Almidón

Durante el proceso de panificación, los granulos de almidón se hinchan, al hidratarse, en determinadas condiciones de humedad, cuando se someten a un tratamiento térmico (gelatinización). La capacidad de retención de agua es determinada por la cantidad de agua retenida bajo un conjunto de condiciones que incluyen principalmente: fuerza centrífuga y acciones mecánicas (Pinnavaia y Pizzirani, 1998). Factores como la concentración de proteínas, el pH, la fuerza iónica, la temperatura, la presencia de otros compuestos, la velocidad y la duración del proceso de calentamiento y las condiciones de almacenamiento pueden influir en la capacidad de retención de agua del almidón (Damodaran, 2008).

Tanto la microscopía láser de barrido confocal como la microscopía óptica del pan demuestran que, cuando los gránulos de almidón se hinchan y alargan, y por tanto gelatinizan, se origina una fase continua que da lugar a la miga, diferenciándola de la corteza (Hug-Iten et al 1999; Dürrenberger et al 2001).

El tratamiento térmico aplicado en la elaboración del pan influye en la viscosidad de los almidones presentes en la harina de pan. Así, cuanto mayor sea el tratamiento hidrotérmico, menor será la capacidad de las harinas de aumentar su viscosidad debido a la cantidad de gránulos de almidón no estructurados. Sobre los 50 °C comienza el hinchamiento del grano, entre los 60-65 °C comienza la formación de los primeros núcleos de gel, y entre 70-73°C, la fase de gelificación está concluida y la viscosidad encontrada es máxima (Calaveras, 1996). A temperatura ambiente y con suficiente agua, los gránulos de almidón absorben agua, pero sólo se hinchan de forma limitada y como se encuentran por debajo de la temperatura de gelatinización, este proceso es reversible (French, 1984). Cuando la suspensión de almidón se calienta por encima de esta temperatura sufre una serie de cambios estructurales que finalmente conducen a la destrucción irreversible del orden molecular del almidón. Este proceso se denomina gelatinización (Atwell et al., 1988). Por encima de la temperatura de gelatinización, el hinchamiento y la lixiviación continúan y se forma una suspensión de gránulos de almidón y macromoléculas solubilizadas (principalmente amilosa). La estructura de los gránulos se mantiene hasta que se aplican temperaturas más extremas y/o se produce cizallamiento (Svensson et al., 1996; Tester y Debon, 2000). Schoch y French (1947) señalaron que durante el horneado el grano de almidón se hincha, la amilosa sale del grano y la amilopectina se dilata variando la viscosidad del medio.

La integridad de los gránulos de almidón de trigo, y su capacidad de gelatinizar e incrementar su viscosidad en el horneado, es esencial para la elaboración de productos como el pan o los bizcochos. En consecuencia, los cambios mecánicos, químicos o bioquímicos en la organización nativa de los gránulos, durante el proceso de panificación y almacenamiento de los panes, tienen efectos adversos en las propiedades de formación del pan (Gray y BeMiller, 2003).

2.4 Envejecimiento del pan

En el momento que el pan sale del horno después de la cocción, se inician una serie de cambios que acaban por deteriorar su calidad. Esos cambios indeseables que se producen con el tiempo se denominan colectivamente endurecimiento o envejecimiento. El endurecimiento se caracteriza por un aumento de la dureza

de la miga y una pérdida de cohesión, elasticidad y resiliencia con el paso del tiempo y se describe como la pérdida de calidad en el sabor y la textura, impulsado principalmente por la pérdida de humedad y la retrogradación del almidón (Navrhus y Sørhaug, 2006). Los cambios de textura afectan tanto a la corteza como a la miga. Las cortezas se encuentran en estado vítreo debido a los dos principales componentes texturogénicos: el almidón y las proteínas. Esto proporciona una característica relativamente seca y crujiente en estado fresco. Con el paso del tiempo, y el consiguiente envejecimiento, el agua migra del núcleo a la corteza y provoca una transición del estado vítreo al gomoso. Con el tiempo la corteza pierde esa humedad por el contacto directo con el ambiente y como resultado, la corteza se endurece. De antemano, la miga se describe mejor como un material poroso con paredes celulares elásticas y flexibles. Los cambios típicos en la miga durante el envejecimiento son el aumento de la firmeza y el desmoronamiento, o pérdida de cohesividad (Hug-Iten et al., 2003). Los cambios de la miga están relacionados con cambios de la amilopectina procedente de los gránulos de almidón, una vez que cuando el producto sale del horno se inicia el proceso de enfriamiento. Durante el enfriamiento empieza la recristalización del almidón, lo que se denomina retrogradación. El proceso de retrogradación del almidón es mayor en la miga, una vez que la corteza sufre de una rápida evaporación de la humedad presente (Martínez et al., 2018). La cinética de retrogradación del almidón de los dos polímeros de almidón, la amilosa y la amilopectina, es diferente entre ellos. Las soluciones de amilosa pura retrogradan en cuestión de horas, mientras que las soluciones de amilopectina tardan varios días en retrogradar (Miles et al. 1985). Durante esta fase, se produce la transición a un gel opaco y flexible constituido por gránulos hinchados engarzados en una matriz gelificada que los refuerza. Los reordenamientos en la fracción de almidón constituyen una base importante para el endurecimiento.

Martin et al, (1991) consideran que existen enlaces de hidrógeno entre los grupos -OH de las cadenas de almidón y los grupos -NH₂ de las proteínas, y que con el tiempo de almacenamiento estos aumentan en número y fuerza, provocando la dureza de la miga. Otros cambios en la estructura macromolecular de los productos a base de harina, como los enlaces proteína-almidón (Martínez-

Anaya y Jiménez, 1997), la retrogradación (Hug-iten et al., 2001) y el enredo del gluten o el desarrollo de una red de proteínas (Barrett et al., 2000), también pueden contribuir a los cambios de textura (Barrett et al., 2005). Kim y D'Appolonia (1977), por su parte, concluyeron que existe una relación inversamente proporcional entre el contenido de proteínas y el proceso de endurecimiento durante el almacenamiento del pan.

