



**FACULTADE DE CIENCIAS**

**GRADO EN NUTRICIÓN HUMANA E DIETÉTICA**

**D<sup>a</sup>. Esperanza M<sup>a</sup> Méndez Sánchez**

**DETERMINACIÓN *IN VITRO* DE LA DIGESTIBILIDAD DEL  
ALMIDÓN Y DEL ÍNDICE GLUCÉMICO DE DIFERENTES TIPOS  
DE PANES DEL MERCADO GALLEGO**

Traballo Fin de Grado

*Xullo 2025*

## ÍNDICE

RESUMEN .....	3
RESUMO .....	4
ABSTRACT .....	5
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Pan.....</b>	<b>6</b>
1.1.1. Pan y Galicia .....	6
<b>1.2. Índice glucémico.....</b>	<b>7</b>
1.2.1. Almidón.....	8
1.2.2. Índice glucémico y salud .....	9
1.2.3. Índice glucémico y pan.....	10
1.2.4. Métodos de determinación del índice glucémico.....	11
1.2.4.1. <i>In vivo</i> .....	12
1.2.4.2. <i>In vitro</i> .....	13
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Objetivo general .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>14</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. Muestras de pan.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Determinación del Índice Glucémico.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3. Determinación del almidón total y de las fracciones de almidón.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4. Análisis estadístico .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5. Búsqueda de información .....</b>	<b>22</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>4.1. Caracterización de las muestras .....</b>	<b>24</b>
<b>4.2. Análisis multivariante .....</b>	<b>26</b>
4.2.1. Análisis de componente principales (PCA).....	26
4.2.2. Dendrograma .....	27
<b>4.3. Comparación estadística entre grupos .....</b>	<b>29</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>49</b>

## RESUMEN

**TÍTULO: Determinación *in vitro* de la digestibilidad del almidón y del índice glucémico de diferentes tipos de panes del mercado gallego**

El pan es un alimento fundamental en la cultura gastronómica de Galicia. Desde el punto de vista nutricional, se compone principalmente de hidratos de carbono complejos, como el almidón, cuya digestibilidad y respuesta glucémica puede relacionarse con enfermedades metabólicas como la diabetes mellitus tipo II, la enfermedad cardiaca o la obesidad.

El presente Trabajo Fin de Grado se plantea con el objetivo de determinar *in vitro* la digestibilidad del almidón total y de sus fracciones (de digestión rápida, de digestión lenta y resistente), así como estimar el índice glucémico de diferentes muestras de pan del mercado gallego.

Para ello, se han analizado un total de 73 muestras, que incluyen: panes tradicionales elaborados bajo unas condiciones previamente establecidas con diferentes variedades autóctonas de trigo, centeno y maíz, panes tradicionales procedentes de panaderías y panes industriales en distintos formatos.

Se observaron diferencias significativas entre las diferentes muestras analizadas en las fracciones de almidón y del índice glucémico estimado. Además, se identificaron factores nutricionales y tecnológicos que modificaron la respuesta glucémica, como el uso de diferentes tipos de cereales, la adición de fibra dietética o de harina de legumbres, así como la utilización de masa madre y largos tiempos de fermentación.

Los resultados obtenidos sugieren que los panes tradicionales, especialmente aquellos elaborados con harinas autóctonas, presentan un perfil nutricional más favorable en comparación con los panes industriales, lo que apoya su recomendación como una opción más saludable dentro de una dieta equilibrada.

**Palabras clave:** pan, almidón, respuesta glucémica, digestión, salud, Galicia.

## RESUMO

### **TÍTULO: Determinación *in vitro* da dixestibilidade do amidón e do índice glicémico de diferentes tipos de pans do mercado galego**

O pan é un alimento fundamental na cultura gastronómica de Galicia. Desde o punto de vista nutricional, componse principalmente de hidratos de carbono complexos, como o amidón, cuxa dixestibilidade e resposta glicémica pode relacionarse con enfermidades metabólicas como a diabetes mellitus tipo II, a enfermidade cardíaca ou a obesidade.

O presente Traballo Fin de Grao expónse co obxectivo de determinar *in vitro* a dixestibilidade do amidón total e das súas fraccións (de dixestión rápida, de dixestión lenta e resistente), así como estimar o índice glicémico de diferentes mostras de pan do mercado galego.

Para iso, analizáronse un total de 73 mostras, que inclúen: pans tradicionais elaborados baixo unhas condicións previamente establecidas con diferentes variedades autóctonas de trigo, centeo e millo, pans tradicionais procedentes de panaderías e pans industriais en distintos formatos.

Observáronse diferenzas significativas entre as diferentes mostras analizadas nas fraccións de amidón e do índice glicémico estimado. Ademais, identificáronse factores nutricionais e tecnolóxicos que modificaron a resposta glicémica, como o uso de diferentes tipos de cereais, a adición de fibra dietética ou de fariña de legumes, así como a utilización de masa nai e longos tempos de fermentación.

Os resultados obtidos suxiren que os pans tradicionais, especialmente aqueles elaborados con fariñas autóctonas, presentan un perfil nutricional máis favorable en comparación cos pans industriais, o que apoia a súa recomendación como unha opción máis saudable dentro dunha dieta equilibrada.

**Palabras clave:** pan, amidón, resposta glicémica, dixestión, saúde, Galicia.

## ABSTRACT

**TITLE: *In vitro* determination of starch digestibility and glycemic index of different types of bread from the galician market**

Bread constitutes fundamental food in Galician culinary culture. From a nutritional perspective, it is composed primarily of complex carbohydrates, such as starch, whose digestibility and glycemic response can be linked to metabolic diseases such as type II diabetes mellitus, heart disease, and obesity.

This Final Degree Project aims to determine *in vitro* the digestibility of total starch and its fractions (rapidly digestible, slowly digestible, and resistant), as well as to estimate the glycemic index of different bread samples from the Galician market.

For this reason, a total amount of 73 samples was analyzed, which included traditional breads of different local varieties –wheat, rye, and corn– baked under preestablished conditions, traditional breads from bakeries and several formats of industrial breads.

Significant differences were observed among the various samples analyzed in terms of starch fractions and the estimated glycemic index. Furthermore, nutritional and technological factors that modified the glycemic response were identified, such as the use of different types of cereals, the addition of dietary fiber or legume flour, as well as the use of sourdough and long fermentation times.

The results obtained suggest that traditional breads, especially those made with local flours, have a more favorable nutritional profile compared to industrial breads, which supports their recommendation as a healthier option within a balanced diet.

**Keywords:** bread, starch, glycemic response, digestion, health, Galicia.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Pan**

El pan es el producto resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina y agua, con o sin la adición de sal, fermentada con la ayuda de levadura de panificación o masa madre (RD 308/2019).

El pan lleva presente en la alimentación de los seres humanos desde la prehistoria y se considera un producto tradicional y constituyente básico de la dieta a nivel mundial. Comenzó siendo un alimento que se preparaba en las casas y su producción fue creciendo hasta alcanzar un nivel industrial, lo que dio lugar a la elaboración de diferentes tipos de pan. Aunque el trigo ha sido y es el cereal por excelencia para su elaboración, se han ido introduciendo diferentes tipos de cereales como el centeno, maíz, espelta, cebada y avena entre otros, ofreciendo en el mercado una mayor variedad de productos (Murcia, 2011; Yubero, 2011).

Desde el punto de vista nutricional, el pan es un alimento rico en hidratos de carbono complejos, principalmente en forma de almidón. Además, aporta proteínas procedentes del grano de trigo y constituye una buena fuente de vitaminas, especialmente del grupo B, como la tiamina y niacina, así como minerales como el selenio y el sodio (MAPA, 2014).

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA, 2025), en el año 2024 se registró un consumo per cápita de pan en España con una ingesta de 27,45 kg/persona/año, lo que representa un descenso de 0,06 kg/persona/año respecto al año anterior. La compra de pan para consumo doméstico ha ido disminuyendo desde el año 2008, con una variación del 34,3%. Esta reducción en el consumo podría explicarse por el encarecimiento del pan o por la difusión de falsos mitos como “el pan engorda”. Sin embargo, lo que realmente importa es el tipo de pan, la cantidad y el resto de los alimentos consumidos (FEN, 2019; Herrero et al., 2021; MAPA, 2025).

#### **1.1.1. Pan y Galicia**

En Galicia, el pan tiene un papel muy importante, no solo como base de la alimentación durante siglos, sino también por su valor simbólico y cultural y por su gran funcionalidad económica. En tiempos en los que el acceso a otros alimentos era limitado, el pan era un producto de subsistencia y que, además, funcionaba como un indicador del estatus social en función del tipo de pan que se consumiera (MAPA, 2018; Lavandeira, 2024).

En Galicia, los cultivos de cereales que predominaban eran, especialmente el centeno y, posteriormente el maíz tras su llegada de América. Como consecuencia, el pan se elaboraba a base de estos cereales, adaptados al clima lluvioso y frío. El trigo, en cambio, se trataba de un cereal muy escaso y de difícil accesibilidad debido a las necesidades específicas de cultivo, por lo que se encontraba en áreas muy concretas. Sin embargo, a partir del siglo XX, el trigo comenzó a tener una mayor disponibilidad por provenir de otras regiones de España, donde su cultivo era más favorable. Esto provocó que su uso en la panificación gallega fuera en aumento, llegando a producir pan que mezclaba harinas de trigo autóctono y de trigo foráneo, sin perder las características propias del pan tradicional. Por eso mismo, el pan gallego, que hoy cuenta con un reconocimiento en todo el mercado español, es fundamentalmente un pan elaborado a base de trigo (MAPA, 2018; Lavandeira, 2024).

En este contexto, se inscribe el «Pan Galego» / «Pan Gallego» en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas (IGP) (Reglamento de Ejecución (UE) 2019/2182), convirtiéndose en el segundo tipo de pan amparado por una IGP, ya que previamente fue reconocido el «Pan de Cea» (Reglamento CEE 2081/92 del Consejo).

El «Pan Galego» / «Pan Gallego» es un pan de corteza crujiente y de dureza variable en función del formato, miga esponjosa y alveolado abundante e irregular, que se elabora de forma artesanal con harina de trigo blando (*Triticum aestivum*, L.), de la cual al menos un 25% procede de trigos cultivados en Galicia pertenecientes a variedades y ecotipos autóctonos gallegos, ‘Caaveiro’ y ‘Calobre’ y otras tres variedades locales (MAPA, 2018).

Galicia se encuentra entre las comunidades autónomas con una compra de pan más intensiva para el consumo doméstico, con un 6,90% del volumen total consumido en el país, lo que supone 32,36 kg/persona/año, superando el promedio nacional (MAPA, 2025).

## **1.2. Índice glucémico**

Los hidratos de carbono constituyen una parte esencial de nuestra dieta y se recomienda que aporten entre el 50-55% de la ingesta energética diaria (SENC, 2011). Durante la digestión, son metabolizados en azúcares más simples, principalmente en glucosa, que actúa como una fuente de energía para el organismo. La glucosa es absorbida casi en su totalidad en las primeras porciones del intestino delgado, desde donde parte de ella, pasa al torrente sanguíneo para ser distribuida por el organismo. La liberación de glucosa en la sangre, conocida como respuesta

glucémica, está determinada por varios factores, como la velocidad de entrada de la glucosa en la circulación sanguínea, la cantidad absorbida o la velocidad de desaparición de la circulación sanguínea (Mataix & Sánchez, 2009; Vega-López et al., 2018).

El concepto de índice glucémico (GI), introducido por Jenkins et al. (1981), es una medida que sirve para determinar la rapidez con la que un alimento rico en hidratos de carbono eleva los niveles de glucosa en sangre tras su ingesta en comparación con la glucosa pura, a la que se le asigna un valor de referencia 100. Se define como la relación entre el área bajo la curva (AUC) 2 horas después de consumir 50 g de hidratos de carbono y del área bajo la curva de la muestra de referencia (Vega-López et al., 2018; Lal et al., 2021; Ni et al., 2022).

Según este concepto, los alimentos se categorizan en función de si poseen un índice glucémico alto (> 70), medio (55-70) y bajo (< 55). Un alimento con un índice glucémico alto provoca un mayor aumento del área bajo la curva de glucosa en el periodo posprandial, lo que se traduce en un aumento más pronunciado de los niveles de glucosa en comparación con una cantidad equivalente de un alimento con índice glucémico bajo (Augustin et al., 2015; Di Cairano et al., 2022; Sulung et al., 2023).

La clasificación de los alimentos depende a su vez de diferentes factores como puede ser el tamaño de la partícula, la velocidad de degradación, el método cocción, la estructura del almidón y la cantidad de compuestos (fibra, proteína, grasa) presentes (Lal et al., 2021).

### **1.2.1. Almidón**

El almidón es un polisacárido producido por las plantas que actúa como la principal reserva de hidratos de carbono en cereales, semillas, legumbres y tubérculos. Está compuesto por moléculas de glucosa y por dos tipos de cadenas de poliglucanos: la amilosa y la amilopectina, siendo esta última el componente mayoritario. La proporción entre amilosa/amilopectina influye tanto en la textura como en la digestibilidad del almidón (Mataix & Sánchez, 2009; Pérez & Bertoft, 2010; Vamadevan & Bertoft, 2015; Magallanes-Cruz et al., 2017; Lal et al., 2021).

El almidón posee diversas propiedades que son de gran interés en la industria alimentaria, como la gelatinización y la retrogradación. La gelatinización es un proceso irreversible que tiene lugar cuando se somete a tratamiento térmico en un medio acuoso. Durante este fenómeno, los gránulos de almidón absorben agua y se hinchan, modificando su estructura cristalina y

formando una matriz viscosa. Cuando el producto se enfría, las cadenas del almidón se unen y dan lugar a una estructura mucho más ordenada y compacta. Este fenómeno es el que se conoce como retrogradación (Hoover, 1995; Vamadevan & Bertoft, 2015).

La digestión del almidón es un proceso de hidrólisis enzimática que ocurre a lo largo del tracto gastrointestinal. Participan varias enzimas como la  $\alpha$ -amilasa salival y pancreática, que desempeñan un papel clave al descomponer las moléculas de almidón en oligosacáridos más pequeños. Una vez en el intestino delgado, las enzimas localizadas en el borde del “cepillo intestinal”, transforman estos compuestos en glucosa (Magallanes-Cruz et al., 2017).

La digestibilidad del almidón se ha asociado con el índice glucémico para evaluar la calidad nutricional de los alimentos (Magallanes-Cruz et al., 2017). Según la velocidad de digestión en el intestino delgado, se clasifica en tres fracciones (Englyst et al., 1992): almidón de digestión rápida (RDS), almidón de digestión lenta (SDS) y almidón resistente (RS).

Las fracciones de almidón de digestión rápida y lenta indican la velocidad a la que la glucosa se vuelve disponible para su absorción en el intestino delgado y aparece en la sangre (Wolever et al., 1992). Por otro lado, el almidón resistente (RS) se considera un tipo de fibra dietética, ya que no se digiere en el intestino delgado. En su lugar, llega al intestino grueso, donde es fermentado por el microbiota intestinal, contribuyendo a la producción de ácidos grasos de cadena corta y otros beneficios para la salud. Existen 5 tipos diferentes de almidón resistente (Kahraman et al., 2019): RS1, almidón físicamente inaccesible al encontrarse dentro de las paredes celulares de los granos enteros, semillas y legumbres; RS2 en la forma nativa del almidón (patata cruda); RS3, almidón retrógrado (pan); RS4, obtenido a través de métodos químicos o físicos; RS5, térmicamente estable y que forma complejos con los lípidos, lo que hace que retarde su digestión (Fuentes-Zaragoza et al., 2010; Birt et al., 2013).

