

# Mejora de la calidad de panes sin gluten a través de la mezcla de almidones y harinas.

Cristina Merino Suances

---

Área de Tecnología de los Alimentos, E.T.S. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, 34004 Palencia, España.

---

## Resumen

En los últimos años ha habido un aumento de las investigaciones sobre los procesos de elaboración de panes sin gluten. En el presente estudio se ha realizado una optimización a través la mezcla de harina de arroz, almidón de maíz y almidón de trigo para la elaboración de panes sin gluten, con el fin de mejorar la calidad de dichos panes. Se evaluaron los panes resultantes teniendo en cuenta parámetros como el volumen específico, textura, color, apariencia de la miga y parámetros sensoriales. También se ha analizado la reología de las masas y su comportamiento durante la fermentación. Los almidones favorecen el desarrollo de las masas e incrementan el volumen específico de los panes. El pan elaborado con almidón de trigo es el que presenta mayor volumen específico. La incorporación de almidón de maíz a los panes incrementa los valores de dureza de los mismos, por otro lado la presencia de almidón en los panes hace disminuir los valores de luminosidad de la corteza. El análisis sensorial refleja que el pan mejor valorado globalmente fue el realizado con un 50% harina de arroz y un 50% almidón de trigo, ya que el almidón de trigo aporta el volumen y el sabor característico del pan y la harina proporciona un color tostado, aumentando el atractivo visual del pan.

Palabras clave: pan sin gluten, harina de arroz, almidón de maíz, almidón de trigo.

---

## Abstract

The researches about gluten-free bread-making techniques have experienced a remarkable increase in the last years. In this study an optimization using rice flour, corn starch and wheat starch has been done to make gluten-free bread. The objective was to improve the bread quality. Resulting breads were evaluated taking into account parameters such as specific volume, texture, color, appearance of the crumb and sensory parameters. In addition the rheology of the masses and their behavior during fermentation was analyzed. Starches favor the development of the masses and increase the specific volume of breads. The bread made with wheat starch have greater specific volume. Adding corn starch into the breads increases its hardness. The presence of starch in the bread lowers the cortex brightness. Sensory analysis shows that the best bread was made with 50% rice flour and 50% wheat starch. The wheat starch provides the characteristic size and flavor of bread and the flour rice provides a tan color, increasing bread visual appeal.

Keywords: gluten free bread, rice flour, corn starch, wheat starch

## **1. Introducción.**

La enfermedad celíaca es una intolerancia al gluten que se presenta en individuos genéticamente predispuestos y se caracteriza por una respuesta inmune inapropiada de los linfocitos T en el intestino delgado a péptidos del gluten. Esto da lugar a malabsorción intestinal, atrofia de las vellosidades intestinales y la inflamación crónica de la mucosa del yeyuno en el intestino delgado. La enfermedad celíaca tiene una tasa de prevalencia en Europa y los EE.UU. de alrededor de 1:100 personas (Van Hees, et al., 2013). Actualmente, una exclusión del gluten en la dieta es la piedra angular del tratamiento de la enfermedad celíaca y sólo los productos sin gluten pueden ser consumidos por las personas que padecen ésta enfermedad (Moroni, et al., 2009). El aumento del número de personas intolerantes o alérgicas al gluten o que creen que una dieta libre de gluten es más sana, hace que haya un incremento en el consumo de productos libres de gluten.

La elaboración de productos fermentados libres de gluten supone un gran reto tecnológico para las industrias alimentarias, pues muchas veces estos productos no tienen la calidad nutricional y organoléptica deseada, ya que el gluten tiene un papel fundamental en la elaboración de las masas (Mariotti, et al., 2013). Para el desarrollo de estos productos es necesario un compuesto de base harinosa y un compuesto que asemeje las funciones del gluten. Se ha comprobado que los hidrocoloides consiguen imitar las propiedades viscoelásticas del gluten (Sciarini, et al., 2012), algunos de los hidrocoloides más investigados para la producción de productos fermentados libres de gluten son el Psyllium (Mariotti, et al., 2009) o el HPMC (Sabanis, et al., 2011).

Otras de las investigaciones en el desarrollo de panes sin gluten han ido orientadas hacia la incorporación a la masa de diferentes enzimas, que tienen como objetivo mejorar las propiedades de manipulación de las masas y aumentar la calidad en la cocción (Houben, et al., 2012; Renzetti, et al., 2008; Rosell, et al., 2009), o en la utilización de harinas extrusionadas a partir de cereales (Pedrosa, et al., 2009).