3. HARINA DEL PAN

Los panes magros desperdiciados con frecuencia se ponen duros antes del desarrollo de los microorganismos, por lo que se desechan con una baja actividad microbiana. Una de las formas más sencillas y menos costosas de reutilizar los panes desechados es su incorporación, tras molturación, en otros productos a base de harinas. La molienda directa del pan sobrante para convertirlo en harina y su redistribución como ingrediente alimentario en la cadena de suministro de alimentos es una de las estrategias más baratas y fácil para reducir los efectos medioambientales perjudiciales del desperdicio de pan sobrante. En este caso es necesario un sistema bien estructurado para evitar posibles problemas durante la manipulación. Sin embargo, para conocer el potencial de estas harinas es necesario conocer sus funcionalidades.

Aunque después de la gelatinización del almidón, las harinas pierden su potencial para producir determinados productos, todavía el almidón gelatinizado es reconocido por su capacidad espesante en frío, y con eso la introducción de este producto en nuevos tipos y adaptaciones a recetas. Mancebo et al. (2015) ha conducido un estudio de bizcochos con harinas que han sido sometidas a tratamientos hidrotérmicos. Otros usos de estas harinas es la elaboración de mezclas de rebozado, aumentando el pick-up (Román et al., 2018a). Del mismo modo, es posible elaborar salsas en preparaciones en frío (Román et al., 2018b).

Sin embargo, las características de las harinas de trigo sometidas a tratamientos hidrotérmicos difieren en función de las condiciones de tratamiento (Martínez et al., 2014). La harina de pan sobrante presentará una composición de macronutrientes casi idéntica a la de la harina de trigo, pero el gluten y el almidón existirán en una fase notablemente diferente, lo que dictará el diferente

comportamiento coloidal y de estructuración de las partículas de pan sobrante. Además, la relación entre la corteza y la miga antes de la molienda para obtener el excedente de harina de pan es primordial, ya que la corteza llevará compuestos químicos adicionales, como pigmentos oscuros y acrilamida, y el almidón no gelatinizado, que sigue siendo totalmente funcional en términos de hinchamiento.

Durante la molienda, algunos gránulos de almidón se dañan mecánicamente, el nivel de daño varía con la severidad de la molienda y la dureza del grano (Hoseney, 1994). Dado que los gránulos de almidón dañados absorben más agua que los no dañados, el nivel de daño afectará a las propiedades de la harina, que pueden aumentar considerablemente la capacidad de absorción de agua (León et al., 2006). Las harinas que contienen alto contenido de almidón dañado tienen características diferentes en comparación a la harina comercial una vez que contienen altos niveles de almidón gelatinizado y una mayor capacidad de hidratación en frío que la harina de trigo. Esa capacidad de absorción de agua de los gránulos dañados puede modificar la viscosidad del medio, con el consiguiente impacto en la estructura final del producto (Karlsson et al., 1983). También es importante tener en cuenta el tamaño de las partículas, llevando en consideración que es otro factor que también puede influir en la capacidad de absorción de agua. Para establecer la idoneidad de las harinas para su procesamiento, son importantes tanto su tamaño de partícula como su capacidad de absorción de agua. Factores que pueden alterar las características reológicas, importantes en productos como galletas (Pareyt y Delcour., 2008), o salsas (Román et al., 2018b).

4. PROPIEDADES DE LA HARINA DE PAN EN PRODUCTOS A BASE DE CEREALES

4.1 Galletas

El término "galleta" se refiere a un producto compuesto principalmente por tres ingredientes: harina, azúcar y aceite. Estos productos también tienen la

característica de tener una baja concentración de agua en su producto final, normalmente entre el 1% y el 5% (Chevallier et al., 2002).

La harina es el componente en mayor presencia en este producto y en este contexto acaba representando una matriz en la que se mezclan los demás ingredientes (Tanilli, 1976). En consecuencia, sus características tienen influencia directa en la calidad final de las galletas.

Entre los distintos tipos de galletas disponibles en el mercado, esta tesis se centrará en las galletas de masa corta, más concretamente en las del tipo "sugar-snap". Las galletas tipo "sugar-snap", según el método 10-50D de la AACC (1983), tienen una composición aproximada de un 47,6% de harina, un 27,5% de azúcar, un 13,5% de grasa, un 10% de agua y algunas fracciones menores de otros componentes. Para este tipo de masa, la elaboración con harina de trigo floja puede ser beneficiosa y producir mejores resultados finales. Los factores que apoyan estos mejores resultados para las harinas flojas incluyen, además de una menor proporción de gluten, una composición con más gránulos de almidón intactos (no dañados) después de la molienda, lo que presenta una relación directa con la capacidad de absorción de agua (Tanilli, 1976).

Según el Real Decreto 677/2016, de 16 de diciembre se establece que las harinas de trigo blando deben presentar una granulometría tal que el 90 por cien de sus partículas pase a través de un tamiz de 180 micras de luz de malla. Según Manley et al., (2000) el tamaño medio de partícula para generar buenos resultados en la producción de galletas tipo "sugar-snap" es de unos 50 μm , con menos de un 10% de más de 130 μm . Sin embargo, hay que tener cuidado de que para conseguir granulometrías finas no se incremente el porcentaje de almidón dañado, ya que el almidón en buen estado absorbe el 33% de su propio peso en agua, mientras que el almidón dañado puede absorber hasta el 100%. El almidón dañado puede ser degradado por enzimas amilolíticas que generan dextrinas. La hidratación de la harina solubiliza en parte estas dextrinas y modifica la viscosidad de la masa (Wade, 1988). Los principales componentes hidrófilos de la fórmula de una galleta son la harina y el azúcar. Un aumento de la cantidad de almidón dañado en la formulación modifica una correcta hidratación de la masa, por su mayor capacidad de absorción de agua, y la consecuente solubilización del azúcar, proporcionando un aumento de la

viscosidad de la masa y una reducción del proceso de expansión en el horno (Slade y Levine 1993; Manley 2000). Estos cambios también afectan a la calidad final de las galletas, al reducir su diámetro e incrementar su dureza, como han observado (Miller y Hosney, 1997; Donelson et al 1998; Hosney y Rogers, 1994; Miller et al., 1997; Barrera et al, 2007).