### **1.2.2. Índice glucémico y salud**

Existe una relación de los posibles efectos metabólicos que pueden ocurrir en función de la ingesta de alimentos con un alto o bajo índice glucémico. Estos efectos pueden favorecer el desarrollo de enfermedades como la diabetes mellitus tipo II, la enfermedad cardiaca o la obesidad (Livesey et al., 2008; Raheli et al., 2011).

Las dietas con alto índice glucémico van a provocar unos niveles excesivos de glucosa posprandial, lo que desencadena una respuesta desmesurada de la insulina. Esta respuesta se asocia con una resistencia a la insulina, hiperinsulinemia y, finalmente, con el desarrollo de diabetes mellitus tipo II. A su vez, este tipo de dietas, al inducir niveles elevados de insulina, puede aumentar el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares. Se ha demostrado que la hiperinsulinemia está vinculada con una mayor presión arterial, alteraciones en el perfil lipídico y una disfunción arterial, los cuales son factores de riesgo en la enfermedad cardiovascular (Jenkins et al., 2002; Ludwig, 2002; Brand-Miller et al., 2007; Rahelic et al., 2011; Lanzerstorfer et al., 2018).

La ingesta de alimentos con un alto índice glucémico provoca que el aumento de glucosa en sangre sea muy rápido, lo que, a su vez, hace que la respuesta de la insulina ante este pico también lo sea. Esto produce que la sensación de hambre no desaparezca y, como resultado, se continúa comiendo, por lo que se llega a un punto de sobrealimentación y, lo más probable, a la obesidad, relacionada a su vez, con el desarrollo de la diabetes tipo II y la enfermedad cardiovascular (Ludwig, 2002; Khalafi et al., 2023).

Una de las estrategias para la prevención y el tratamiento de estas enfermedades es el consumo de dietas con un índice glucémico bajo. Este tipo de dietas ayudan a que haya una liberación moderada de insulina, lo que se traduce como un aumento paulatino de la glucosa posprandial. Además, se ha demostrado que los alimentos con un bajo índice glucémico favorecen la disminución de los niveles de triglicéridos y del colesterol LDL, al mismo tiempo que los niveles de colesterol total llegan a ser menores en comparación con el colesterol HDL. Asimismo, ayudan a mantener un peso corporal adecuado al favorecerla saciedad (Ludwig, 2002; Ferrer-Mairal et al., 2012; Gonzalez-Anton et al., 2015; Meynier et al., 2015; Ni et al., 2022).

### **1.2.3. Índice glucémico y pan**

El pan se consume en una amplia variedad de formas y, dependiendo de su composición, estructura o las condiciones de horneado, puede diferir en su efecto sobre la respuesta glucémica (Fardet et al., 2006).

El pan elaborado con trigo se caracteriza por una digestión y absorción rápida debido a la presencia de almidones de rápida digestión, lo que provoca una mayor liberación de la glucosa. A su vez, durante su horneado, se produce la gelatinización del almidón, un fenómeno que da

lugar a una estructura altamente porosa. Esta porosidad facilita el acceso de las enzimas digestivas, lo que acelera la hidrólisis del almidón y, en consecuencia, una mayor liberación de la glucosa. Como resultado de todo esto, el pan de trigo se considera un alimento con un índice glucémico elevado (> 70) (Fardet et al., 2006; Scazzina et al., 2013; Wolter et al., 2014; Skřivan et al., 2024).

Sin embargo, la respuesta glucémica del pan puede modificarse en función de los ingredientes utilizados en su elaboración. El tipo de cereal o grano empelado desempeña un papel fundamental en este sentido. En el caso del uso de cereales como el centeno o el maíz, así como de granos enteros en lugar de refinados, puede contribuir a reducir el valor del índice glucémico. Asimismo, se están empleando diversas estrategias para disminuir este valor, como la adición de harinas ricas en fibra o simplemente de fibra dietética (Scazzina et al., 2013; Nordlund et al., 2016; Lanzerstorfer et al., 2018; Pasqualoni et al., 2024).

Otro factor importante en la modificación de la respuesta glucémica es la proporción de amilosa/amilopectina presente en el almidón. Se ha demostrado que la absorción de la amilosa se produce más lentamente y en menor medida que la amilopectina, por lo que un mayor contenido de amilosa puede reducir la respuesta glucémica (Fardet et al., 2006; Kumar et al., 2018).

Además de los ingredientes y de la composición, los procesos tecnológicos aplicados durante la elaboración del pan desempeñan un papel clave. En cuanto a la fermentación, cuanto más prolongada es, especialmente si se realiza con masa madre, contribuye a la reducción del índice glucémico en los productos de panadería (Fardet et al., 2006; Demirkesen-Bicak et al., 2021).

#### **1.2.4. Métodos de determinación del índice glucémico**

La determinación del índice glucémico de un alimento se realiza mediante dos métodos: *in vivo* e *in vitro*.

La determinación del índice glucémico *in vivo* con seres humanos es el método de referencia (Sulung et al., 2023), aunque presenta ciertas limitaciones en comparación con el método *in vitro*. El método *in vivo* requiere mucho tiempo para su ejecución, es complejo, costoso e invasivo, por lo que necesita la aprobación del comité de ética para su realización. Uno de los

posibles inconvenientes que puede tener este método es la existencia de la variabilidad inter e intraindividual (Germaine et al., 2008; Ferrer-Mairal et al., 2012; Argyri et al., 2016).

La determinación *in vitro* es sencilla, económica y no invasiva y, lo más destacable de todo, es que permite el análisis de múltiples muestras en un periodo corto de tiempo. Es cierto que hoy en día no hay un método estandarizado y que se adecúe a todo tipo de alimentos; sin embargo, este procedimiento mejora la predicción del índice glucémico al simular la digestión humana mediante el uso de diversas enzimas en lugar de sujetos humanos (Germaine et al., 2008; Ferrer-Mairal et al., 2012; Argyri et al., 2016).

#### **1.2.4.1. In vivo**

La determinación del índice glucémico *in vivo* de los alimentos se lleva a cabo siguiendo lo establecido por la Organización Internacional de Normalización en su norma ISO 26642:2010 (ISO, 2010).

Se seleccionan a sujetos humanos sanos para que consuman productos que contengan 50 g de hidratos de carbono o 50 g de glucosa acompañado de 250 mL de agua en un periodo de tiempo de unos 10-15 minutos. Para el alimento de referencia, el sujeto tiene que ingerir glucosa en la misma cantidad que el alimento de prueba (Meynier et al., 2015).

Posteriormente, se recoge sangre capilar mediante punciones en el dedo para el análisis de la glucosa plasmática en el momento inicial ( $T_0$ ) y en intervalos de 15, 30, 60, 90 y 120 minutos. Estas mediciones deben realizarse en dos momentos diferentes separados en el tiempo por sujeto, para mejorar la fiabilidad de los resultados. Las concentraciones de glucosa se determinan mediante un glucómetro validado (Ferrer-Mairal et al., 2012; Meynier et al., 2015; Lanzerstorfer et al., 2018).

Con los datos obtenidos se calcula la respuesta glucémica individual, a partir de la cual se determina el área bajo la curva (AUC) mediante el método trapezoidal, considerando únicamente los valores que se encuentran por encima del nivel basal ( $T_0$ ) (Wolever & Jenkins, 1986; Meynier et al., 2015).

#### **1.2.4.2. *In vitro***

La determinación *in vitro* del índice glucémico consiste en la simulación controlada del proceso de digestión humana a lo largo del trato digestivo. Para ello, las muestras se hidrolizan con diferentes enzimas que imitan el proceso de digestión, diferenciando las fases oral, gástrica e intestinal. En muchos estudios, la fase oral es omitida debido a que es una fase muy breve que apenas dura 2 minutos y con una mínima actividad de la  $\alpha$ -amilasa salival (Argyri et al., 2016; Li & Hu, 2022; Sulung et al., 2023; Dávila et al., 2024).

Existen tres modelos para la determinación del índice glucémico *in vitro*: el modelo estático, el dinámico y el semidinámico. El modelo estático es el más simple e incluye las fase oral, gástrica e intestinal, simulando en cada una de ellas las condiciones enzimáticas, electrolíticas, de pH y de temperatura. El modelo dinámico reproduce con precisión los movimientos peristálticos, el vaciamiento gástrico o la acción de las enzimas, incorporando un drenaje continuo en las diferentes fases del proceso digestivo de los seres humanos. Por último, el modelo semidinámico se basa principalmente en el modelo estático, pero se centra sobre todo en los cambios graduales de pH, así como en la secreción y drenaje constante de enzimas a nivel gástrico (Hu et al., 2013; Alegría et al., 2015; Brodkorb et al., 2019; Mulet-Cabero et al., 2020; Xavier & Mariutti, 2021; Dávila et al., 2024).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Determinación *in vitro* de la digestibilidad del almidón y del índice glucémico de panes tradicionales e industriales disponibles en el mercado gallego.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el almidón total y de las diferentes fracciones (de digestión rápida, de digestión lenta y resistente) de los diferentes tipos de panes.
- Determinar el índice de hidrólisis y estimar el índice glucémico de las muestras de pan.
- Analizar los factores nutricionales y tecnológicos que condicionan la respuesta glucémica de los diferentes tipos de pan.
- Determinar cuáles son los panes más recomendables en base a la respuesta glucémica.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Muestras de pan**

El número total de muestras analizadas de pan del mercado gallego son 73, de las cuales 50 pertenecen a muestras de pan tradicional gallegas y 23 a muestras de pan industriales gallegas de diferentes supermercados. A su vez, estos grupos se subdividieron para facilitar el análisis de las muestras en: panes tradicionales caracterizados (PTC), panes tradicionales no caracterizados (PTNC), panes industriales molde (PIM) y otros panes industriales (PIO). Todas las muestras de pan fueron desecadas (por liofilización o por desecación en estufa) para su conservación y posterior análisis.

42 de las muestras tradicionales fueron elaboradas por el Grupo Da Cunha bajo condiciones totalmente contraladas para el Proyecto de Investigación financiado por el Ministerio (Proyectos de Generación de Conocimiento 2021-2023. PID2021-123905OB-I00), bajo el cual se enmarca este TFG. En la Tabla 1 se recogen las principales características de cada una de estas muestras de pan.

La elaboración de estas muestras sigue las directrices contempladas en el Pliego de Condiciones de la IGP «Pan Galego» / «Pan Gallego». Este proceso se distingue por la utilización de masa madre y una elevada cantidad de agua, así como por los largos tiempos de fermentación y cocción, esta última siempre en hornos con solera de piedra u otros materiales refractarios (MAPA, 2018).

En las muestras de pan elaboradas con trigo la formulación de la mezcla y el proceso utilizado fue el siguiente. En el caso de las muestras con 100% de harina autóctona de trigo se utilizaron 7 kg de esta variedad. En las muestras con un 25% de harina autóctona, la mezcla incluía 5,25 kg de harina foránea y 1,75 kg de harina autóctona. En ambos casos la formulación de la masa se completaba con 4,1 L de agua, 2,5 L de masa madre, 70 g de levadura y 140 g de sal. El proceso de fermentación se realizó en tres fases: una fermentación en bloque de 1 hora, una en bola durante 20 minutos y finalmente una en pieza de 2 horas. La cocción duró una hora a 220°C en el horno.

Tabla 1. Muestras de pan tradicional caracterizados (PTC)

Muestra	Tipo de cereal	Cultivar	Año de cultivo	Porcentaje de harina autóctona	Método de cultivo
PTCT1	Trigo	'Caaveiro'	2023	100%	Ecológico
PTCT2	Trigo	'Caaveiro'	2023	100%	Convencional
PTCT3	Trigo	'Callobre'	2023	100%	Ecológico
PTCT4	Trigo	'Callobre'	2023	100%	Convencional
PTCT5	Trigo	'Caaveiro'	2023	25%	Ecológico
PTCT6	Trigo	'Caaveiro'	2023	25%	Convencional
PTCT7	Trigo	'Callobre'	2023	25%	Ecológico
PTCT8	Trigo	'Callobre'	2023	25%	Convencional
PTCT9	Trigo	'Caaveiro'	2024	100%	Ecológico
PTCT10	Trigo	'Caaveiro'	2024	100%	Convencional
PTCT11	Trigo	'Callobre'	2024	100%	Ecológico
PTCT12	Trigo	'Callobre'	2024	100%	Convencional
PTCT13	Trigo	'Caaveiro'	2024	100%	Convencional
PTCT14	Trigo	'Caaveiro'	2024	25%	Ecológico
PTCT15	Trigo	'Caaveiro'	2024	25%	Convencional
PTCT16	Trigo	'Callobre'	2024	25%	Ecológico
PTCT17	Trigo	'Callobre'	2024	25%	Convencional
PTCT18	Trigo	'Caaveiro'	2024	25%	Convencional
PTCC19	Centeno	'Palas'	2023	100%	Ecológico
PTCC20	Centeno	'Palas'	2023	100%	Convencional
PTCC21	Centeno	'Trevinca'	2023	100%	Ecológico
PTCC22	Centeno	'Trevinca'	2023	100%	Convencional
PTCMz23	Centeno	'Trevinca'	2023	100%	Convencional
PTCMz24	Centeno	'Palas'	2023	75%	Ecológico
PTCMz25	Centeno	'Palas'	2023	75%	Convencional
PTCMz26	Centeno	'Trevinca'	2023	75%	Ecológico
PTCMz27	Centeno	'Trevinca'	2023	75%	Convencional
PTCMz28	Centeno	'Trevinca'	2023	75%	Convencional
PTCC29	Centeno	'Palas'	2024	100%	Ecológico
PTCC30	Centeno	'Palas'	2024	100%	Convencional
PTCC31	Centeno	'Trevinca'	2024	100%	Ecológico
PTCC32	Centeno	'Trevinca'	2024	100%	Convencional
PTMz33	Centeno	'Palas'	2024	75%	Ecológico
PTMz34	Centeno	'Palas'	2024	75%	Convencional
PTMz35	Centeno	'Trevinca'	2024	75%	Ecológico
PTMz36	Centeno	'Trevinca'	2024	75%	Convencional
PTMa37	Maíz	'Carballeira'	2020	70%	ND
PTMa38	Maíz	'Oroso'	2020	70%	ND
PTMa39	Maíz	'Ribadarumia'	2020	70%	ND
PTMa40	Maíz	'Rebornades'	2020	70%	ND
PTMa41	Maíz	'EPS27'	2020	70%	ND
PTMa42	Maíz	'Tuy'	2020	70%	ND

ND: no determinado

En el caso de las muestras de pan elaboradas con centeno, se utilizó 7 kg de harina autóctona en las que llevaban un 100% de la misma. En cuanto a las muestras con 75% de harina autóctona de centeno, se utilizó 5,25 kg de harina de cultivares locales de centeno y 1,75 kg de harina comercial de trigo. En ambos casos la formulación de la masa se completaba con 3,7 L de agua, 2,5 L de masa madre, 70 g de levadura y 140 g de sal. El proceso de fermentación se realizó en tres fases: una fermentación en bloque de 2 hora, una en bola durante 20 minutos y finalmente una en pieza de 2 horas. La cocción duró una hora a 220°C en el horno.