El grado de la expansión de las galletas también puede relacionarse con la cantidad de proteínas presente en la harina de trigo. La cantidad y la calidad de las proteínas presentes en la harina tienen un papel importante a la hora de influir en el comportamiento reológico de la masa, reduciendo el rendimiento de las galletas, sobre todo cuando la harina es el componente principal de la fórmula (Maache-Rezzoug et al., 1998; Kaldy et al. 1991). Como ya se ha mencionado, para una harina de trigo blando, generalmente se desea un bajo contenido de gluten y una fuerza reducida para obtener galletas tipo “sugar-snap” de buena calidad. Pero, el contenido total de proteínas es más importante para la calidad de las galletas que la composición de esa proteína. En un estudio realizado por Finney et al. (1950) concluyeron que las masas de galletas tipo “sugar-snap” deberían recibir una acción mínima de mezclado, de manera que no se llegue a formar la red de gluten. Aunque no son tan sensibles reológicamente como las masas que contienen gluten desarrollado, la manipulación después del mezclado, para abrir la masa y preparar las galletas, puede reducir la expansión de las mismas (Gaines et al., 1988). En otro estudio Donelson (1988) concluyó que el gluten, aunque es una fuente importante de proteínas de la harina, no es esencial para el rendimiento del horneado de las galletas de azúcar.

La cantidad de fibras también es un parámetro que se relaciona con la tasa de expansión de las galletas, una vez que autores como Jeltama et al. (1983) concluyeron que un aumento de las concentraciones de fibra se correlacionaba significativamente con un aumento de la humedad, así como la disminución de la tasa de expansión. Un ejemplo en el aumento de cantidad de fibra se puede encontrar en la introducción de harina de trigo integral, que tienen alta afinidad con el agua. Cuando se usan en la elaboración de galletas de masa corta se pueden observar un aumento en la viscosidad y un incremento de las propiedades reológicas de la masa (Bressiani et al., 2021).

Como estamos viendo todos aquellos factores que influyen en la absorción de agua de las harinas modifican la reología de las masas y la expansión de las galletas, afectando a la calidad final de las mismas. De hecho, Ren et al. (2008) afirman que la absorción de agua es una de las características funcionales más importantes de una harina. El agua desempeña un papel complejo, ya que afecta a la naturaleza de las interacciones entre los ingredientes y puede modificar la viscosidad de la masa y el comportamiento reológico. Con eso, un estudio realizado por Barak et al., (2014), evidenció un aumento de la capacidad de absorción de agua en las harinas con un menor tamaño de partícula, lo que dio lugar a una mayor rigidez de la masa, que se tradujo en galletas más duras con una menor expansión en el horneado.

A lo largo de los años, se ha informado de una serie de estudios sobre la inserción de subproductos en galletas tipo “sugar-snap”. Autores como Ellouzi et al., (2015) han incorporado el almidón de un subproducto de pasta fresca en la producción de galletas tipo “sugar-snap” observando una temperatura de gelatinización y un comportamiento reológico similar a las galletas control. En el caso de adición de un subproducto con distintos tamaños de partícula, Rocha-Parra et al., (2019) estudiando la adición de orujo de manzana seco, concluyeron cuanto menor era el tamaño de partícula mayor la reología de la masa así como la disminución de la expansión de las galletas.

4.2 Bizcochos

Los bizcochos son productos horneados elaborados con harina, azúcar, huevos, grasa o aceite y agentes fermentadores. Tienen una humedad final entre el 18% y 28% y poseen una miga tierna y densa (Bennion y Bamford, 1997). La humedad de los bizcochos se encuentra en un término medio entre los panes y las galletas, y son clasificados en base a los ingredientes que llevan en su composición.

Los bizcochos basados en grasa y los espuma son ejemplos de dos tipos de bizcochos con distinta composición, lo cual modifica muchas de sus características finales, como la textura. Los bizcochos basados en grasa forman un batido en forma de emulsión (Miller et al., 2017). Por su parte, los bizcochos tipo espuma apenas contienen grasa y dependen del aire atrapado por la clara

de huevo para incrementar su volumen (Ma et al., 1986). Las recetas de los bizcochos basados en grasa pueden contener más azúcar que harina, mientras que la formulación de los bizcochos tipo espuma contiene azúcar en igual o menor proporción que harina (Conforti, 2014).

Para formar una masa aireada y bien emulsionada son importantes los diferentes métodos de mezcla: de una sola etapa, o de varias etapas, en las que el orden de incorporación de los ingredientes puede variar (Wilderjans et al., 2013; Dewaest et al., 2017). Sin embargo, independientemente del método utilizado, la estructura multifásica obtenida consiste en una fase acuosa continua de proteínas disueltas e ingredientes secos, y tres fases dispersas de aire, aceite (en formulaciones de grasas no sólidas) y gránulos de almidón (Godefroid et al., 2019).

Como en las galletas, en los bizcochos la harina de trigo con menor contenido proteico también es la más recomendada. Factores como la cantidad de gluten, así como el tamaño de partícula, influyen en la calidad final del producto, ya que modifican la capacidad de estabilizar las espumas y la reología de los batidos (Godefroid et al., 2019; Wilderjans et al., 2013).

Los batidos se transforman en el horneado, por la acción de la gelatinización del almidón y la coagulación de las proteínas, en estructuras semisólidas y porosas, permitiendo el incremento de volumen, a la vez que se establece la estructura de la miga y se modifica la textura (Gorton 2009; Pylar y Gordon, 2008; Moiraghi et al, 2013).

El volumen final de los bizcochos tiene relación con la viscosidad del batido, una vez que existe una viscosidad óptima para conseguir bizcochos de buen volumen. Si la viscosidad de un batido es demasiado baja, este no puede mantener las burbujas de aire en su interior y el bizcocho se hunde en el horno. Por el contrario, un batido demasiado viscoso puede mostrar una expansión restringida durante la cocción (Moiraghi 2013).

Un factor que puede influir en la viscosidad del batido es la cantidad de almidón dañado. En los batidos de bizcocho, se puede suponer que los gránulos de almidón dañados compiten con la sacarosa y las proteínas por el agua. Esto presumiblemente limita la porción de agua disponible para la hidratación del almidón (Miller y Trimbo, 1965) y provoca una reducción de la viscosidad

(Howard et al., 1968). Además del almidón dañado, el tamaño de las partículas también tiene relación con la calidad final de los bizcochos. Gómez et al., (2012) concluyeron que el tamaño de las partículas era el factor que más influía en el volumen final de los bizcochos tipo espuma. Y no solo para los bizcochos tipo espuma, también para los basados en grasa, la reducción del tamaño de las partículas de harina es beneficiosa para la calidad general de los bizcochos. Con niveles de humedad constantes en el batido una mayor superficie de las partículas aumenta la absorción de agua y la viscosidad del batido (Miller et al., 1967). Cuando la harina ayuda a aumentar la viscosidad del batido, restringe la migración y la coalescencia tanto de las partículas de grasa como de las células de gas, contribuyendo así a la estabilidad de la emulsión y la espuma en el batido (Wilderjans et al., 2013). Según De la Hera, (2013) durante la gelatinización del almidón, harinas más finas, aumentaron la viscosidad del batido y alcanzaron el pico de viscosidad más tarde que harinas más gruesas. En el batido de bizcochos, la proporción de harina y almidón es importante para la estructura de los mismos, pero la adición de otras harinas puede tener beneficios en los bizcochos finales. Cuando se sustituye en una receta de bizcochos una parte de la harina de trigo por otras harinas, es interesante poder predecir el impacto de dicho cambio en las propiedades del producto. La sustitución de parte de la harina de trigo por harina de leguminosas cambia las proporciones y la naturaleza del almidón y las proteínas. Además, implica diferencias en las propiedades funcionales de las proteínas durante la mezcla, y en las transiciones térmicas tanto del almidón como de las proteínas (Monnet et al., 2020). Gómez et al. (2008) demostraron que la sustitución de la harina de trigo por la de garbanzo provocó un aumento de la tendencia al endurecimiento. La adición de un 50% de harina de garbanzo mejoraría el valor nutricional de los bizcochos sin afectar en gran medida a sus características de calidad. Y la variedad de garbanzo y el proceso de molienda (harina blanca o integral) también influyeron significativamente en la calidad de los bizcochos. En el caso de la adición de subproductos, Rocha-Parra et al. (2019) concluyeron que la adición de bagazo de pera aumentó la dureza y redujo la elasticidad, con un efecto dependiente del tamaño de las partículas, y sugiere que es posible utilizar esta fuente de fibra sin afectar a las propiedades con una sustitución del 15%.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of Cereal Chemists. (1983). *Approved Methods of the AACC*, 8th ed. Method 10-50D. St. Paul, Minnesota, USA.
- Adhikari, B. K., Barrington, S., Martinez, J. (2006). Predicted growth of world urban food waste and methane production. *Waste Management & Research*, 24(5), 421-433.
- Afzalzadeh, A., Boorboor, A., Fazaeli, H., Kashan, N., Ghandi, D. (2007) Effect of feeding bakery waste on sheep performance and the carcass fat quality. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 6, 559-562.
- Atwell, W.A., Hood, L.F., Lineback, D.R., Varriano Marston, E., Zobel, H.F. (1988) The terminology and methodology associated with basic starch phenomenon *Cereal Foods World*, 33, 306-311.
- Axel, C., Zannini, E., Arendt, E. K. (2017). Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. *Critical Reviews in food science and nutrition*, 57(16), 3528-3542.
- Bale, R., Muller, H. G. (1970). Application of the statistical theory of rubber elasticity to the effect of heat on wheat gluten. *International Journal of Food Science & Technology*, 5(3), 295-300.
- Barak, S., Mudgil, D., Khatkar, B. S. (2014). Effect of flour particle size and damaged starch on the quality of cookies. *Journal of food science and technology*, 51(7), 1342-1348.
- Barrera G. N., Pérez G. T., Ribotta P. D., León A. E. (2007) Influence of damaged starch on cookie and bread-making quality, *European Food Research and Technology*. 225, 1-7.
- Barrett, A. H., Cardello, A. V., Mair, L., Maguire, P., Leshner, L. L., Richardson, M., Taub, I. A. (2000). Textural optimization of shelf-stable bread: Effects of glycerol content and dough-forming technique. *Cereal chemistry*, 77(2), 169-176.
- Barrett, A. H., Marando, G., Leung, H., Kaletunç, G. (2005). Effect of different enzymes on the textural stability of shelf-stable bread. *Cereal chemistry*, 82(2), 152-157.
- Belc, N., Mustatea, G., Apostol, L., Iorga, S., Vlăduț, V. N., Mosoiu, C. (2019). Cereal supply chain waste in the context of circular economy. In *E3S Web of Conferences*. 112, 03031.
- Benabda, O., Kasmi, M., Kachouri, F. Hamdi, M. (2018). Valorization of the powdered bread waste hydrolysate as growth medium for baker yeast. *Food and Bioproducts Processing*, 109, 1-8.
- Bennion, E. B., & Bamford, G. S. (1997). *The technology of cake making*. London, UK: Blackie Academic and Professional.
- Brancoli, P., Rousta, K., Bolton, K. (2017). Life cycle assessment of supermarket food waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 118, 39-46.
- Brancoli, P., Lundin, M., Bolton, K., Eriksson, M. (2019). Bread loss rates at the supplier-retailer interface—Analysis of risk factors to support waste prevention measures. *Resources, Conservation and Recycling*, 147, 128-136.