Para la realización de las muestras de pan de maíz se utilizaron formulación 4 kg de harina de maíz, 2 kg de harina de trigo, 650 g de harina de centeno, 5,6 L de agua, 33 g de levadura, 1,225 L de masa madre y 221 g sal. La fermentación se realizó en un bloque de 1 hora. La cocción duró 50 minutos a 220°C en el horno.

Además, se analizaron 8 muestras de pan tradicional adquiridos en panaderías tradicionales (Tabla 2), de las cuales se conocen los ingredientes, pero no su composición nutricional detallada. Por eso, se denominó a este grupo como panes tradicionales no caracterizados (PTNC).

*Tabla 2. Muestras de pan tradicional no caracterizadas (PTNC)*

<b>Muestra</b>	<b>Tipo de cereal</b>
<b>PTNCE1</b>	Espelta
<b>PTNCMz2</b>	Trigo y centeno
<b>PTNCT3</b>	Trigo
<b>PTNCIT4</b>	Trigo
<b>PTNCT5</b>	Trigo
<b>PTNCT6</b>	Trigo
<b>PTNCT7</b>	Trigo
<b>PTNCT8</b>	Trigo

Finalmente, se analizaron 23 muestras de diferentes panes industriales que aparecen recogidos en la Tabla 3. En el Anexo 1 se recoge la información que figuraba en los envases. Para los fines del análisis comparativo, los panes industriales se agruparon en dos categorías: pan industrial de molde (PIM) en rebanadas que difiere notablemente en su formulación, textura y método de procesamiento respecto a otros tipos; y panes industriales otros (tipo barra, tipo rosca y tipo hogaza) (PIO), que, a pesar de sus diferencias en la forma, comparte estructuras de miga, características de corteza y perfiles de horneado más similares.

Tabla 3. Muestras de pan industrial (PI)

<b>Muestra</b>	<b>Tipo</b>
<b>PIO1</b>	Barra
<b>PIO2</b>	Barra
<b>PIO3</b>	Barra
<b>PIO4</b>	Rosca
<b>PIO5</b>	Hogaza
<b>PIM1</b>	Molde
<b>PIM2</b>	Molde
<b>PIM3</b>	Molde
<b>PIM4</b>	Molde
<b>PIM5</b>	Molde
<b>PIM6</b>	Molde
<b>PIM7</b>	Molde
<b>PIM8</b>	Molde
<b>PIM9</b>	Molde
<b>PIM10</b>	Molde
<b>PIMSG11</b>	Molde
<b>PIMSG12</b>	Molde
<b>PIMSG13</b>	Molde
<b>PIMSG14</b>	Molde
<b>PIM15</b>	Molde
<b>PIM16</b>	Molde
<b>PIM17</b>	Molde
<b>PIM18</b>	Molde

### 3.2. Determinación del Índice Glucémico

La determinación del índice glucémico se realizó en base a diferentes protocolos descritos por diferentes autores (Goñi et al., 1997; Kahraman et al., 2019; Koksel et al., 2023).

Se pesan 100 mg de cada muestra de pan desecado en tubos de ensayo de 50 mL y se les añade 10 perlas de vidrio. Para la simulación de la fase gástrica, se incorpora a cada tubo 2 mL de HCL 0,05 M y 10 mg de pepsina (Sigma, P7000). A continuación, se realiza una incubación de 30 minutos en un baño maría con agitación a 37°C. Las muestras se sacan del baño para dar comienzo a la fase intestinal. Para ello, se añaden 4 mL de tampón de acetato de sodio 0,5 M (pH 5,2) y 1 mL de solución enzimática compuesta por 0,139 g de pancreatina (Sigma-Aldrich, P7545) y 14,26 U de aminoglucosidasa (AMG) (3300 U/mL, Megazyme Int., Ireland) en 1 mL de agua destilada por cada muestra. Se incuban las muestras y se toman alícuotas de 100 µL en el momento inicial (T<sub>0</sub>) y en intervalos de 30, 60, 90 y 120 minutos. Cada alícuota se transfiere a

tubos Eppendorf de 1,5 mL que contienen etanol 96%. Los tubos se centrifugan a 10.000 rpm durante 6 minutos. A continuación, se toman alícuotas de 100 µL por duplicado y se transfieren a tubos de ensayo. Paralelamente, se preparan dos tubos de ensayo adicionales: uno de 100 µL de tampón de acetato de sodio 0,5 M (pH 5,2) como control de reactivos y otro con 100 µL de glucosa como control de glucosa. A cada uno de estos tubos se les añade 3 mL reactivo de Glucosa Oxidasa- Peroxidasa (GOPOD) (Megazyme Int., Ireland) y se mezcla en el vórtex para llevarlos a un baño de agua a 50°C durante 20 minutos. Finalmente, las muestras se transfieren a cubetas y se mide su absorbancia a 510 nm con el espectrofotómetro.

Para saber la cantidad de glucosa liberada en las muestras de pan, se calcula el área bajo la curva (AUC) de cada una de ellas siguiendo el método trapezoidal mediante la Ecuación 1 (Yeh, 2002):

$$AUC = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{C_i + C_{i-1}}{2} \times (t_i - t_{i-1}) \right] \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

- $C_i$  (mg/mL) = concentración de glucosa liberada en el tiempo  $t_i$ .
- $C_{i-1}$  (mg/mL) = concentración de glucosa liberada en el tiempo anterior a  $t_i$ .
- $t_i$  = tiempo de medición.
- $t_{i-1}$  = tiempo anterior de medición.

Para el cálculo del índice de hidrólisis (HI), se compara el valor de AUC de la muestra de pan y la muestra de referencia según la Ecuación 2 (Sulung et al., 2023):

$$HI = \left( \frac{AUC \text{ muestra de pan}}{AUC \text{ muestra de referencia}} \right) \times 100 \text{ Ecuación 2}$$

La muestra de referencia se corresponde con la glucosa, cuyo valor es 100 (Lal et al., 2021).

Una vez obtenido el valor del índice de hidrólisis de la muestra se procede al cálculo del índice glucémico esperado (eGI) mediante la Ecuación 3 descrita por Granfeldt et al., (1994):

$$eGI = 0,862 \times calcHI + 8,198 \text{ Ecuación 3}$$

### 3.3. Determinación del almidón total y de las fracciones de almidón

La determinación del almidón total y de sus fracciones correspondientes se realizaron siguiendo el protocolo descrito por Megazyme (2023).

Se pesan 500 mg de muestra de pan desecado en botellas de 250 mL y añaden 38 mL de una solución de tampón maleato de sodio 50 mM (pH 6,0) y 1 mL de etanol 96%. El contenido se mezcla manualmente y se incuba en el baño maría con agitación hasta que se alcancen 37°C. Una vez alcanzada esta temperatura, se mantienen en el baño durante 5 minutos. A continuación, se retiran del baño, se añade 1 mL una solución madre de  $\alpha$ -amilasa pancreática/aminoglucosidasa (PAA/AMG) y se introducen nuevamente las botellas en el baño durante 20 minutos para la determinación de almidón de digestión rápida (RDS), 120 minutos para el almidón de digestión lenta (SDS) y 240 minutos para el almidón total (TDS) y almidón resistente (RS).

Para la determinación del almidón digerible (RDS, SDS, TDS), se extrae de las botellas 1 mL de muestra y se añaden a tubos de ensayo de 50 mL que contienen 20 mL de solución de ácido acético 50mM. El contenido se traspasa a tubos Eppendorf de 2 mL por decantación y se centrifugan 10.000 rpm durante 5 minutos. Se transfieren alícuotas de 0,1 mL a tubos de ensayo por duplicado y se añade una solución de aminoglucosidasa (AMG) diluida. Paralelamente, se preparan dos tubos de ensayo adicionales: uno de 0,2 mL de tampón de acetato de sodio 100 mM (pH 4,5) como control de reactivos y, otro con 0,1 mL de glucosa y de 0,1 mL de tampón de acetato de sodio 100 mM (pH 4,5) como control de glucosa. Los tubos se incuban en baño un baño de agua a 50°C durante 30 minutos. A continuación, se añaden 3 mL de GOPOD a cada tubo y se incuban en el baño a 50 °C durante 20 minutos. Finalmente, las muestras se transfieren a cubetas y se mide su absorbancia a 510 nm con el espectrofotómetro.

Para la determinación del almidón resistente, se extraen 4 mL de muestra y se añaden a tubos de ensayo de 10 mL que contienen 4 mL de etanol 96%. La mezcla se centrifuga a 4.000 rpm durante 10 minutos. Se decanta cuidadosamente el contenido de los tubos y se colocan brevemente boca abajo para dejar secar el residuo y se deja secar brevemente boca abajo. Posteriormente, mientras los tubos se agitan en el vórtex, se les añaden 2 mL de etanol 50%, seguido de 6 mL adicionales del mismo. Este proceso se repite dos veces.

A continuación, se introduce un imán en cada tubo y se añaden 2 mL de solución de hidróxido de sodio 1,7 M. Los tubos se colocan en un baño de hielo sobre un agitador magnético durante 20 minutos. Se agregan 8 mL de tampón de acetato de sodio 1 M (pH 3,8) y 0,1 mL de solución de aminoglucosidasa (AMG) diluida. El contenido se agita en el vórtex y se incuba en el baño de agua a 50°C durante 30 minutos. Finalizado el tiempo de incubación, el contenido de los tubos se decanta a tubos Eppendorf de 2 mL y se centrifugan a 10.000 rpm durante 5 minutos. A continuación, se transfirieron alícuotas de 0,1 mL de cada tubo Eppendorf a tubos de ensayo por duplicado y, se añade 0,1 mL de tampón de acetato de sodio 100 mM (pH 4,5) y 3 mL de GOPOD. Los tubos se mezclan en el vórtex y se incuban en el baño de agua a 50°C durante 20 minutos. Finalmente, las muestras se transfieren a cubetas y se mide su absorbancia a 510 nm con el espectrofotómetro.

Para el cálculo del almidón digerible se utiliza la Ecuación 4:

$$\text{Almidón digerible} = \Delta A \times F \times \frac{EV}{W} \times 0,0189 \text{ Ecuación 4}$$

Donde:

- $\Delta A$  = Variación entre la absorbancia de la muestra y la absorbancia del blanco
- $F$  = Factor de conversión de la absorbancia a  $\mu\text{g}$
- $EV$  = Volumen de extracción
- $W$  = Peso de la muestra

La expresión del factor F se corresponde con la Ecuación 5:

$$F = \frac{100 \mu\text{g D-glucosa}}{\text{Absorbancia del control de glucosa}} \text{ Ecuación 5}$$

Para el cálculo del almidón resistente se utiliza la Ecuación 6:

$$\text{Almidón resistente} = \Delta A \times F \times \frac{EV}{W} \times FV \times 0,000225 \text{ Ecuación 6}$$

Donde:

- $\Delta A$  = Variación entre la absorbancia de la muestra y la absorbancia del blanco
- $F$  = Factor de conversión de la absorbancia a  $\mu\text{g}$
- $EV$  = Volumen de extracción
- $FV$  = Volumen final del control de glucosa

- $W$  = Peso de la muestra

La expresión del factor F se corresponde con la Ecuación 5.

Finalmente, el almidón total se calcula mediante la Ecuación 7:

$$\text{Almidón total} = \text{Almidón total digerible} + \text{Almidón resistente} \text{ Ecuación 7}$$

### **3.4. Análisis estadístico**

El tratamiento estadístico de los datos se realizó con Microsoft Excel y con el software IBM SPSS Statistics 29.0.2. Microsoft Excel se utilizó para el cálculo de los resultados, así como para la realización de las medias y las desviaciones estándar.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el programa IBM SPSS Statistics 29.0.2, en el que se aplicó un modelo lineal multivariado mediante pruebas post hoc de Tukey para evaluar el efecto de las diferentes variables categóricas (muestra, categoría, cereal, porcentaje de harina autóctona y método de cultivo) en función de las variables dependientes (fracciones de almidón, índice de hidrólisis e índice glucémico estimado). A su vez, se segmentaron las variables categóricas para facilitar la comparación de los grupos. Los resultados se consideraron significativos con valor de  $p < 0,05$ .

El análisis de componentes principales (PCA) y el dendrograma se realizaron con el software libre R (versión 4.3.2.), con el paquete FactoMineR (versión 2.8) (Lê et al., 2008).

### **3.5. Búsqueda de información**

Para la realización de este trabajo, se llevaron a cabo búsquedas de información en bases de datos como “Google Académico” y “Web of Science”.

La estrategia de búsqueda incluyó términos clave como “índice glucémico”, “pan”, “almidón”, “digestibilidad” o “estrategias para la disminución del índice glucémico en alimentos”, combinados mediante el uso de “AND” y “OR” para optimizar los resultados.

Se aplicaron filtros por idioma (español e inglés) y por fecha de publicación, priorizando estudios publicados en los últimos 10 años. Los criterios de inclusión se centraron en artículos científicos con revisión por pares, estudios aplicados a alimentos reales (especialmente productos a base de cereal) y trabajos que abordaran el impacto de diferentes tecnologías, ingredientes o procesos sobre la digestibilidad del almidón o el índice glucémico. Se excluyeron publicaciones duplicadas, estudios con enfoques exclusivamente clínicos sin relación directa con los alimentos y documentos sin acceso al texto completo.

En total, se revisaron más de 100 referencias, de las cuales 83 fueron seleccionadas y se han incorporado al desarrollo del trabajo.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización de las muestras

En la Tabla 4 se recogen los resultados de las diferentes determinaciones de las muestras analizadas.