- Brancoli, P., Bolton, K., Eriksson, M. (2020). Environmental impacts of waste management and valorisation pathways for surplus bread in Sweden. *Waste Management*, 117, 136-145.
- Bressiani, J., Santetti, G. S., Oro, T., Esteres, V., Biduski, B., de Miranda, M. Z., Gularte, M. A. (2021). Hydration properties and arabinoxylans content of whole wheat flour intended for cookie production as affected by particle size and Brazilian cultivars. *LWT*, 150, 111918.
- Calaveras, J. (1996). *Tratado de panificación y bollería*. 664.7 C3.
- Cauvain, S. P., Young, L. S. (2007). *Technology of breadmaking*, 285-286.
- Chevallier, S., Della Valle, G., Colonna, P., Broyart, B., Trystram, G. (2002). Structural and chemical modifications of short dough during baking. *Journal of Cereal Science* 35:1-10.
- Conforti, F. D. (2014). Cake manufacture. In Y. H. Hui, H. Corke, I. De Leyn, W. Nip, & N. A. Cross (Eds.), *Bakery products: Science and technology* (2nd ed., pp. 565-584). Ames, IA, USA: Wiley-Blackwell.
- Damodaran, S. (2008). Amino acids, peptides and proteins. *Fennema's food chemistry*, 4, 425-439.
- de la Hera, E., Martinez, M., Oliete, B., & Gómez, M. (2013). Influence of flour particle size on quality of gluten-free rice cakes. *Food and Bioprocess Technology*, 6(9), 2280-2288.
- Defra (2011). *Government Review of Waste Policy in England 2011*. London.
- Delcour, J. A., Joye, I. J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K., Lagrain, B. (2012). Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annual review of food science and technology*, 3, 469-492.
- Dewaest, M., VILLEMEJANE, C., BERLAND, S., MICHON, C., VEREL, A., MOREL, M. H. (2017). Changes in protein size distribution during wheat flour cake processing. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 333-341.
- Donelson, J. R. (1988). The contribution of high-protein fractions from cake and cookie flours to baking performance. *Cereal Chem*, 65(5), 389-391.
- Donelson, J. R., Gaines, C. S. (1998). Starch-water relationships in the sugar-snap cookie dough system. *Cereal chemistry*, 75(5), 660-664.
- Dong, Y., Karboune, S. (2021). A review of bread qualities and current strategies for bread bioprotection: Flavor, sensory, rheological, and textural attributes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1937-1981.
- Dürrenberger, M. B., Handschin, S., Conde-Petit, B., Escher, F. (2001). Visualization of food structure by confocal laser scanning microscopy (CLSM). *LWT-Food Science and Technology*, 34(1), 11-17.
- Ellouzi, S. Z., Driss, D., Maktouf, S., Neifar, M., Kobbi, A., Kamoun, H., Ghorbel, R. E. (2015). Isolation and characterization of starch from industrial fresh pasta by-product and its potential use in sugar-snap cookie making. *Journal of food science and technology*, 52(9), 5754-5762.
- EPA, 2012. *Putting Surplus Food To Good Use*. Washington DC.

- Eriksson, M., (2015). Supermarket Food Waste—Prevention and Management with the Focus on Reduced Waste for Reduced Carbon Footprint. Department of Energy and Technology. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Uppsala.
- European Parliament and Council. (2002). Regulation (EC) No 178/2002 of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. Official Journal of the European Communities, L31, 1–24. <http://data.europa.eu/eli/reg/2002/178/2021-05-26>.
- European Parliament Council (1989). A Community Strategy for Waste Management, SEC/89/934 (Final). Brussels.
- European Parliament Council (2008). Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 Concerning Integrated Pollution Prevention and Control. Brussels.
- European Union (2008). Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Union, 51, 3–30.
- FAO, 1981. Food Loss Prevention in Perishable Crops. Rome: Food and FAO Agricultural Service Bulletin, no. 43, FAO Statistics Division.
- Finney, K. F., Morris, V. H., Yamazaki, W. T. (1950). Micro versus macro cookie baking procedures for evaluating the cookie quality of wheat varieties. *Cereal Chemistry*, 27, 42-49.
- Fox, T.; Fimeche, C. (2013) *Global Food: Waste Not, Want Not*; Institution of Mechanical Engineers: London, UK.
- French, D. (1984). Organization of starch granules. In *Starch: Chemistry and technology* 183-247.
- Gaines, C. S., Donelson, J. R., Finney, P. L. (1988). Holding Time and Temperature on Cookie Dough Handling Properties and Cookie Size. *Cereal Chem*, 65(5), 384-389.
- Gélinas, P., Roy, G., Guillet, M. (1999). Relative effects of ingredients on cake staling based on an accelerated shelf-life test. *Journal of Food Science*, 64(5), 937–940.
- Ghosh, R., Eriksson, M., (2019). Food waste due to retail power in supply chains: evidence from Sweden. *Global Food Security* 20, 1–8.
- Godefroidt, T., Ooms, N., Pareyt, B., Brijs, K., Delcour, J. A. (2019). Ingredient functionality during foam-type cake making: a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 18(5), 1550-1562.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat–chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1701-1709.
- Gómez, M., Doyagüe, M. J., de la Hera, E. (2012). Addition of pin-milled pea flour and air-classified fractions in layer and sponge cakes. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 142-147.

- Gorton, L. A. (2009). Fundamental bakery dough processes. *Baking science and technology*, 89-108.
- Gray, J. A., BeMiller, J. N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1–20.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A., (2011). *Global Food Losses and Food Waste—Extent, Causes and Prevention*. Swedish Institute for Food and Biotechnology (SIK), Rome.
- Hassan, M. A., Yang, M., Rasheed, A., Tian, X., Reynolds, M., Xia, X., He, Z. (2021). Quantifying senescence in bread wheat using multispectral imaging from an unmanned aerial vehicle and QTL mapping. *Plant physiology*, 187(4), 2623-2636.
- Haroon, S., Vinthan, A., Negron, L., Das, S., & Berenjian, A. (2016). Biotechnological approaches for production of high value compounds from bread waste. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 12(2), 102-109.
- Hoseney, R.C. (1994) *Principles of cereal science and technology*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, (2) 125–145.
- Howard, N. B., Hughes, D. H., & Strobel, R. G. K. (1968). Function of the starch granule in the formation of layer cake structure. *Cereal Chemistry*, 45(4), 329–338.
- Hug-Iten, S., Conde-Petit, B., Escher, F. (2001). Structural properties of starch in bread and bread model systems— Influence of an antistaling α -amylase. *Cereal Chemistry*, 78, 421–428.
- Hug-Iten, S., Escher, F., Conde-Petit, B. (2003). Staling of bread: Role of amylose and amylopectin and influence of starchdegrading enzymes. *Cereal Chemistry*, 80, 654–661.
- Hug-Iten, S., Handschin, S., Conde-Petit, B., Escher, F. (1999). Changes in starch microstructure on baking and staling of wheat bread. *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie*, 32, 255–260.
- Ishangulyyev, R., Kim, S., Lee, S. H. (2019). Understanding food loss and waste—Why are we losing and wasting food?. *Foods*, 8(8), 297.
- Jeltama, M. A., Zabik, M. E., Thiel, L. J. (1983). Prediction of cookie quality from dietary fiber components. *Cereal Chemistry*, 60(3), 227-230.
- Kaldy, M. S., Rubenthaler, G. I., Kereliuk, G. R., Berhow, M. A., Vandercook, C. E. (1991). Relationships of selected flour constituents to baking quality in soft white wheat. *Cereal Chem*, 68(5), 508-512.
- Karlsson, R., Olered, R., Eliasson, A.-C. (1983). Changes in starch granule size distribution and starch gelatinisation properties during development and maturation of wheat, barley and rye. *Starch/Starke*, 35, 335–340.
- Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., Jafari, M. (2011). Acrylamide in baking products: a review article. *Food and Bioprocess Technology*, 4(4), 530-543.
- Kim, S. K., D'appolonia, B. L. (1977). Bread staling studies. III. Effect of pentosans on dough, bread, and bread staling rate. *Cereal Chemistry* 54, 225-229.

- Kulikovskaja, V., Aschemann-Witzel, J. (2017) Food waste avoidance actions in food retailing: The case of Denmark. *Journal of International Food & Agribusiness Market*. 29, 1–18.
- Kulp, K., Ponte Jr, J. G., D'Appolonia, B. L. (1981). Staling of white pan bread: fundamental causes. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 15(1), 1-48.
- Le-Bail, A., Agrane, S., Queveau, D. (2012). Impact of the baking duration on bread staling kinetics. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6), 2323-2330.
- León, A. E., Barrera, G. N., Pérez, G. T., Ribotta, P. D., & Rosell, C. M. (2006). Effect of damaged starch levels on flour-thermal behaviour and bread staling. *European Food Research and Technology*, 224(2), 187-192.
- Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R., Searchinger, T. (2018) Reducing Food Loss and Waste.
- Luo, S., Koxsel, F. (2020) Physical and technofunctional properties of yellow pea flour and bread crumb mixtures processed with low moisture extrusion cooking. *Journal of Food Science*. 85, 2688–2698.
- Lyndhurst, B. (2011). Consumer insight: date labels and storage guidance. WRAP, Waste and Resource Action Programme. Banbury, UK.
- Ma, C. Y., Poste, L. M., & Holme, J. (1986). Effects of chemical modifications on the physicochemical and cake baking properties of egg white. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 19, 17-22.
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K., Patras, C. (1998). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 23-42.
- Mancebo, C.M., Picón, J., Gómez, M. (2015) Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 64, 264–269.
- Manley, D. (2000). *Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*, Third edition. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK.
- Martin, M. L., Zeleznak, K. J., Hosney, R. C. (1991). A mechanism of bread firming. I, Role of starch swelling. *Cereal Chemistry*, 68(5), 498-503.
- Martins, Z. E., Pinho, O., Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2017). Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 106-128.
- Martinez-Anaya, M. A., Jiménez, T. (1997). Functionality of enzymes that hydrolyse starch and non-starch polysaccharide in breadmaking. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 205(3), 209-214.
- Martínez, M.M., Rosell, C.M., Gómez, M. (2014) Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions. *Journal of Food Engineering*. 143, 74–79.

- Martínez, M. M., Román, L., Gómez, M. (2018). Implications of hydration depletion in the in vitro starch digestibility of white bread crumb and crust. *Food Chemistry*, 239, 295-303.
- Melikoglu, M., Webb, C. (2013) Use of waste bread to produce fermentation products. In *Food Industry Wastes*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 63–76.
- Melikoglu, M., Lin, C. S. K., Webb, C. (2015). Solid state fermentation of waste bread pieces by *Aspergillus awamori*: Analysing the effects of airflow rate on enzyme production in packed bed bioreactors. *Food and Bioproducts Processing*, 95, 63-75.
- Mena, C., Adenso-Diaz, B., Yurt, O., (2011). The causes of foodwaste in the supplier–retailer interface: Evidences from the UK and Spain. *Resources Conservation and Recycling*. 55, 648–658.
- Miles, M.J., Morris, V.J., Orford, P. D., Ring, S.G. (1985). The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*, 135, 271–281.
- Miller, B. S., & Trimbo, H. B. (1965). Gelatinization of starch and white layer cake quality. *Food Technology*, 19, 208–216.
- Miller, B.S., Trimbo, H.B., Powell, K.R. (1967). Effects of flour granulation and starch damage on the cake making quality of soft wheat flour. *Cereal Science*. 12, 245.
- Miller, R. A., Hosney, R. C. (1997). Method to measure microwave-induced toughness of bread. *Journal of food science*, 62(6), 1202-1204.
- Miller, R. A., Dann, O. E., Oakley, A. R., Angermayer, M. E., & Brackebusch, K. H. (2017). Sucrose replacement in high ratio white layer cakes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(16), 3228–3232.
- Moiraghi, M., de la Hera, E., Pérez, G.T. Gómez, M. (2013). Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 542-549.
- Monnet, A. F., Jeuffroy, M. H., Villemejeane, C., Michon, C. (2020). Effect of the order of incorporation of cake ingredients on the formation of batter and the final properties: contribution of the addition of pea flour. *Journal of Food Science and Technology*, 1-11.
- Navrhus, J. A., & Sørhaug, T. (2006). Bakery and cereal products. *Food chemistry and food processing*, 1, 615-639.
- Nematollahi, A., Meybodi, N. M., Khaneghah, A. M. (2021). An overview of the combination of emerging technologies with conventional methods to reduce acrylamide in different food products: Perspectives and future challenges. *Food Control*, 127, 108144.
- Østergaard, S., Hanssen, O.J., (2018). Wasting of fresh-packed bread by consumers— influence of shopping behavior, storing, handling, and consumer preferences. *Sustainability* 10 (7), 1–15.
- Pareyt, B., Delcour, J.A. (2008) The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal-based products: A review on sugar-snap cookies. *Critical Review Food Science and Nutrition* 2008, 48, 824–839.