*Tabla 4. Medias y desviaciones estándar de las fracciones de almidón, índice de hidrólisis y estimación del índice glucémico*

Código	RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
PTCT1	26,40±6,55	0,59±0,78	33,56±1,09	4,12±1,55	37,68±0,46	66,75±1,24	65,74±1,06
PTCT2	27,06±5,02	0,94±0,58	36,58±1,51	3,67±1,06	40,24±0,44	68,74±1,42	67,45±1,22
PTCT3	27,98±6,59	1,59±0,20	37,89±1,64	3,51±1,34	41,40±0,31	70,51±3,17	68,98±2,73
PTCT4	27,20±6,00	0,73±0,95	34,83±0,45	3,11±0,81	37,94±0,36	72,41±1,36	70,61±1,17
PTCT5	25,28±4,81	0,75±0,01	33,53±1,11	3,19±0,65	36,71±0,46	72,11±0,41	70,35±0,35
PTCT6	23,75±4,89	0,91±0,28	32,13±0,35	4,19±0,39	36,32±0,74	72,13±4,54	70,37±3,91
PTCT7	23,98±5,16	1,34±0,44	32,15±1,22	3,41±1,10	35,55±0,11	73,50±1,01	71,56±0,87
PTCT8	25,61±4,02	0,73±0,78	33,09±0,32	4,00±0,08	37,08±0,39	73,96±3,03	71,95±2,61
PTCT9	29,29±2,04	3,04±0,25	32,36±2,64	3,68±0,13	36,04±2,77	68,97±0,39	67,65±0,33
PTCT10	31,63±1,94	4,72±0,08	33,40±1,10	4,27±0,31	37,67±1,42	69,87±0,17	68,42±0,15
PTCT11	28,50±4,75	5,91±1,06	33,58±0,42	5,59±0,16	39,17±0,59	71,61±0,52	69,92±0,45
PTCT12	22,82±2,44	7,65±0,48	29,09±0,13	5,81±0,97	34,90±0,84	71,64±0,27	69,95±0,24
PTCT13	31,62±2,73	4,99±1,59	36,04±0,26	4,51±0,08	40,55±0,34	72,34±0,75	70,56±0,64
PTCT14	33,14±1,37	3,07±0,12	35,53±0,58	5,36±0,39	40,89±0,19	71,97±1,28	70,23±1,10
PTCT15	30,59±0,10	2,89±0,69	35,15±0,02	5,31±0,30	40,46±0,28	72,43±0,83	70,63±0,72
PTCT16	29,70±0,77	4,69±0,08	38,25±0,14	5,57±0,23	43,82±0,38	74,02±0,28	72,01±0,24
PTCT17	26,86±1,81	7,18±0,68	36,09±0,28	5,06±0,12	41,15±0,39	75,75±0,72	73,50±0,62
PTCT18	29,92±0,22	5,74±0,43	38,35±0,78	3,82±0,20	42,17±0,98	74,40±0,72	72,33±0,62
PTCC19	22,23±0,22	1,22±0,11	23,50±0,42	8,11±0,05	31,61±0,37	47,83±0,71	49,43±0,61
PTCC20	20,83±0,02	0,80±0,05	22,19±0,04	7,45±0,45	29,64±0,42	51,61±0,88	52,69±0,76
PTCC21	21,87±0,21	1,19±0,01	23,14±0,10	7,55±0,29	30,69±0,19	51,48±1,30	52,57±1,12
PTCC22	22,45±0,09	1,08±0,08	23,04±0,22	7,03±0,38	30,07±0,16	52,39±1,38	53,36±1,19
PTCC23	23,05±0,13	0,63±0,01	23,31±0,11	6,79±0,14	30,11±0,02	64,73±3,04	64,00±2,62
PTCMz24	20,54±0,01	1,22±0,05	20,87±0,07	8,66±0,14	29,53±0,07	64,66±4,19	63,93±3,62
PTCMz25	20,54±0,16	1,21±0,03	20,85±0,80	7,67±0,78	28,37±0,23	65,69±4,31	64,82±3,72
PTCMz26	20,98±0,10	0,15±0,03	20,24±0,06	6,07±0,07	26,16±0,07	69,49±0,14	68,10±0,12
PTCMz27	21,77±0,22	0,48±0,03	21,68±0,13	6,66±0,09	28,34±0,03	68,11±4,71	66,91±4,06
PTCMz28	22,33±0,04	0,35±0,16	21,47±0,13	6,52±0,02	27,99±0,15	71,28±1,59	69,65±1,37
PTCC29	17,20±0,44	3,65±0,14	19,23±0,93	9,53±1,80	28,76±0,87	47,31±2,04	48,98±1,76
PTCC30	16,49±0,51	3,36±0,15	19,85±0,03	9,82±0,58	29,67±0,56	47,00±1,87	48,71±1,61
PTCC31	16,75±0,40	1,74±0,61	20,36±0,03	7,63±0,41	27,98±0,43	56,55±1,66	56,94±1,43
PTCC32	17,51±0,17	3,72±0,40	20,28±0,28	7,00±0,25	27,28±0,53	57,40±0,21	57,68±0,19
PTCMz33	18,77±0,44	2,91±0,27	24,44±0,16	2,69±0,11	27,13±0,26	62,49±1,03	62,07±0,88
PTCMz34	19,23±0,09	1,18±0,69	21,12±0,13	6,11±0,28	27,22±0,41	63,37±1,92	62,82±1,65

Continuación Tabla 4

Código	RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
PTCMz35	20,07±1,65	1,53±0,50	22,22±0,17	2,86±0,29	25,08±0,46	63,54±1,17	62,97±1,01
PTCMz36	20,16±1,25	1,67±1,42	22,37±0,25	2,99±0,65	25,36±0,40	65,94±2,26	65,04±1,94
PTCMa37	23,58±0,68	5,73±2,09	30,05±0,55	9,95±1,70	40,00±1,15	48,56±3,42	50,06±2,95
PTCMa38	22,58±1,17	8,41±0,84	33,00±0,42	5,98±0,39	38,98±0,03	49,56±0,32	50,92±0,27
PTCMa39	23,93±2,31	5,65±1,64	31,36±0,11	7,57±0,53	38,92±0,63	48,48±1,04	49,99±0,90
PTCMa40	24,83±2,58	5,33±1,69	30,51±0,17	7,35±0,29	37,87±0,45	49,52±1,97	50,88±1,70
PTCMa41	28,31±1,60	2,59±0,11	31,32±0,77	9,06±1,62	40,38±0,85	49,74±0,08	51,07±0,07
PTCMa42	26,64±2,38	4,29±2,02	31,28±0,02	8,26±0,29	39,54±0,31	48,69±1,12	50,17±0,97
PTNCE1	25,18±1,19	2,74±0,97	30,29±0,07	4,34±0,35	34,62±0,43	51,83±2,69	52,88±2,32
PTNCMz2	26,12±0,35	4,57±0,44	33,29±1,38	4,11±0,78	37,39±2,16	54,57±1,03	55,24±0,89
PTNCT3	30,35±0,72	4,14±0,59	35,21±0,85	3,92±0,50	39,14±0,35	60,36±1,22	60,23±1,05
PTNCIT4	23,84±1,21	4,52±0,08	29,42±0,36	4,11±0,14	33,52±0,50	54,19±1,31	54,91±1,13
PTNCT5	26,80±0,73	9,44±0,72	39,15±0,42	3,94±1,04	43,09±0,63	78,58±1,05	75,93±0,90
PTNCT6	26,95±0,14	6,26±0,31	36,27±0,21	7,27±0,62	43,54±0,41	80,76±1,08	77,82±0,93
PTNCT7	30,23±0,13	2,60±0,24	34,14±0,69	2,34±0,03	36,47±0,66	78,64±1,05	75,99±0,91
PTNCT8	28,23±0,96	11,01±0,59	39,78±2,47	4,33±0,14	44,11±2,61	79,43±3,04	76,66±2,62
PIO1	34,76±0,36	7,33±0,82	44,82±1,12	1,52±0,70	46,34±0,41	92,95±3,13	88,32±2,70
PIO2	25,99±1,38	9,31±1,13	39,13±0,26	3,06±0,56	42,19±0,30	77,90±1,42	75,35±1,22
PIO3	30,26±0,65	3,59±0,14	37,76±0,54	2,65±0,40	40,41±0,14	82,67±2,48	79,46±2,13
PIO4	31,95±1,57	4,85±1,56	39,69±0,81	3,73±0,23	43,42±1,05	79,12±1,42	76,40±1,22
PIO5	33,63±1,35	2,26±0,64	36,44±0,44	1,45±0,19	37,89±0,25	85,77±3,53	82,13±3,04
PIM1	27,64±1,11	7,53±0,51	36,21±0,11	3,12±0,38	39,33±0,50	58,78±1,17	58,87±1,01
PIM2	30,50±0,07	2,76±0,51	36,38±0,99	3,31±0,95	39,69±0,04	58,60±0,80	58,72±0,69
PIM3	28,13±0,89	4,98±1,00	37,91±0,82	4,07±0,66	41,98±0,16	62,89±1,64	62,41±1,41
PIM4	31,32±1,95	4,25±0,52	35,65±0,33	2,72±0,71	38,36±0,39	59,03±0,25	59,08±0,21
PIM5	21,49±0,41	4,04±1,25	27,37±1,00	1,55±0,15	28,92±0,84	55,82±1,19	56,31±1,02
PIM6	22,80±0,57	5,76±0,29	28,79±0,54	5,32±0,73	34,11±0,19	59,34±3,30	59,35±2,85
PIM7	22,90±0,66	7,68±1,97	33,06±0,16	5,31±0,40	38,37±0,24	60,31±0,83	60,19±0,71
PIM8	24,60±0,22	7,83±2,33	32,04±0,77	5,82±1,11	37,86±0,33	53,31±1,08	54,16±0,93
PIM9	29,54±0,06	4,35±1,72	34,71±0,35	3,04±0,23	37,74±0,12	61,73±0,86	61,41±0,74
PIM10	24,31±1,63	3,46±0,57	28,15±1,67	2,23±0,10	30,38±1,77	51,77±0,62	52,82±0,53
PIMSG11	27,00±0,05	6,21±0,12	35,23±0,06	5,17±0,03	40,40±0,10	51,07±0,27	52,22±0,23
PIMSG12	24,72±0,92	5,74±0,73	28,80±0,49	9,65±0,49	38,44±0,00	54,33±4,02	55,03±3,47
PIMSG13	22,75±0,37	4,49±0,87	22,99±0,87	13,65±0,69	36,64±0,18	49,33±1,37	50,72±1,17
PIMSG14	25,55±0,09	4,71±0,12	28,87±0,53	7,12±1,44	35,99±0,91	50,93±0,64	52,10±0,56
PIM15	27,12±0,14	3,78±1,20	32,67±0,66	1,83±0,49	34,49±0,16	54,85±0,50	55,48±0,43
PIM16	26,44±0,36	3,96±0,45	31,39±0,54	2,21±0,03	33,60±0,57	49,49±1,24	50,86±1,07
PIM17	27,72±0,18	5,46±1,87	34,26±0,36	1,23±0,22	35,49±0,58	53,03±1,46	53,91±1,25
PIM18	30,06±0,00	4,15±0,83	36,25±0,80	1,24±0,16	37,49±0,64	53,36±1,35	54,20±1,16

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS: almidón de digestión total; TS: almidón total.



En este contexto, se identifican cuatro agrupamientos principales. Por un lado, el índice de hidrólisis (HI) y el índice glucémico estimado (eGI) se encuentran estrechamente relacionados. Las fracciones de almidón total (TS), almidón de digestión rápida (RDS) junto con el almidón de digestión total (TDS), muestran una orientación similar y correlación positiva con el índice de hidrólisis (HI) y el índice glucémico estimado (eGI). Finalmente, el almidón resistente (RS) y el almidón de digestión lenta (SDS) se sitúan en dos cuadrantes diferente y opuestos a los anteriores sugiriendo una relación inversa con las variables. Estos resultados ponen de manifiesto una clara oposición funcional entre el almidón resistente (RS) y el almidón de digestión lenta (SDS) en comparación con los indicadores de respuesta glucémica (HI y eGI), lo que respalda su papel como modular glucémico.

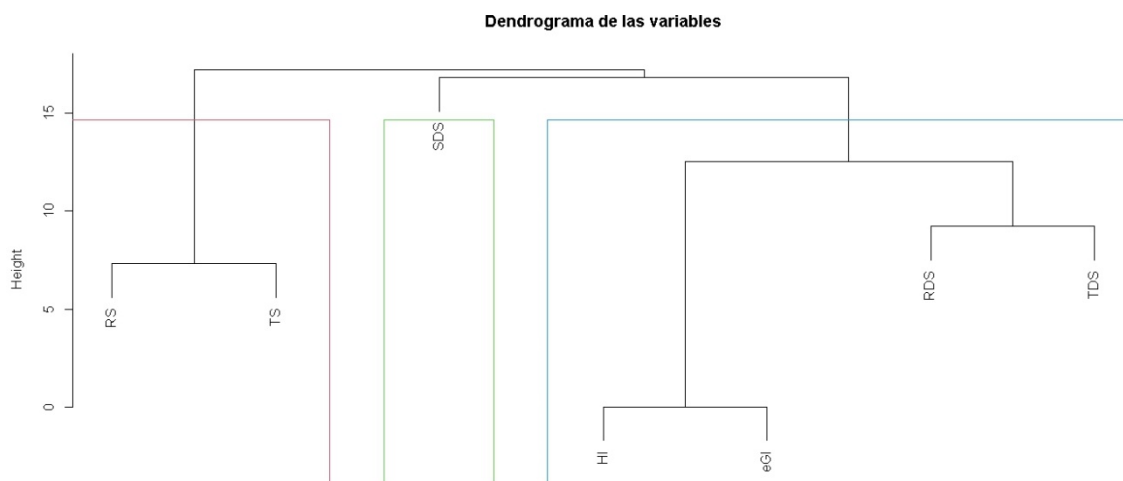
En cuanto a la distribución de las muestras, permite identificar patrones de similitud y diferenciación en función de la composición nutricional. Las muestras más próximas entre sí son las que presentan características similares en cuanto a las variables de estudio. Se observa una tendencia de agrupamiento en función del tipo de muestra (tradicional o industrial) y el tipo de cereal (trigo, centeno, mezcla, maíz y espelta) presente en su composición. En este sentido, las muestras localizadas en el lado derecho (dimensión 1), tienden a presentar valores más altos relacionados con el índice de hidrólisis (HI), el índice glucémico estimado (eGI), el almidón total, el almidón de digestión rápida (RDS), el almidón de digestión total (TDS) y el almidón total (TS). Estas muestras se corresponden, en su mayoría, con panes elaborados con trigo y mezcla de cereales. Por el contrario, en el lado izquierdo (dimensión 2) se encuentran las muestras elaboradas con centeno, maíz y espelta, presentando valores más elevados de almidón resistente (RS) y de almidón de digestión lenta (SDS) y, por lo tanto, una menor respuesta glucémica.

#### **4.2.2. Dendrograma**

Con el objetivo de identificar patrones de semejanza entre las distintas muestras de pan y las variables determinadas, se realizó un análisis de clústeres (dendrograma), cuya representación gráfica se muestra en las Figuras 2 y 3. Para evaluar la tendencia de agrupación de los elementos en el conjunto de datos, se utilizó la estadística de Hopkins (H), basada en una hipótesis nula en la que los datos están distribuidos aleatoriamente en el espacio. Si esta hipótesis no es nula, el resultado da lugar a una partición aleatoria de los componentes analizados (Mur Güerri et al., 2010).

La Figura 2 muestra el dendrograma generado a partir de las variables utilizadas para caracterizar las muestras de pan analizadas. En la parte inferior de esta figura, se identifican tres grupos principales, representados los colores rojo, verde y azul.

*Figura 2. Dendrograma de las variables analizadas en los panes*



eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total.

El grupo rojo incluye las variables de almidón resistente (RS) y almidón total (TS), indicando una correlación positiva entre ellas. El grupo verde está compuesto por una única variable, el almidón de digestión lenta (SDS). Finalmente, la estructura interna del grupo azul es algo más compleja por la existencia de dos subgrupos: por un lado, se encuentran índice de hidrólisis (HI) y el índice glucémico estimado (eGI) unidas a una altura muy baja, indicando una alta similitud y correlación positiva entre ellas; y, por otro lado, el almidón de digestión rápida (RDS) y el almidón de digestión total (TDS). Por el contrario, la unión de los tres grupos principales ocurre a una altura considerablemente mayor, lo que sugiere menor similitud global entre los conjuntos de variables.

La Figura 3 muestra el dendrograma de las muestras analizadas, agrupadas principalmente en tres grupos principales, marcados mediante los colores rojo, verde y azul. Esta agrupación podría reflejar diferencias en el comportamiento de las muestras en relación con la respuesta glucémica. Aquellas muestras que se agrupan a una mayor altura en el dendrograma presentan una mayor diferencia entre sí, en comparación con aquellas que se encuentran a menor altura.



resultados reflejan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,005$ ) entre el contenido de almidón de digestión lenta (SDS), almidón resistente (RS) y almidón total (TS), así como el índice glucémico estimado (eGI), lo cual apunta a que exista una respuesta glucémica diferente en ambos tipos de pan.

*Tabla 5. Valores de p-valor al comparar las muestras de pan tradicional (PT) y pan industrial (PI)*

<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
0,181	< 0,001	0,254	< 0,001	< 0,001	0,005	0,005

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

Una vez identificadas las diferencias generales entre las muestras, se procede a dividir estos dos grupos en otras categorías más reducidas y así realizar un análisis más exhaustivo de las variables (Tabla 6 y Tabla 7). En el caso de las muestras de panes tradicionales (PT) se encuentran los panes tradicionales caracterizados (PTC) y los panes tradicionales no caracterizados (PTNC) mientras que, en los panes industriales (PI) cuentan con los panes industriales molde (PIM) y otros panes industriales (PIO).

En la categoría de los panes tradicionales (PT) (Tabla 6) se observan diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) principalmente en el contenido de almidón de digestión lenta (SDS) y almidón resistente (RS). No se destacan diferencias significativas en los valores del índice de hidrólisis (HI) y del índice glucémico estimado (eGI), lo cual sugiere un comportamiento similar en términos de respuesta glucémica.

*Tabla 6. Valores de p-valor al comparar las categorías de pan tradicional (PT)*

<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
0,197	< 0,001	0,057	0,002	0,236	0,162	0,162

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

En la categoría de los panes industriales (PI) (Tabla 7), las diferencias significativas ( $p < 0,005$ ) se observan en las variables de almidón de digestión rápida (RDS), almidón de digestión total (TDS), almidón total (TS), índice de hidrólisis (HI) y el índice glucémico estimado (eGI).

Tabla 7. Valores de p-valor al comparar las categorías de pan industrial (PI)

RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
< 0,001	0,563	< 0,001	0,075	< 0,001	< 0,001	< 0,001

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

Estas mismas categorías se analizaron en conjunto en la Tabla 8. Los datos obtenidos permiten observar diferencias relevantes entre las distintas categorías. Destaca que el pan tradicional caracterizado (PTC) muestra el menor contenido de almidón de digestión rápida (RDS) y uno de los índices glucémicos estimados (eGI) más bajos, lo que resulta coherente con lo descrito en la literatura, ya que un índice glucémico (GI) bajo se asocia con una menor proporción de almidón de digestión rápida (RDS), que es justo lo contrario de lo que sucede con las muestras de pan industrial otro (PIO) (Skřivan et al., 2024). En los panes tradicionales caracterizados (PTC), también se observan los niveles más altos de almidón resistente (RS), componente que influye directamente sobre el valor del índice glucémico estimado (eGI) al disminuir la respuesta glucémica posprandial, generando efectos beneficiosos para la salud (Magallanes-Cruz et al., 2017; Kahraman et al., 2019).

Tabla 8. Valores medios de los parámetros analizados y del análisis post hoc al comparar las categorías de pan tradicional (PT) y pan industrial (PI)

	RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
PTC	28,55 <sup>ab</sup>	3,13 <sup>b</sup>	33,28 <sup>b</sup>	6,79 <sup>a</sup>	40,06 <sup>ab</sup>	63,30 <sup>b</sup>	62,76 <sup>b</sup>
PTNC	27,21 <sup>b</sup>	5,66 <sup>a</sup>	34,69 <sup>b</sup>	4,29 <sup>a</sup>	38,99 <sup>bc</sup>	67,30 <sup>b</sup>	66,21 <sup>b</sup>
PIO	31,32 <sup>a</sup>	5,47 <sup>a</sup>	39,56 <sup>a</sup>	2,48 <sup>b</sup>	42,05 <sup>a</sup>	83,68 <sup>a</sup>	80,33 <sup>a</sup>
PIM	26,37 <sup>b</sup>	5,06 <sup>a</sup>	32,26 <sup>b</sup>	4,37 <sup>b</sup>	36,63 <sup>a</sup>	55,44 <sup>b</sup>	55,99 <sup>b</sup>

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total; PTC: pan tradicional caracterizado; PTNC: pan tradicional no caracterizado; PIM: pan tradicional molde; PIO: pan tradicional industrial otro. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según una prueba de Tukey post hoc.

Además, es importante considerar que la fermentación y, en particular, el uso de masa madre activa en la elaboración de los panes, puede haber influido en los valores obtenidos. En el caso de los panes tradicionales caracterizados (PTC), cuyas condiciones de elaboración se conocen, se utilizó una fermentación de larga duración, lo podría contribuir a disminuir la respuesta glucémica. Asimismo, la incorporación de masa madre en los panes tradicionales (PT), así como en algunos de los panes industriales (PI) (Anexo I), favorece una menor glucemia posprandial debido a la formación de ácidos orgánicos producidos por las bacterias, como el ácido láctico o el acético. Estos compuestos actúan retardando el vaciamiento gástrico y reduciendo la

disponibilidad del almidón, respectivamente, lo que se traduce en un menor índice glucémico estimado (eGI) (Liljeberg & Björck, 1996; Fardet et al., 2006; Scazzina et al., 2013; Stamataki et al., 2017; Terrazas-Avila et al., 2024).

Cabe destacar el pan industrial de molde (PIM) que, a pesar de su naturaleza industrial, presenta un índice glucémico estimado (eGI) notablemente más bajo de lo esperado. Esta reducción puede atribuirse, en parte, a la presencia de grasa en su composición. Las grasas tienen la capacidad de formar un complejo con el almidón, principalmente con la amilosa, dando lugar a complejos almidón-lípido. Estos complejos modifican la digestibilidad del almidón al afectar a propiedades como la gelatinización, solubilidad y la resistencia del almidón a la hidrólisis enzimática lo que, a su vez, va a provocar que se retrase el vaciamiento gástrico. Un mayor contenido de grasa tiene el potencial de retrasar el vaciamiento gástrico. Además, este tipo de productos suelen contener emulsionante, como el monoestearato de glicerol (E 471) (Anexo I), que también ha demostrado modificar la digestibilidad *in vitro* del almidón. Por otro lado, en el etiquetado de los panes industriales de molde (Anexo I), se observa la incorporación de ingredientes adicionales que contribuyen a reducir el índice glucémico (GI), como la adición de fibras dietéticas y de harinas de legumbres por contener proteínas de alta calidad y fibra dietética (Scazzina et al., 2013; Bell et al., 2015; Khatun et al., 2019; Sun et al., 2023; Pasqualoni et al., 2024). Por ello, la combinación de estos factores tecnológicos y nutricionales parecen ser los responsables de la menor respuesta glucémica obtenida en esta categoría al provocar que la digestión y absorción de la glucosa se ralenticen.

Con todo, es oportuno añadir que, a pesar del bajo índice glucémico (GI) de los panes industriales de molde (PIM), su perfil nutricional no es especialmente recomendable por ser un producto ultraprocesado rico en grasas, aceites, azúcares añadidos, sal y aditivos (Monteiro et al., 2019). El sistema de clasificación NOVA permite clasificar a estos productos en el grupo 4 y los define como “formulaciones de ingredientes, en su mayoría de uso industrial exclusivo, que resultan de una serie de procesos industriales” (Monteiro et al., 2019). Este tipo de productos están formando parte de la dieta habitual de la población y cada vez más estudios demuestran que su consumo puede llegar a ser perjudicial para la salud. El consumo de alimentos ultraprocesados se ha asociado con el desarrollo de enfermedades cardiovasculares y con un mayor riesgo de dislipidemia, cursando con hipertrigliceridemia y una disminución de los niveles de colesterol HDL. Asimismo, también se relaciona con la obesidad y con cambios en la composición corporal, como el aumento del perímetro abdominal. Además, se vincula con un mayor riesgo de desarrollar diabetes tipo II debido a una excesiva secreción de insulina que provocan estos productos.

Cualquiera de estas alteraciones metabólicas puede incrementar significativamente el aumento de mortalidad, por lo que se recomienda el consumo de alimentos mínimamente procesados para la prevención de estas enfermedades (Pagliai et al., 2021; Zhang & Giovannucci, 2022).

Además del tipo de pan y de los procesos tecnológicos implicados en su elaboración, otro factor clave que puede influir en su respuesta glucémica es el tipo de cereal empleado como ingrediente principal (Tabla 9). Los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los diferentes tipos de cereales. En particular, los panes elaborados con trigo (T) presentan uno de los mayores contenidos de almidón de digestión rápida (RDS) y el índice glucémico estimado (eGI) más elevado, lo que concuerda con lo descrito en el apartado 1.2.3 sobre el índice glucémico del pan de trigo, tal como señalan autores como Skřivan et al. (2024).

*Tabla 9. Valores medios de los parámetros analizados y del análisis post hoc al comparar los panes elaborados con los diferentes tipos de cereales*

	<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
<b>T</b>	28,00 <sup>ab</sup>	4,41 <sup>a</sup>	34,31 <sup>a</sup>	3,67 <sup>c</sup>	38,55 <sup>ab</sup>	68,46 <sup>a</sup>	67,21 <sup>a</sup>
<b>C</b>	28,66 <sup>ab</sup>	3,35 <sup>a</sup>	32,11 <sup>ab</sup>	9,38 <sup>a</sup>	41,50 <sup>a</sup>	53,66 <sup>bc</sup>	54,45 <sup>bc</sup>
<b>Mz</b>	31,04 <sup>a</sup>	2,09 <sup>a</sup>	33,39 <sup>ab</sup>	7,43 <sup>ab</sup>	40,78 <sup>a</sup>	64,91 <sup>ab</sup>	64,15 <sup>ab</sup>
<b>Ma</b>	24,99 <sup>b</sup>	5,32 <sup>a</sup>	30,34 <sup>a</sup>	8,38 <sup>a</sup>	38,71 <sup>ab</sup>	50,02 <sup>c</sup>	51,31 <sup>c</sup>
<b>E</b>	25,18 <sup>b</sup>	2,74 <sup>a</sup>	30,29 <sup>a</sup>	4,34 <sup>bc</sup>	34,62 <sup>b</sup>	51,83 <sup>c</sup>	52,88 <sup>c</sup>

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS: almidón de digestión total; TS: almidón total; C: centeno; E: espelta; Ma: maíz; Mz: mezcla de cereales; T: trigo. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según una prueba de Tukey post hoc.

Por otro lado, el centeno (C) muestra un comportamiento diferente en términos de respuesta glucémica en comparación con el trigo (T) (Tabla 9). Esta respuesta se atribuye principalmente a su mayor contenido de fibra dietética, especialmente almidón resistente (RS), ayudando a controlar la respuesta glucémica al ralentizar el vaciamiento gástrico, modular la secreción de hormonas gastrointestinales e inhibir la hidrólisis del almidón, lo que disminuye la velocidad de digestión y absorción de los productos ricos en almidón. Además, la estructura compacta de los productos elaborados con centeno (C) limita la accesibilidad enzimática al almidón, lo que también reduce la respuesta posprandial (Stamataki et al., 2017; Iversen et al., 2022; Lange et al., 2024).

De manera similar, la espelta (E) y el pan elaborado mayoritariamente con maíz (Ma) también obtuvieron resultados parecidos al centeno en términos del índice glucémico estimado (eGI) (Tabla 9). La espelta (E) es una variedad de trigo que se caracteriza por presentar mayores cantidades de fibra dietética que el trigo común, lo que explica las diferencias en la respuesta glucémica entre ambos. En cuanto al maíz (Ma), se trata del cereal con el índice glucémico estimado (eGI) más bajo y uno de los que presenta mayor contenido de almidón resistente (RS). Esto se debe principalmente a su alto contenido de amilosa, ya que contribuye a una menor respuesta glucémica y al incremento del contenido de almidón resistente (RS). Otro aspecto relevante de este cereal es que no contiene gluten, por lo que resulta adecuada para personas que padecen enfermedad celiaca, una enteropatía causada por la ingestión de gliadinas del trigo y prolaminas del centeno y la cebada (Granfeldt, et al., 1994; Mendoza & McGough, 2005; Fardet et al., 2006; Scazzina et al., 2013; Biskup et al., 2017; Kumar et al., 2018; Revilla et al., 2022).

Finalmente, es importante destacar los panes elaborados con mezcla de cereales (Mz), que incluyen trigo y centeno. Según los resultados mostrados en la Tabla 9, presenta un valor de almidón de digestión rápida (RDS) similar al pan de trigo, lo que supone un elevado índice glucémico (GI). No obstante, el índice glucémico estimado (eGI) fue inferior al del pan elaborado exclusivamente con trigo (T). Esta diferencia se atribuye principalmente al mayor contenido de almidón resistente (RS) aportado por el centeno (C). La presencia de esta fracción ralentiza la digestión del almidón modulando la respuesta glucémica posprandial (Borczak et al., 2018; Skřivan et al., 2024).

Si se agrupan las muestras en panes tradiciones (PT) (Tabla 10) y panes industriales (PI) (Tabla 11), se observa con mayor claridad la influencia del tipo de cereal en los valores obtenidos, así como el impacto de las estrategias mencionadas anteriormente para reducir la respuesta glucémica en los panes industriales (PI).

Tabla 10. Valores medios de los parámetros analizados y del análisis post hoc al comparar los tipos de cereales de las muestras de pan tradicional (PT)

	RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
<b>T</b>	27,82 <sup>ab</sup>	3,98 <sup>a</sup>	34,81 <sup>a</sup>	4,34 <sup>b</sup>	39,15 <sup>b</sup>	71,88 <sup>a</sup>	70,16 <sup>a</sup>
<b>C</b>	29,30 <sup>ab</sup>	2,86 <sup>a</sup>	32,02 <sup>ab</sup>	9,83 <sup>a</sup>	41,84 <sup>a</sup>	52,92 <sup>b</sup>	53,82 <sup>b</sup>
<b>Mz</b>	31,04 <sup>a</sup>	2,09 <sup>a</sup>	33,40 <sup>ab</sup>	7,43 <sup>ab</sup>	40,78 <sup>a</sup>	64,91 <sup>a</sup>	64,15 <sup>a</sup>
<b>Ma</b>	24,98 <sup>b</sup>	5,33 <sup>a</sup>	31,25 <sup>b</sup>	8,03 <sup>a</sup>	39,28 <sup>a</sup>	49,09 <sup>b</sup>	50,51 <sup>b</sup>
<b>E</b>	25,65 <sup>b</sup>	2,74 <sup>a</sup>	30,29 <sup>b</sup>	4,34 <sup>b</sup>	36,62 <sup>b</sup>	51,83 <sup>b</sup>	53,88 <sup>b</sup>

RDS: almidón de digestión rápida; SDS: almidón de digestión lenta; TDS: almidón de digestión total; RS: almidón resistente; TS: almidón total; HI: índice de hidrólisis; eGI: estimación índice glucémico; T: trigo; C: centeno; Mz: mezcla de cereales; Ma: maíz; E: espelta. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según una prueba de Tukey post hoc.

Tabla 11. Valores medios de los parámetros analizados y del análisis post hoc al comparar los tipos de cereales de las muestras de pan industrial (PI)

	RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
<b>T</b>	28,24 <sup>a</sup>	4,98 <sup>a</sup>	34,97 <sup>a</sup>	2,78 <sup>b</sup>	37,75 <sup>a</sup>	63,91 <sup>a</sup>	63,29 <sup>a</sup>
<b>C</b>	22,89 <sup>a</sup>	7,68 <sup>a</sup>	33,06 <sup>a</sup>	5,31 <sup>b</sup>	38,37 <sup>a</sup>	60,31 <sup>a</sup>	60,19 <sup>a</sup>
<b>Ma</b>	25,00 <sup>a</sup>	5,29 <sup>a</sup>	28,97 <sup>a</sup>	8,90 <sup>a</sup>	37,87 <sup>a</sup>	51,42 <sup>a</sup>	52,52 <sup>a</sup>

RDS: almidón de digestión rápida; SDS: almidón de digestión lenta; TDS: almidón de digestión total; RS: almidón resistente; TS: almidón total; HI: índice de hidrólisis; eGI: estimación índice glucémico; T: trigo; C: centeno; Mz: mezcla de cereales; Ma: maíz. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según una prueba de Tukey post hoc.