- Pinnavaia, G., Pizzirani, S. (1998). Evaluation of the degree of gelatinization of starchy products by water holding capacity. *Starch-Stärke*, 50(2-3), 64-67.
- Pyle, E. J., Gorton, L. A. (2008). *Bakery Ingredients part A: Major Ingredients*. Baking Science & Technology, Sosland Publishing Co.: Kansas City, MO, 4, 113-166.
- Quiles, A., Campbell, G. M., Struck, S., Rohm, H., Hernando, I. (2018). Fiber from fruit pomace: A review of applications in cereal-based products. *Food Reviews International*, 34(2), 162-181.
- Ren, D., Walker, C. E., Faubion, J. M. (2008). Correlating dough elastic recovery during sheeting with flour analyses and rheological properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(15), 2581-2588.
- Rocha-Parra A. F., Belorio M., Ribotta P.D., Ferrero C., Gómez M. (2019) Effect of the particle size of pear pomace on the quality of enriched layer and sponge cakes, *International Journal of Food Science and Technology*, 54, 1265-1275.
- Rohm, H., Oostindjer, M., Aschemann-Witzel, J., Symmank, C., L Almi, V., de Hooge, I.E., Normann, A., Karantininis, K., (2017). Consumers in a sustainable food supply chain (COSUS): understanding consumer behavior to encourage food waste reduction. *Foods* 6 (12), 104.
- Román, L., Pico, J., Antolín, B., Martínez, M.M., Gómez, M. (2018) Extruded flour improves batter pick-up, coating crispness and aroma profile. *Food Chemistry*, 260, 106-114.
- Román, L., Reguilón, M.P., Gómez, M. (2018) Physicochemical characteristics of sauce model systems: Influence of particle size and extruded flour source. *Journal of Food Engineering*. 2018, 219, 93-100.
- Samray, M.N., Masatcioglu, T.M., Koxsel, H. (2018) Bread crumbs extrudates: A new approach for reducing bread waste. *Journal of Cereal Science*, 85, 130-136.
- Sarion, C., Codină, G. G., Dabija, A. (2021). Acrylamide in bakery products: A review on health risks, legal regulations and strategies to reduce its formation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(8), 4332.
- Schoch, T.J., French D. (1947) Studies on bread staling. I. The role of starch *Cereal Chemistry*, 24, (4) 231.
- Schofield, J. D., Bottomley, R. C., Timms, M. F., Booth, M. R. (1983). The effect of heat on wheat gluten and the involvement of sulphhydryl-disulphide interchange reactions. *Journal of Cereal Science*, 1(4), 241-253.
- Schofield, J. (1986). *Flour Proteins: Structure and Functionality in Baked Products* (JMV Blanshard, PJ Frazier ve T. Galliard Editörler). Chemistry and Physics of Baking.
- Singh, K., Kayastha, A. M. (2014). α -Amylase from wheat (*Triticum aestivum*) seeds: its purification, biochemical attributes and active site studies. *Food chemistry*, 162, 1-9.
- Shehzad, A., Chiron, H., Della Valle, G., Kansou, K., Ndiaye, A., Reguerre, A. L. (2010). Porosity and stability of bread dough during proofing determined by video image analysis for

- different compositions and mixing conditions. *Food Research International*, 43(8), 1999-2005.
- Slade, L., Levine, H., Ievolella, J., Wang, M. (1993). The glassy state phenomenon in applications for the food industry: Application of the food polymer science approach to structure–function relationships of sucrose in cookie and cracker systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 63(2), 133-176.
 - Smith, P. R., Johansson, J. (2004). Influences of the proportion of solid fat in a shortening on loaf volume and staling of bread. *Journal of food processing and preservation*, 28(5), 359-367.
 - Socas-Rodríguez, B., Herrera-Herrera, A. V., Asensio-Ramos, M., & Rodríguez- Delgado, M.´A. (2020). Recent applications of magnetic nanoparticles in food analysis. *Processes*, 8(9), 1140.
 - Stokes, D. J., Donald, A. M. (2000). In situ mechanical testing of dry and hydrated breadcrumb in the environmental scanning electron microscope (ESEM). *Journal of Materials Science*, 35(3), 599-607.
 - Stuart, T. (2009). *Waste, Uncovering the Global Food Scandal*. Penguin, London.
 - Svensson, E., Gudmundsson, M., Eliasson, A. C. (1996). Binding of sodium dodecylsulphate to starch polysaccharides quantified by surface tension measurements. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 6(4-5), 227-233.
 - Tamasiga P, Miri T, Onyeaka H, Hart A. Food Waste and Circular Economy: Challenges and Opportunities. *Sustainability*. 2022; 14(16):9896
 - Tanilli, V. H. (1976). Characterization of wheat and flour for cookie and cracker production. *Cereal Foods World*. 21:624–628.
 - Tester, R. F., Debon, S. J. (2000). Annealing of starch—a review. *International journal of biological macromolecules*, 27(1), 1-12.
 - Thirugnanasambandham, K., Sivakumar, V., Maran, J. P. (2013). Application of chitosan as an adsorbent to treat rice mill wastewater—mechanism, modelling and optimization. *Carbohydrate polymers*, 97(2), 451-457.
 - United Nations, *The 2030 Agenda and the Sustainable Development Goals: An opportunity for Latin America and the Caribbean (LC/G. 2681-P/Rev. 3)*, Santiago, 2018.
 - Vanin, F. M., Lucas, T., Trystram, G. (2009). Crust formation and its role during bread baking. *Trends in Food Science & Technology*, 20(8), 333-343.
 - Verni, M., Minisci, A., Convertino, S., Nionelli, L., Rizzello, C. G. (2020). Wasted Bread as Substrate for the Cultivation of Starters for the Food Industry. *Frontiers in microbiology*, 11, 293.
 - Wade, P. (1988). *Biscuits, Cookies and Crackers: The Principles of the Craft*, volume 1. Elsevier Applied Science, London (UK) and New York (USA).
 - Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food microbiology*, 24(2), 115-119.

- Wilderjans, E., Luyts, A., Brijs, K., Delcour, J. A. (2013). Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends in food science & technology*, 30(1), 6-15.
- WRAP, 2011. New Estimates for Household Food and Drink Waste in the UK Retrieved from: <<http://www.wrap.org.uk/content/new-estimates-household-food-and-drink-waste-uk/>>

OBJETIVOS

El objetivo principal de esta investigación fue caracterizar y evaluar las propiedades de las harinas obtenidas a partir de distintos tipos de panes, y su adecuación en fórmulas de bizcochos y galletas.