Como se mencionó anteriormente, el maíz es un cereal adecuado para la elaboración de pan sin gluten (Revilla et al., 2022), motivo por el cual se analizaron diferentes panes industriales de molde sin gluten (PIMSG). Estos se compararon con el resto de los panes industriales de molde (PIM), con el fin de determinar si existían diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto a su composición (Tabla 12). Los resultados mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en términos de almidón de digestión total (TDS), almidón resistente (RS), índice de hidrólisis (HI) e índice glucémico estimado (eGI). En concreto, los panes industriales de molde sin gluten (PIMSG) presentaron un mayor contenido de almidón resistente y valores inferiores de índice de hidrólisis (HI) y del índice glucémico estimado (eGI).

Sin embargo, a pesar de estos valores, este tipo de productos se caracteriza por presentar un índice glucémico (GI) elevado en muchos casos, debido a que los almidones y las harinas sin gluten empleados en su formulación apenas presentan fibra, micronutrientes o proteínas, mientras que presenta elevadas cantidades de grasa, lo que repercute negativamente en su calidad nutricional. Por ello, se pretende mejorar el perfil nutricional de estos productos mediante la adición de ingredientes ricos en fibra o en proteína, tal y como se muestra en el

Anexo I. Otro factor importante es el hecho de que los panes sin gluten se elaboran principalmente a base de maíz y, como bien se comentó anteriormente, el maíz presenta grandes cantidades de amilosa en su composición. Esta característica favorece la interacción con los lípidos presentes, lo que contribuye también a disminuir la respuesta glucémica final del producto (Granfeldt, et al., 1994; Scazzina et al., 2013; Khatun et al., 2019; Romão et al., 2021; Di Cairano et al., 2022).

En conjunto, estos factores explican el porqué de los resultados obtenidos en la Tabla 12 de los panes industriales de molde sin gluten (PIMSG) en comparación con el resto de los panes industriales de molde (PIM), especialmente en lo que respecta a su índice glucémico estimado (eGI) y cantidad de almidón resistente (RS) a pesar de sus carencias nutricionales. No obstante, es importante destacar que los panes industriales de molde sin gluten (PIMSG) también pertenecen al grupo de los alimentos ultraprocesados y que, a pesar de los resultados obtenidos, pueden llegar a ser igual de perjudiciales para la salud que los panes industriales de molde (PIM), debido a su perfil nutricional desfavorable y el uso de ingredientes y aditivos característicos de este tipo de productos.

*Tabla 12. Valores de p-valor al comparar los panes industriales de molde (PIM) con gluten y sin gluten*

<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
0,138	0,674	0,006	< 0,001	0,24	0,002	0,002

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS: almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

Otro factor importante para valorar los resultados obtenidos es el grado de refinamiento de la harina utilizada. En este sentido, se compararon panes elaborados con harina integral frente a panes no integrales (Tabla 13). De los resultados obtenidos se observan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en el contenido de almidón de digestión rápida (RDS), almidón de digestión lenta (SDS), almidón resistente (RS) y almidón total (TS). En cambio, el índice de hidrólisis (HI) y el índice glucémico estimado (eGI), no presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ). Esto podría deberse al hecho de que el número de muestras integrales analizadas es muy reducido (4 muestras) en comparación con el número total de muestras.

Tabla 13. Valores de p-valor al comparar panes integrales y no integrales

RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
< 0,001	0,030	0, 076	0,038	< 0,001	0,888	0,888

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

Según la literatura, los productos elaborados con grano entero o integral ofrecen mayores beneficios para la salud en comparación con aquellos elaborados con harinas refinadas, ya que contienen mayores cantidades de vitaminas y minerales, además de ser una fuente importante de fibra dietética. En este sentido, varios estudios han demostrado que el índice glucémico (GI) de los panes elaborados con grano entero es significativamente menor que el de los panes elaborados con harinas refinadas. Esto se atribuye principalmente a la fibra dietética, ya que ayuda a reducir los niveles de glucemia posprandiales al retardar el vaciado gástrico y ralentizar la digestión de los hidratos de carbono y la absorción de glucosa (Scazzina et al., 2013; Koksel et al., 2023; Lange et al., 2024).

Por otra parte, en las muestras de pan tradicional caracterizado (PTC), se evaluó a mayores la posible influencia del porcentaje de harina autóctona empleada en su elaboración (100% o 25%) y el método de cultivo (ecológico o convencional) sobre las variables determinadas.

Los resultados obtenidos en la Tabla 14 muestran que el porcentaje de harina autóctona empleada en las muestras de trigo no tuvo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) sobre las variables, exceptuando el índice de hidrólisis (HI) y el índice glucémico estimado (eGI). Estos resultados sugieren que el porcentaje de harina autóctona influye sobre la velocidad de digestión del almidón y, en consecuencia, sobre la respuesta glucémica.

Tabla 14. Valores medios de los parámetros analizados y del análisis post hoc al comparar el porcentaje de harina autóctona de las muestras de trigo

RDS	SDS	TDS	RS	TS	HI	eGI
0,768	0,700	0, 368	0,599	0,278	< 0,001	< 0,001

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

En concreto, el uso del 100% de harina autóctona mejora el perfil nutricional de este tipo de panes en comparación con el uso del 25%, debido a que presentan mayor contenido de proteínas, grasas, hidratos de carbono complejos y micronutrientes esenciales en nuestra

alimentación. Además, se ha demostrado que los productos con un 100% de harina autóctona presentan mayores cantidades de fibra dietética, lo que contribuye principalmente a la disminución de los niveles de glucosa posprandiales (Scazzina et al., 2013; España-Fariñas et al., 2025).

Los resultados obtenidos en la comparación entre el porcentaje de harina autóctona de las muestras de centeno (Tabla 15), presenta diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en las fracciones de almidón de digestión rápida (RDS), almidón de digestión lenta (SDS) y almidón resistente (RS) y, a su vez, en el índice de hidrólisis (HI) y en el índice glucémico estimado (eGI).

*Tabla 15. Valores de p-valor al comparar el porcentaje de harina autóctona de las muestras de centeno*

<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
0,033	0,063	0,39	0,02	0,566	< 0,001	< 0,001

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS: almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

Pese a la escasez de bibliografía específica sobre el uso de harina autóctona de centeno, estos datos podrían evidenciar que el uso de 100% de harina autóctona de centeno influye directamente en estas variables, probablemente debido al gran aporte de fibra dietética de este tipo de cereal (Iversen et al., 2022). En este sentido, el uso de 100% de harina autóctona supone una ventaja frente a las formulaciones de 75%, ya que estas se combinan con harina de trigo foráneo. Esta mezcla, seguramente tienda a disminuir la cantidad total de fibra dietética proporcionada por el centeno. Por el contrario, su aplicación íntegra permite mantener las características de este cereal.

La Tabla 16 presenta los valores obtenidos de la comparación realizada entre los diferentes métodos de cultivo (ecológico y convencional) empleados para la elaboración de los panes tradicionales caracterizados (PTC) en función de las variables determinadas. Ninguno de los valores obtenidos muestra diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), lo que sugiere que el método de cultivo no influye directamente en las fracciones de almidón ni en la respuesta glucémica.

*Tabla 16. Valores de p-valor al comparar los métodos de cultivo*

<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
0,876	0,644	0,674	0,997	0,757	0,215	0,215

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

Tras este análisis, se separaron los resultados en función del tipo de cereal utilizado en la elaboración de los panes tradicionales caracterizados (PTC), diferenciando trigo (T) y centeno (C). Tal y como se muestra en la Tabla 17 y en la Tabla 18, tampoco existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en relación con el método de cultivo utilizado.

*Tabla 17. Valores de p-valor al comparar los métodos de cultivo de las muestras de trigo*

<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
0,815	0,211	0,877	0,831	0,947	0,162	0,162

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

*Tabla 18. Valores de p-valor al comparar los métodos de cultivo de las muestras de centeno*

<b>RDS</b>	<b>SDS</b>	<b>TDS</b>	<b>RS</b>	<b>TS</b>	<b>HI</b>	<b>eGI</b>
0,579	0,335	0,605	0,943	0,717	0,155	0,155

eGI: índice glucémico estimado; HI: índice de hidrólisis; RDS: almidón de digestión rápida; RS: almidón resistente; SDS: almidón de digestión lenta; TDS; almidón de digestión total; TS: almidón total. Un p valor < 0,05 se consideró estadísticamente significativo.

A pesar de que no se han obtenido diferencias, cabe destacar que los cultivos ecológicos favorecen a que estas variedades tradicionales de trigo y de centeno se adapten mejor a las condiciones de cultivo, además de representar una estrategia para proteger y mejorar la biodiversidad, aportando beneficios ambientales y agronómicos. A su vez, diversos estudios han reportado que el pan elaborado con harina ecológica muestra valores más altos de fibra dietética (Cámara-Salim et al., 2020; Fernández-Canto et al., 2024; España-Fariñas et al., 2025), lo que podría influir positivamente en su calidad nutricional y en la respuesta glucémica.

## 5. CONCLUSIONES

- Existen diferencias tanto en la composición como en la respuesta glucémica entre los panes tradicionales (PT) y los panes industriales (PI), destacando principalmente los panes tradicionales debido a su perfil nutricional más favorable.
- Los panes que presentan mayores cantidades de almidón de digestión rápida (RDS) tienen una mayor respuesta glucémica, mientras que el almidón de digestión lenta (SDS) y el almidón resistente (RS) disminuyen la respuesta glucémica del pan y aportan beneficios para la salud.
- Existen estrategias para reducir el índice glucémico (GI) de los panes, como la adición de ingredientes ricos en fibra dietética o harinas de legumbres, así como el uso de masa madre y largos tiempos de fermentación.
- Aunque la presencia de grasa modifica la respuesta glucémica al ralentizar el vaciamiento gástrico, no se considera una estrategia nutricional adecuada para reducir el índice glucémico de este tipo de productos. Un mayor contenido de grasa empeora el perfil nutricional del mismo y puede contribuir al desarrollo de enfermedades como la enfermedad cardíaca, la obesidad o la diabetes mellitus.
- Los cereales utilizados para la elaboración del pan modifican la respuesta glucémica, destacando principalmente el centeno o el maíz por presentar grandes cantidades de almidón resistente (RS), que contribuyen a reducir la respuesta glucémica posprandial.
- Los productos elaborados con cereales de grano entero o integrales ayudan a reducir la respuesta glucémica gracias a su mayor cantidad de fibra dietética y almidón resistente (RS), además de ser una buena fuente de minerales y vitaminas.
- Los panes tradicionales caracterizados (PTC), elaborados con un 100% de harina autóctona, presentan un perfil nutricional más completo, ya que aportan proteínas, grasas saludables, hidratos de carbono complejos y micronutrientes esenciales. Su elevado contenido en fibra dietética no solo mejora la calidad nutricional, sino que también contribuye a una menor respuesta glucémica, lo que puede tener un efecto positivo en la prevención de enfermedades metabólicas.
- No se observaron diferencias significativas entre el método de cultivo empleado, pero se recomienda el método ecológico por sus beneficios ambientales.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Alegría, A., Garcia-Llatas, G., & Cilla, A. (2015). Static digestion models: General introduction. In *The Impact of Food Bioactives on Health: In Vitro and Ex Vivo Models* (pp. 3–12). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16104-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16104-4_1)
- Argyri, K., Athanasatou, A., Bouga, M., & Kapsokefalou, M. (2016). The potential of an in vitro digestion method for predicting glycemic response of foods and meals. *Nutrients*, *8*(4). <https://doi.org/10.3390/nu8040209>
- Augustin, L. S. A., Kendall, C. W. C., Jenkins, D. J. A., Willett, W. C., Astrup, A., Barclay, A. W., Björck, I., Brand-Miller, J. C., Brighenti, F., Buyken, A. E., Ceriello, A., La Vecchia, C., Livesey, G., Liu, S., Riccardi, G., Rizkalla, S. W., Sievenpiper, J. L., Trichopoulou, A., Wolever, T. M. S., ... Poli, A. (2015). Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC). *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, *25*(9), 795–815. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2015.05.005>
- Bell, K. J., Smart, C. E., Steil, G. M., Brand-Miller, J. C., King, B., & Wolpert, H. A. (2015). Impact of fat, protein, and glycemic index on postprandial glucose control in type 1 diabetes: Implications for intensive diabetes management in the continuous glucose monitoring era. *Diabetes Care*, *38*(6), 1008–1015. <https://doi.org/10.2337/dc15-0100>
- Birt, D. F., Boylston, T., Hendrich, S., Jane, J.-L., Hollis, J., Li, L., McClelland, J., Moore, S., Phillips, G. J., Rowling, M., Schalinske, K., Scott, M. P., & Whitley, E. M. (2013). Resistant starch: promise for improving human health. *Adv. Nutr.: Int. Rev. J*, *4*, 587–601.
- Biskup, I., Gajcy, M., & Fecka, I. (2017). The potential role of selected bioactive compounds from spelt and common wheat in glycemic control. In *Advances in Clinical and Experimental Medicine* (Vol. 26, Issue 6, pp. 1015–1021). Wrocław University of Medicine. <https://doi.org/10.17219/acem/61665>
- Borczak, B., Sikora, M., Sikora, E., Dobosz, A., & Kapusta-Duch, J. (2018). Glycaemic index of wheat bread. In *Starch/Staerke* (Vol. 70, Issues 1–2). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/star.201700022>
- Brand-Miller, J., Dickinson, S., Barclay, A., & Celermajer, D. (2007). *The Glycemic Index and Cardiovascular Disease Risk*.
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., & Recio, I. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*.

- Câmara-Salim, I., Almeida-García, F., González-García, S., Romero-Rodríguez, A., Ruíz-Norgueiras, B., Pereira-Lorenzo, S., Feijoo, G., & Moreira, M. T. (2020). *Life cycle assessment of autochthonous varieties of wheat and artisanal bread production in Galicia, Spain*. 713.
- Dávila León, R., González-Vázquez, M., Lima-Villegas, K. E., Mora-Escobedo, R., & Calderón-Domínguez, G. (2024). In vitro gastrointestinal digestion methods of carbohydrate-rich foods. In *Food Science and Nutrition* (Vol. 12, Issue 2, pp. 722–733). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3841>
- Demirkesen-Bicak, H., Arici, M., Yaman, M., Karasu, S., & Sagdic, O. (2021). Effect of different fermentation condition on estimated glycemic index, in vitro starch digestibility, and textural and sensory properties of sourdough bread. *Foods*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/foods10030514>
- Di Cairano, M., Tchenbou-Magaia, F. L., Condelli, N., Cela, N., Ojo, C. C., Radecka, I., Dunmore, S., & Galgano, F. (2022). Glycaemic Index of Gluten-Free Biscuits with Resistant Starch and Sucrose Replacers: An In Vivo and In Vitro Comparative Study. *Foods*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/foods11203253>
- Englyst, K. N., Kingman, S. M., & Cummings J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal Clinic Nutritions*, 46, 33–50.
- España-Fariñas, M. P., Camba-Carrión, J., García-Gómez, M. B., Vázquez-Odériz, M. L., Lombardero-Fernández, M., Pereira-Lorenzo, S., Urquijo-Zamora, L., Cobos, Á., Díaz, O., & Romero-Rodríguez, M. Á. (2025). Influence of Cultivation System and Proportion of Local Cultivars ‘Caaveiro’ and ‘Callobre’ in Flour Mixtures on the Nutritional Quality of Galician Bread. *Foods*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/foods14101712>
- Fardet, A., Leenhardt, F., Lioger, D., Scalbert, A., & Rémésy, C. (2006). Parameters controlling the glycaemic response to breads. *Nutrition Research Reviews*, 19(1), 18–25. <https://doi.org/10.1079/nrr2006118>
- Fernández-Canto, N., García-Gómez, M. B., Vázquez-Odériz, M. L., Lombardero-Fernández, M., Pereira-Lorenzo, S., Cobos, Á., Díaz, O., Vázquez, M., & Romero-Rodríguez, M. Á. (2024). Impact of organic and conventional farming practices on the multidimensional characteristics of flour and indirectly on bread. *LWT*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116807>
- Ferrer-Mairal, A., Peñalva-Lapuente, C., Iglesia, I., Urtasun, L., De Miguel-Etayo, P., Remón, S., Cortés, E., & Moreno, L. A. (2012). In vitro and in vivo assessment of the glycemic index of bakery products: Influence of the reformulation of ingredients. *European Journal of Nutrition*, 51(8), 947–954. <https://doi.org/10.1007/s00394-011-0272-6>

- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sáñchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: a review. *Food Res. Int.*, *43*, 931–942.
- Fundación Española de la Nutrición (FEN). (2019). *Tu elección saludable. Guía de alimentación*.
- Germaine, K. A., Samman, S., Fryirs, C. G., Griffiths, P. J., Johnson, S. K., & Quail, K. J. (2008). Comparison of in vitro starch digestibility methods for predicting the glycaemic index of grain foods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *88*(4), 652–658.
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. In *Nutrition Research* (Vol. 17, Issue 3). Elsevier Science Inc.
- Gonzalez-Anton, C., Rico, M. C., Sanchez-Rodriguez, E., Ruiz-Lopez, M. D., Gil, A., & Mesa, M. D. (2015). Glycemic responses, appetite ratings and gastrointestinal hormone responses of most common breads consumed in Spain. A randomized control trial in healthy humans. *Nutrients*, *7*(6), 4033–4053. <https://doi.org/10.3390/nu7064033>
- Granfeldt, Y., Björck, I., Liljeberg, H., Tovar, J., & Asp, N. G. (1994). Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *American Journal of Clinical Nutrition*, *59*(3 SUPPL.). <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.3.699S>
- Granfeldt, Y., Liljeberg, H., Drews, A., Newman, R., & Björck, I. (1994). Glucose and Insulin responses to barley products: influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *59*(5), 1075–1082.
- Herrero Ayuso, E., Marín Jerez, E., Sainz de Medrano Moreno, M., Jimeno García, C., & Muñoz López, A. (2021). *El pan te hace engordar, o no. Monográfico acerca del uso de pan en la dieta*. <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/el-pan-te-hace-engordar-o-no-monografico-acerca-del-uso-de-pan-en-la-dieta/>
- Hoover, R. (1995). Starch retrogradation. *Food Reviews International*, *11*, 331–346.
- Hu, J. L., Nie, S. P., Min, F. F., & Xie, M. Y. (2013). Artificial simulated saliva, gastric and intestinal digestion of polysaccharide from the seeds of *Plantago asiatica* L. *Carbohydrate Polymers*, *92*(2), 1143–1150. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.10.072>
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 26642:2010 – Food products – Determination of the glycaemic index (GI) and recommendation for food classification. *ISO*.
- Iversen, K. N., Jonsson, K., & Landberg, R. (2022). The Effect of Rye-Based Foods on Postprandial Plasma Insulin Concentration: The Rye Factor. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.868938>
- Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Augustin, L. S. A., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins, A. L., & Axelsen, M. (2002). Glycemic index: Overview of implications in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, *76*(1). <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.266s>

- Jenkins, D., Wolever TM, Taylor RH, Barker H, Fielden H, & Baldwin JM. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 34(3), 362–366.
- Kahraman, K., Aktas-Akyildiz, E., Ozturk, S., & Koksel, H. (2019). Effect of different resistant starch sources and wheat bran on dietary fibre content and in vitro glycaemic index values of cookies. *Journal of Cereal Science*, 90. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102851>
- Khalafi, M., Symonds, M. E., Ghasemi, F., Rosenkranz, S. K., Rohani, H., & Sakhaei, M. H. (2023). The effects of exercise training on postprandial glycemia and insulinemia in adults with overweight or obesity and with cardiometabolic disorders: A systematic review and meta-analysis. In *Diabetes Research and Clinical Practice* (Vol. 201). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2023.110741>
- Khatun, A., Waters, D. L. E., & Liu, L. (2019). A Review of Rice Starch Digestibility: Effect of Composition and Heat-Moisture Processing. In *Starch/Staerke* (Vol. 71, Issues 9–10). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/star.201900090>
- Koksel, H., Cetiner, B., Shamanin, V. P., Tekin-Cakmak, Z. H., Pototskaya, I. V., Kahraman, K., Sagdic, O., & Morgounov, A. I. (2023). Quality, Nutritional Properties, and Glycemic Index of Colored Whole Wheat Breads. *Foods*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/foods12183376>
- Kumar, A., Sahoo, U., Baisakha, B., Okpani, O. A., Ngangkham, U., Parameswaran, C., Basak, N., Kumar, G., & Sharma, S. G. (2018). Resistant starch could be decisive in determining the glycemic index of rice cultivars. *Journal of Cereal Science*, 79, 348–353. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.11.013>
- Lal, M. K., Singh, B., Sharma, S., Singh, M. P., & Kumar, A. (2021). Glycemic index of starchy crops and factors affecting its digestibility: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, 741–755. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.067>
- Lange, E., Pałkowska-Goździk, E., & Kęszycka, P. (2024). The Influence of Various Types of Functional Bread on Postprandial Glycemia in Healthy Adults. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/app142411900>
- Lanzerstorfer, P., Lugmayr, O., Stadlbauer, V., & Höglinger, O. (2018). Effects of Various Commercial Whole-Grain Breads on Postprandial Blood Glucose Response and Glycemic Index in Healthy Subjects. *Healthy Subjects. Austin J Clin Med*, 5(1). [www.austinpublishinggroup.com](http://www.austinpublishinggroup.com)
- Lavandeira, E. (2024). Pan Gallego. In *Oberon*. Oberon. Grupo Anaya.
- Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. *J. Stat. Softw.*, 25, 1–18.

- Li, C., & Hu, Y. (2022). In vitro and animal models to predict the glycemic index value of carbohydrate-containing foods. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 16–24. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.12.031>
- Liljeberg, H., & Björck, I. (1996). Delayed gastric emptying rate as a potential mechanism for lowered glycemia after eating sourdough bread: studies in humans and rats using test products with added organic acids or an organic salt. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 64, 886–893.
- Livesey, G., Taylor, R., Hulshof, T., & Howlett, J. (2008). *Glycemic response and health-a systematic review and meta-analysis: relations between dietary glycemic properties and health outcomes 1-5*.
- Ludwig, D. S. (2002). *The Glycemic Index Physiological Mechanisms Relating to Obesity, Diabetes, and Cardiovascular Disease*. [www.jama.com](http://www.jama.com)
- Magallanes-Cruz, P. A., Flores-Silva, P. C., & Bello-Perez, L. A. (2017). Starch Structure Influences Its Digestibility: A Review. In *Journal of Food Science* (Vol. 82, Issue 9, pp. 2016–2023). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13809>
- Mataix Verdú, J., & Sánchez de Medina, F. (2009). Hidratos de carbono. In *Tratado de Nutrición y Alimentación*, 77–83.
- Megazyme. (2023). *Digestible and Resistant Starch Assay Protocol (K-DSTRS 07/23)*.
- Mendoza, N., & McGough, N. (2005). Coeliac disease: An overview. *Nutrition & Food Science*, 35(3), 156–162.
- Meynier, A., Goux, A., Atkinson, F., Brack, O., & Vinoy, S. (2015). Postprandial glycaemic response: How is it influenced by characteristics of cereal products? *British Journal of Nutrition*, 113(12), 1931–1939. <https://doi.org/10.1017/S0007114515001270>
- Ministerio de Agricultura, P. y A. (2018). *Pliego de condiciones de la Indicación Geográfica Protegida (I.G.P) “Pan Galego”/ “Pan Gallego.”* [https://www.mapa.gob.es/images/es/pan\\_gallego\\_2018\\_05\\_01\\_tcm30-524592.pdf](https://www.mapa.gob.es/images/es/pan_gallego_2018_05_01_tcm30-524592.pdf)
- Ministerio de Agricultura, P. y A. (MAPA). (2014). *Pan Blanco*. [https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/pan%20blanco\\_tcm37-102661.pdf](https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/pan%20blanco_tcm37-102661.pdf)
- Ministerio de Agricultura, P. y Alimentación. (2025). *Informe del consumo alimentario en España 2024*. [www.mapa.gob.es](http://www.mapa.gob.es)<https://servicio.mapa.gob.es/tienda/>
- Monteiro, C. A., Cannon, G., Levy, R. B., Moubarac, J. C., Louzada, M. L. C., Rauber, F., Khandpur, N., Cediel, G., Neri, D., Martinez-Steele, E., Baraldi, L. G., & Jaime, P. C. (2019). Ultra-processed foods: What they are and how to identify them. In *Public Health Nutrition* (Vol.

- 22, Issue 5, pp. 936–941). Cambridge University Press.  
<https://doi.org/10.1017/S1368980018003762>
- Mulet-Cabero, A. I., Egger, L., Portmann, R., Ménard, O., Marze, S., Minekus, M., Le Feunteun, S., Sarkar, A., Grundy, M. M. L., Carrière, F., Golding, M., Dupont, D., Recio, I., Brodkorb, A., & Mackie, A. (2020). A standardised semi-dynamic: in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. *Food and Function*, *11*(2), 1702–1720.  
<https://doi.org/10.1039/c9fo01293a>
- Mur Güerri, A. R., Dormido, R., Natividad, C., & Carralero, D. (2010). *Herramienta de análisis de validez de procesos de clustering*.
- Murcia, J. L. (2011). Alimentación en España. El pan en la base de la dieta mediterránea. *Distribución y Consumo*, 64–68.
- Ni, C., Jia, Q., Ding, G., Wu, X., & Yang, M. (2022). Low-Glycemic Index Diets as an Intervention in Metabolic Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. In *Nutrients* (Vol. 14, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14020307>
- Nordlund, E., Katina, K., Mykkänen, H., & Poutanen, K. (2016). Distinct characteristics of rye and wheat breads impact on their in vitro gastric disintegration and in vivo glucose and insulin responses. *Foods*, *5*(2), 1–13. <https://doi.org/10.3390/foods5020024>
- Pagliai, G., Dinu, M., Madarena, M. P., Bonaccio, M., Iacoviello, L., & Sofi, F. (2021). Consumption of ultra-processed foods and health status: A systematic review and meta-Analysis. In *British Journal of Nutrition* (Vol. 125, Issue 3, pp. 308–318). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0007114520002688>
- Pasqualoni, I., Tolve, R., Simonato, B., & Bianchi, F. (2024). The Impact of Selected Ingredients on the Predicted Glycemic Index and Technological Properties of Bread. *Foods*, *13*(16). <https://doi.org/10.3390/foods13162488>
- Pérez, S., & Bertoft, E. (2010). The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. In *Starch/Staerke* (Vol. 62, Issue 8, pp. 389–420). <https://doi.org/10.1002/star.201000013>
- Raheli}, D., Jenkins, A., Bòikov, V., Pavi}, E., Juri}, K., Fairgrieve, C., Romi}, D., Koki}, S., & Vuksan, V. (2011). Glycemic Index in Diabetes. In *Coll. Antropol* (Vol. 35).
- Reglamento de Ejecución (UE) 2019/2182 de La Comisión de de 16 de Diciembre de 2019 El Que Se Inscribe Un Nombre En El Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas «Pan Galego»/«Pan Gallego» (IGP) (2019).
- Revilla, P., Alves, M. L., Andelković, V., Balconi, C., Dinis, I., Mendes-Moreira, P., Redaelli, R., Ruiz de Galarreta, J. I., Vaz Patto, M. C., Žilić, S., & Malvar, R. A. (2022). Traditional Foods From

- Maize (*Zea mays* L.) in Europe. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.683399>
- Romão, B., Falcomer, A. L., Palos, G., Cavalcante, S., Botelho, R. B. A., Nakano, E. Y., Raposo, A., Shakeel, F., Alshehri, S., Mahdi, W. A., & Zandonadi, R. P. (2021). Glycemic index of gluten-free bread and their main ingredients: A systematic review and meta-analysis. In *Foods* (Vol. 10, Issue 3). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/foods10030506>
- Scazzina, F., Siebenhandl-Ehn, S., & Pellegrini, N. (2013). The effect of dietary fibre on reducing the glycaemic index of bread. In *British Journal of Nutrition* (Vol. 109, Issue 7, pp. 1163–1174). <https://doi.org/10.1017/S0007114513000032>
- Skřivan, P., Sluková, M., Sinica, A., Bleha, R., Švec, I., Šárka, E., & Pourová, V. (2024). Glycaemic Index of Bakery Products and Possibilities of Its Optimization. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 14, Issue 14). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app14146070>
- Sociedad Española de Nutrición Comunitaria. (2011). Objetivos nutricionales para la población española. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 17(4), 178–199.
- Stamataki, N. S., Yanni, A. E., & Karathanos, V. T. (2017). Bread making technology influences postprandial glucose response: A review of the clinical evidence. In *British Journal of Nutrition* (Vol. 117, Issue 7, pp. 1001–1012). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S0007114517000770>
- Sulung, N. K., Aziss, N., 'Aqilah S. M., Kutbi, N. F., Ahadaali, A. A., Zairi, N. A., Mahmud, I. I., Sajak, A. A. B., Sultana, S., & Azlan, A. (2023). Validation of in vitro glycaemic index (eGI) and glycaemic load (eGL) based on selected baked products, beverages, and canned foods. *Food Chemistry Advances*, 3, 100502. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHA.2023.100502>
- Sun, S., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., Ban, X., Li, Z., & Li, C. (2023). Different starch varieties influence the complexing state and digestibility of the resulting starch-lipid complexes. *Food Hydrocolloids*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108679>
- Terrazas-Avila, P., Palma-Rodríguez, H. M., Navarro-Cortez, R. O., Hernández-Urbe, J. P., Piloni-Martini, J., & Vargas-Torres, A. (2024). The effects of fermentation time on sourdough bread: An analysis of texture profile, starch digestion rate, and protein hydrolysis rate. *Journal of Texture Studies*, 55(2). <https://doi.org/10.1111/jtxs.12831>
- Vamadevan, V., & Bertoft, E. (2015). Structure-function relationships of starch components. In *Starch/Staerke* (Vol. 67, Issues 1–2, pp. 55–68). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/star.201400188>

- Vega-López, S., Venn, B. J., & Slavin, J. L. (2018). Relevance of the Glycemic Index and Glycemic Load for Body Weight, Diabetes, and Cardiovascular Disease. *Nutrients*, *10*(10), 1361. <https://doi.org/10.3390/nu10101361>
- Wolever, T., & Jenkins, D. (1986). *The use of the glycemic index in predicting the blood glucose response to mixed meals.*
- Wolever, T., Jenkins, D., Vuksan, V., Jenkins, A., Buckley, G., Wong, G., & Josse RG. (1992). Beneficial effect of a low glycaemic index diet in type 2 diabetes. *Diabet Med*, *9*, 451–458.
- Wolter, A., Hager, A. S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2014). Influence of sourdough on in vitro starch digestibility and predicted glycemic indices of gluten-free breads. *Food and Function*, *5*(3), 564–572. <https://doi.org/10.1039/c3fo60505a>
- Xavier, A. A., & Mariutti, L. R. (2021). Static and semi-dynamic in vitro digestion methods: state of the art and recent achievements towards standardization. In *Current Opinion in Food Science* (Vol. 41, pp. 260–273). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.08.002>
- Yeh, S.-T. (2002). *Using Trapezoidal Rule for the Area Under a Curve Calculation.*
- Yubero, I. D. (2011). *Alimentación en España. Historia y presente del pan. Importancia alimentaria y cualidades nutricionales.*
- Zhang, Y., & Giovannucci, E. L. (2022). Ultra-processed foods and health: a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(31), 10836–10848.