Para llevar a cabo este objetivo general, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Estudiar como influye el tamaño de partícula de las harinas de panes, y el tipo de pan de partida, en las propiedades funcionales de las harinas.
- 2.- Estudiar como influye la zona del pan (miga y corteza) en las propiedades funcionales de las harinas de distintos tipos de panes.
- 3.- Estudiar el efecto de diferentes harinas, provenientes de distintos panes, y con distintos tamaños de partícula, sobre la calidad final de galletas de masa corta.
- 4.- Estudiar el efecto de la incorporación de harina de pan, y su tamaño de partícula en la calidad final de bizcochos.

ESTRUCTURA

La presente tesis doctoral se estructura en dos secciones. La primera sobre la caracterización de las diferentes harinas de pan y la segunda sobre el tipo de producto estudiado (bizcocho o galletas), correspondientes a las publicaciones científicas a las que ha dado lugar la investigación.

Sección I:

- Fernández-Peláez, J., Guerra, P., Gallego, C., & Gomez, M. (2021). Physical properties of flours obtained from wasted bread crusts and crumbs. *Foods*, 10(2), 282.
- Guerra-Oliveira, Fernández-Peláez, J., Gallego, C., & Gomez, M (2022). Effects of particle size in wasted bread flour properties. *International Journal of Food Science & Technology*. DOI: 10.1111/ijfs.15656

Sección II:

- Guerra-Oliveira, P., Belorio, M., & Gómez, M. (2021). Waste Bread as Main Ingredient for Cookie Elaboration. *Foods*, 10(8), 1759.
- Guerra-Oliveira, P., Belorio, M., & Gómez, M. Wasted bread flour as a novel ingredient in cake making. *International Journal of Food Science & Technology*. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15577>

CAPÍTULO 1:
Caracterización de las
diferentes harinas de pan

**PHYSICAL PROPERTIES OF FLOURS OBTAINED FROM WASTED
BREAD CRUSTS AND CRUMBS**

Juan Fernández-Peláez, Priscila Guerra de Oliveira, Cristina Gallego, & Manuel
Gómez.

Foods, 10(2), 282

<https://doi.org/10.3390/foods10020282>

<https://www.mdpi.com/2304-8158/10/2/282>

**EFFECTS OF PARTICLE SIZE IN WASTED BREAD FLOUR
PROPERTIES**

Priscila Guerra-Oliveira, Juan Fernández-Peláez, Cristina Gallego, & Manuel Gómez,
International Journal of Food Science & Technology,57(8),4782-4791

doi:10.1111/ijfs.15656

<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ijfs.15656>

CAPÍTULO 2: Productos
preparados con harina de
pan.

WASTE BREAD AS MAIN INGREDIENT FOR COOKIE
ELABORATION

Priscila Guerra-Oliveira, Mayara Belorio, Manuel Gómez

Foods, 10(8),1759

doi.org/10.3390/foods10081759

<https://www.mdpi.com/2304-8158/10/8/1759>

WASTED BREAD FLOUR AS NOVEL INGREDIENT IN CAKE MAKING

Priscila Guerra-Oliveira, Mayara Belorio, Manuel Gómez

International Journal of Food Science & Technology, 57(8), 4754-4762

DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.15577>

<https://ifst.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/ijfs.15577>

CONCLUSIONES

La principal conclusión que se extrae de la presente tesis es la posibilidad de introducir el pan desechado en nuevos productos sin modificar significativamente ni sus características finales ni su aceptabilidad. Además, la caracterización de la harina, incluyendo el tamaño de partícula, permite tener un mayor conocimiento de estas en función del tipo de pan, sus ingredientes y la parte del mismo de las que se obtienen.

De esta forma las conclusiones más relevantes son las siguientes:

- A diferencia de la mayoría de las harinas de cereales y de otras harinas, el tamaño de las partículas de las harinas panificables apenas influye en las propiedades de hidratación, “pasting” o gelificación. Estas diferencias parecen estar relacionadas con el hecho de que los gránulos de almidón se han gelatinizado y desintegrado en el proceso de panificación, facilitando la absorción de agua.
- La harina de pan tiene un potencial de absorción de agua mayor que las harinas convencionales. Sin embargo, las harinas de aquellos panes que contengan ingredientes como grasas, aceites o salvado, presentan una menor capacidad de absorción de agua, y deben tenerse en cuenta otros factores que, en casos concretos, pueden modificar las características de las harinas, como la degradación enzimática, térmica o ácida previa.
- El tratamiento térmico y el método de elaboración del pan antes de su conversión en harina de pan también tienen influencia directa en los resultados y propiedades de la harina, principalmente en la viscosidad.
- A diferencia de las harinas actuales en el mercado, el tamaño de partícula de la harina de pan apenas influye en las propiedades de hidratación y gelificación
- Se ha observado que un análisis sencillo como el del WHC o el WBC puede predecir, o dar una idea, de las propiedades reológicas de las harinas, que suelen medirse con equipos más complejos y costosos.

Del efecto de la harina de pan en las propiedades de productos horneados a base de cereales, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- A pesar de la necesidad de no elevar demasiado la viscosidad del batido para conseguir un volumen aceptable en productos como bizcochos, es posible la inclusión de harina de pan con resultados satisfactorios. Esta inclusión puede ser algo mayor en bizcochos con base aceite que en bizcochos espuma, donde no debe superar el 20%
- Los bizcochos con base aceite están menos afectados por el tamaño de partícula de la harina, y por tanto se requiere menos esfuerzo en el proceso de molienda del pan para incorporar sus harinas, en comparación con el bizcocho espuma que requiere harinas de menor tamaño de partícula.
- La elaboración de galletas con harina de pan reduce la expansión de las masas en el horneado, frente al control con harina de trigo, y hace que su dureza sea muy elevada.
- Con una incorporación al 50% apenas se muestran diferencia entre las galletas con harina de pan y las elaboradas únicamente con harina de trigo, e incluso mejora ligeramente la aceptabilidad.
- El tipo de pan utilizado en la elaboración de harinas apenas afecta a parámetros de las galletas como la expansión en el horno, el color o la textura, aunque sí que influye en los aspectos sensoriales.
- Los resultados obtenidos permitirán continuar con nuevas investigaciones, sobre la utilización de pan retirado del mercado en nuevos productos, así como otros aspectos relacionados con la seguridad de esta práctica.