## ANEXO I

### ETIQUETADO E INFORMACIÓN NUTRICIONAL DE LAS MUESTRAS DE PAN INDUSTRIAL

<b>Muestra</b>	<b>Ingredientes</b>	<b>Información nutricional (por 100 g de muestra)</b>
<b>PIO1</b>	Harina de trigo, agua, sal, levadura, antiaglomerante (E 170), antioxidante (E 300) y enzimas.	Energía: 312 kcal Grasas: 2,7 g Ácidos grasos saturados: 0,4 g Hidratos de carbono: 59,4 g Azúcares: 0,5 g Fibra alimentaria: 2 g Proteínas: 2 g Sal: 1,5 g
<b>PIO2</b>	Harina integral de trigo, agua, sal, levadura, aceite de girasol, antiaglomerante (E 170), antioxidante (E 300) y enzimas.	Energía: 313 kcal Grasas: 2,1 g Ácidos grasos saturados: 0,4 g Hidratos de carbono: 62 g Azúcares: 3 g Proteínas: 11 g Sal: 1,3 g
<b>PIO3</b>	Harina de trigo, agua, harina de centeno, masa madre inactiva de centeno, levadura, malta, sal, jarabe de glucosa y fructosa, aceite de girasol, antiaglomerante (E170) antioxidante (E300) y enzimas.	Energía: 246 kcal Grasas: 1,1 g Ácidos grasos saturados: 0,2 g Hidratos de carbono: 51,3 g Azúcares: 3,2 g Proteínas: 7,8 g Sal: 1,4 g
<b>PIO4</b>	Harina de trigo, agua, levadura, sal, agente de tratamiento de la harina (E300).	Energía: 248 kcal Grasas: 0,6 g Ácidos grasos saturados: 0,1 g Hidratos de carbono: 50 g Azúcares: 1,7 g Fibra alimentaria: 2,2 g

		Proteínas 9,1 g
		Sal: 0,8 g
<b>PIO5</b>	Harina de trigo, agua, sémola de trigo, masa madre activa de trigo 2,9% (harina de trigo, fermentada, agua), levadura, sal.	Energía: 296 kcal Grasas: 1,3 g Ácidos grasos saturados: 0,2 g Hidratos de carbono: 60 g Azúcares: 0,9 g Fibra alimentaria: 2 g Proteínas: 10 g Sal: 1,5 g
<b>PIM1</b>	Harina de trigo (58 %), agua, aceite de girasol (3 %), levadura, azúcar, sal, harina de haba, emulgentes (E 481 y E 471), gluten de trigo, conservadores (E 282 y E 200), estabilizante (E 412), agente de tratamiento de la harina (ácido ascórbico) y aroma.	Energía: 267 kcal Grasas: 4,6 g Ácidos grasos saturados: 1,4 g Hidratos de carbono: 45 g Azúcares: 3,2 g Fibra alimentaria: 3,4 g Proteínas: 9,7 g Sal: 1,1 g
<b>PIM2</b>	Harina de trigo, agua, levadura, aceite vegetal (girasol), sal, conservadores (E 282, E 200), emulgentes (E 471, E 472), vinagre de vino, harina de haba, almidón de trigo y maíz, agentes de tratamiento de la harina (E 300, E 341).	Energía: 252 kcal Grasas: 2,7 g Ácidos grasos saturados: 0,5 g Ácidos grasos monoinsaturados: 0,8 g Ácidos grasos poliinsaturados: 1,4 g Hidratos de carbono: 45 g Azúcares: 3,8 g Fibra alimentaria: 4,7 g Proteínas: 9,8 g Sal: 1,1 g
<b>PIM3</b>	Harina de trigo (60 %) agua, levadura, aceite de girasol, sal, harina de haba, espesante (E 412), emulgentes (E 481), conservadores (E 282, E 200), agente de tratamiento de la harina (ácido ascórbico) y aroma.	Energía: 252 kcal Grasas: 4,2 g Ácidos grasos saturados: 0,8 g Hidratos de carbono: 43 g Azúcares: 3,8 g Fibra alimentaria: 3,1 g

Proteínas: 8,9 g

Sal: 1,1 g

---

<b>PIM4</b>	Harina de trigo, agua, levadura, azúcar, aceite vegetal (girasol), sal, gluten de trigo, almidón de maíz, emulgentes (E 471, E 472, E 481), conservadores (E 200, E 282), vinagre de vino, harina de haba, corrector de acidez (E 341).	Energía: 229 kcal Grasas: 2,6 g Ácidos grasos saturados: 0,7 g Ácidos grasos monoinsaturados: 0,6 g Ácidos grasos poliinsaturados: 1,3 g Hidratos de carbono: 41 g Azúcares: 3,3 g Fibra alimentaria: 2,8 g Proteínas: 9,3 g Sal: 0,9 g
<b>PIM5</b>	Harina integral de trigo (58 %), agua, levadura, aceite de girasol, harina de haba, fibra de avena, emulgentes (estearoil-2-lactilato sódico y monoglicéridos y diglicéridos de ácidos grasos), conservadores (propinato cálcico y ácido sórbico), estabilizante (goma guar), agente de tratamiento de la harina (ácido ascórbico) y aroma.	Energía: 250 kcal Grasas: 4 g Ácidos grasos saturados: 0,8 g Hidratos de carbono: 40 g Azúcares: 3,3 g Fibra alimentaria: 7,2 g Proteínas: 10 g Sal: 1,2 g
<b>PIM6</b>	Harina integral de trigo (58 %), agua, levadura, aceite de girasol, sal, harina de haba, fibra de avena, emulgentes (E 481), conservadores (E 282, E 200), agente de tratamiento de la harina (ácido ascórbico) y aroma.	Energía: 238 kcal Grasas: 3,7 g Ácidos grasos saturados: 0,8 g Hidratos de carbono: 39 g Azúcares: 4,1 g Fibra alimentaria: 5,4 g Proteínas: 9,5 g Sal: 1 g
<b>PIM7</b>	Harina de trigo (47 %), agua, harina de centeno integral (10,7 %), levadura, aceite de girasol, azúcar, sal, harina de	Energía: 255 kcal Grasas: 3,1 g Ácidos grasos saturados: 0,6 g

cebada malteada, semillas de lino, Hidratos de carbono: 45 g  
 conservadores (E 282, E 200), copos de Azúcares: 4 g  
 avena, semillas de girasol, semillas de Fibra alimentaria: 4,8 g  
 sésamo, mijo pelado, semillas de Proteínas: 9,4 g  
 calabaza, harina de centeno tostado, Sal: 1,2 g  
 agente de tratamiento de la harina  
 (ácido ascórbico) y aroma

---

**PIM8** Harina de trigo (59 %), agua, masa Energía: 239 kcal  
 madre activa trigo (10 %) harina de Grasas: 5 g  
 centeno (2,9 %), sémola de trigo, Ácidos grasos saturados: 0,3 g  
 levadura, masa madre inactiva de Ácidos grasos monoinsaturados: 0,4 g  
 trigo, óleo vegetal, vinagre de vino. Ácidos grasos poliinsaturados: 0,8 g  
 Hidratos de carbono: 45 g  
 Azúcares: 3,8 g  
 Fibra alimentaria: 4 g  
 Proteínas: 9,4 g  
 Sal: 1,1 g

---

**PIM9** Harina de trigo, agua, levadura, azúcar, Energía: 255 kcal  
 aceite vegetal (girasol), sal, vinagre de Grasas: 2,7 g  
 vino, conservadores (E 282, E 200), Ácidos grasos saturados: 0,5 g  
 emulgentes (E 471, E 481), harina de Hidratos de carbono: 48 g  
 centeno malteada, agentes de Azúcares: 8,1 g  
 tratamiento de la harina (E 341, E Fibra alimentaria: 3,4 g  
 300). Proteínas: 8,2 g  
 Sal: 1,2 g

---

**PIM10** Harina integral de trigo (25,8 %), Energía: 282 kcal  
 harina de trigo, agua, semillas de Grasas: 7 g  
 girasol (9,3 %), levadura, azúcar, aceite Ácidos grasos saturados: 0,9 g  
 vegetal (girasol), avena troceada, Hidratos de carbono: 37 g  
 semillas de amapola (1,8 %), semillas Azúcares: 8 g  
 de calabaza (1,8 %), semillas de Fibra alimentaria: 12 g  
 sésamo (1,8 %), sal, conservadores (E Proteínas: 12 g  
 282, E 200), vinagre de vino, Sal: 0,9 g

emulgente (E 481), agentes de tratamiento de la harina (E 300, E 341).

<b>PIMSG11</b>	Almidón de maíz (20 %), almidón de tapioca (8 %), agua, harina de arroz, fécula de patata, aceite de girasol, levadura, fibra psyllium, inulina, espesantes (E 415, E 464), clara de huevo en polvo, azúcar, sal, conservador (E 281), antioxidantes (E 300), aromas.	Energía: 237 kcal Grasas: 5,1 g Ácidos grasos saturados: 0,6 g Hidratos de carbono: 40 g Azúcares: 7,3 g Fibra alimentaria: 9,9 g Proteínas: 3 g Sal: 0,95 g
<b>PIMSG12</b>	Almidón de maíz, agua, masa madre 16 % (harina de arroz, agua), almidón de arroz, fibra vegetal (psyllium), jarabe de arroz aceite de girasol, proteína de soja, espesante (hidroxipropilmetilcelulosa) harina de mijo (1,9 %), harina de quinoa (1,3 %), levadura, miel, sal yodada (sal, yoduro de potasio).	Energía: 233 kcal Grasas: 3,4 g Ácidos grasos saturados: 0,4 g Hidratos de carbono: 43 g Azúcares: 3,3 g Fibra alimentaria: 8,1 g Proteínas: 3,5 g Sal: 1 g
<b>PIMSG13</b>	Almidón de maíz, agua, masa madre 14 % (harina de arroz, agua), almidón de arroz, fibra vegetal(psyllium), jarabe de arroz, aceite de girasol, copos de soja, semillas de girasol 2,1 %, harina de mijo 2 %, semillas de lino 1,9 %, espesante (hidroxipropilmetilcelulosa) harina de quinoa 1,3 %, levadura, harina de arroz 1,3 %, proteína de soja, salvado de soja, sal yodada (sal, yoduro de potasio), semillas de amapola 0,6 %,	Energía: 249 kcal Grasas: 6,6 g Ácidos grasos saturados: 0,8 g Hidratos de carbono: 38 g Azúcares: 4,1 g Fibra alimentaria: 9,9 g Proteínas: 4,5 g Sal: 0,98 g

semillas de chía (Salvia hispanica) 0,6  
%, miel.

<b>PIMSG14</b>	Almidón de maíz, agua, masa madre activa 14% (harina de arroz, agua), harina de alforfón (8 %), harina de arroz, jarabe de arroz, fibra vegetal (psyllium), almidón de arroz, aceite de girasol, proteína de soja, harina de sorgo 2,1 %, espesante (hidroxipropilmetilcelulosa), levadura, sal, azúcar.	Energía: 262 kcal Grasas: 3,1 g Ácidos grasos saturados: 0,5 g Hidratos de carbono: 51 g Azúcares: 2,6 g Fibra alimentaria: 6,8 g Proteínas: 4,1 g Sal: 1,2 g
<b>PIM15</b>	Harina de trigo (59 %), agua, levadura, azúcar, aceite vegetal (girasol), sal, vinagre de vino, conservadores (E 282, E 200), emulgentes (E 471, E 481), harina de centeno malteada, agentes de tratamiento de la harina (E 341, E 300)	Energía: 263 kcal Grasas: 3,3 g Ácidos grasos saturados: 1,1 g Hidratos de carbono: 46 g Azúcares: 10 g Fibra alimentaria: 4,2 g Proteína: 10 g Sal: 1,2 g
<b>PIM16</b>	Harina de trigo, agua, masa madre 5,2 % (harina de trigo, agua), grasa vegetal (palma), mantequilla anhidra (5,6 %), agente vegetal (nabina), azúcar, levadura, sal, emulgentes (E 322, E 471), almidón de trigo, conservadores (E282, E 202), acidulante (E 330), masa madre activa de trigo, aroma, extracto de zanahoria, agente de tratamiento de la harina (E 300)	Energía: 393 kcal Grasas: 23 g Ácidos grasos saturados: 13 g Ácidos grasos monoinsaturados: 7 g Ácidos grasos poliinsaturados: 2,9 g Hidratos de carbono: 38 g Azúcares: 7 g Fibra alimentaria: 3,4 g Proteínas: 7,6 g Sal: 1,4 g
<b>PIM17</b>	Harina de trigo (50 %), masa madre 10% (harina de trigo, agua), azúcar, aceite de girasol (7,8 %), huevo líquido pasteurizado, levadura, aromas naturales, leche entera en polvo (1,3	Energía: 325 kcal Grasas: 10 g Ácidos grasos saturados: 2 g Hidratos de carbono: 51 g Azúcares: 12 g

%) (equivalente a 10 % de leche reconstituida entera), mantequilla (leche) concentrada (1 %), sal, extracto de zanahoria, espesante (goma celulosa), emulgente (monoglicéridos y diglicéridos de ácidos grasos) proteína de la leche, agente de tratamiento de la harina (ácido ascórbico)

Fibra alimentaria: 1,9 g

Proteínas: 9,4 g

Sal: 1,2 g

---

<b>PIM18</b>	Harina de trigo (54 %), agua, aceite vegetal (girasol), jarabe de glucosa y fructosa, huevo liquido (5,6 %), azúcar, emulgentes (mono y diglicéridos de ácidos grasos, estearoil-2-lactilato sódico), aromas, leche desnatada en polvo (1,4 %), masa madre inactiva de trigo, levadura, sal, proteína de leche, espesante (E 466), gluten de trigo, agente de tratamiento de harina (ácido ascórbico).	Energía: 355 kcal Grasas: 12 g Ácidos grasos saturados: 6,1 g Hidratos de carbono: 51 g Azúcares: 14 g Fibra alimentaria: 2,6 g Proteínas: 9,5 g Sal: 0,9 g
--------------	--	--