El almidón es un polisacárido de reserva, constituido por amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal compuesta de  $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces glicosídicos  $\alpha$  (1-4). La amilopectina es un polímero altamente ramificado con masas moleculares superiores a  $10^8$ . La cadena principal está compuesta por  $\alpha$ -D-glucopiranosas unidas por enlaces  $\alpha$  (1-4) y eslabonadas con cientos de pequeñas cadenas mediante enlaces  $\alpha$  (1-6) en los puntos de ramificación. El enlace  $\alpha$  (1-4) imparte a la molécula un giro natural, con lo que la conformación de las cadenas es helicoidal. El gránulo de almidón es un sistema semicristalino, que consta de regiones cristalinas y amorfas (Tester et al., 2004). Las propiedades fisicoquímicas del almidón

y su idoneidad para diversas aplicaciones industriales dependerá de la proporción, la composición y estructura de las moléculas de amilosa y amilopectina, la longitud y patrón de las ramas de amilopectina, la sustitución de los monómeros de glucosa, y el tamaño y la modalidad de los gránulos (Boren, et al., 2008). El tamaño medio de los gránulos de almidón de trigo oscila entre 25-50  $\mu\text{m}$  si proviene de granos de trigo largos o 5-10  $\mu\text{m}$  si proviene de los granos de trigo pequeños y esféricos, mientras que el tamaño medio de los gránulos de almidón de maíz oscila desde 1 hasta 7  $\mu\text{m}$  para los gránulos más pequeños y 15 a 20  $\mu\text{m}$  para los gránulos grandes. Tanto el almidón de trigo como el almidón de maíz están formados por dos tipos de gránulos de almidón, unos grandes en forma de disco llamados gránulos A (con un diámetro superior a 20 $\mu\text{m}$ ) y otros más pequeños y esféricos llamados gránulos B (con un diámetro inferior de 10 $\mu\text{m}$ ). Los gránulos tipo A poseen una temperatura de gelatinización diferente y mayor estructura cristalina, por el contrario los gránulos tipo B poseen laminillas cristalinas más densas. Esto es de suma importancia ya que las propiedades de los almidones están relacionadas con las estructuras de los gránulos tipo A y B. Se ha demostrado que la hinchazón, la gelatinización, y las propiedades de viscosidad del almidón están afectadas por la relación entre los gránulos tipo A y B. Las estructuras supramoleculares de los gránulos tipo A y B del almidón de trigo juegan un papel clave en la determinación de las propiedades y aplicaciones del almidón en la industria alimentaria (Binjia, et al., 2013).

La harina de arroz es una de las más apropiadas para la elaboración de productos libres de gluten debido a su bajo contenido en prolaminas, sabor suave, aspecto incoloro, propiedades hipoalergénicas, bajos niveles de sodio y alta digestibilidad del almidón (Torbica et al., 2012), sin embargo las proteínas del arroz son incapaces de formar una red que retenga los gases producidos durante la fermentación y el horneado (Gujral y Rosell., 2004). Por eso a los productos libres de gluten se les agrega hidrocoloides con el fin de que estos imiten las propiedades del gluten.

La molienda de los granos de arroz para obtener harinas incluye el descascarillado de los granos, la eliminación del salvado y la separación de los granos partidos o dañados de los granos enteros. El método de molienda y el tipo de molino utilizado determinará el tamaño de partícula de la harina. El tamaño de partícula de la harina es fundamental en las características del pan, así se aprecia una disminución del volumen específico del pan a medida que disminuye el tamaño de partículas, éste hecho podría estar relacionado con la mayor absorción de agua que se requiere para mantener constante la consistencia del batido y por lo tanto habría una mayor resistencia para que la pieza aumente su volumen durante la fermentación y la cocción (Torres et al., 1999).

Por lo tanto lo más conveniente es el uso de harinas de arroz gruesa para proporcionar mayor volumen a los panes y menor dureza, ya que la masa tiene más disponibilidad para retener el gas producido durante la fermentación (De la Hera, et al., 2012).

Uno de los temas más estudiados en el desarrollo de panes sin gluten han sido las mezclas de harinas y almidones de cereales con tubérculos. López, et al., (2004) han estudiado la utilización de harina de arroz, almidón de mandioca y maíz en la elaboración de panes sin gluten. El pan elaborado con almidón de maíz fue el que mayor volumen presentó, pero los resultados mostraban que el pan elaborado con harina de arroz presentaba los mejores parámetros en cuanto a textura de la miga, color de corteza y fue el preferido por el panel de evaluación sensorial. Miñarro, et al., (2010) corroboraron que los panes elaborados únicamente con almidones, en este caso almidón de maíz, eran los que mayor volumen tenían. Schamne, et al., (2010) también estudiaron la optimización de panes sin gluten a través de mezclas de harina de arroz, almidón de maíz y almidón de mandioca, y comprobaron que la dureza de los panes aumentaba si se combinaba la harina de arroz con el almidón de maíz, pero que disminuía en las mezclas realizadas de los dos almidones.

A parte de harinas de cereales, hay investigadores que han probado la inclusión de harina de soja y se ha demostrado como se consigue mejorar las características de los panes, Sánchez, et al., (2002) añadieron una pequeña cantidad de harina de soja (0,5%) a las mezclas de harina de arroz, almidón de maíz y almidón de mandioca. Probaron que la harina de soja conseguía aumentar la calidad de la estructura de la miga, haciendo que esta fuese más compacta y disminuyendo los alveolos del pan, esto se explicaba debido a las proteínas presentes en la soja, este hallazgo también fue probado por Milde, et al., (2012) que añadieron harina de soja a mezclas de harina de maíz y almidón de mandioca, y comprobaron que con la adición de harina de soja se reforzaba la estructura de la miga y se aumentaba la capacidad de retención de agua de los panes.

Otros de los cereales utilizados para la elaboración de panes sin gluten es el sorgo, Onyango, et al., (2011) trabajaron con harina de sorgo añadiendo diferentes proporciones de almidones de maíz, mandioca, patata o arroz, vieron que tanto la dureza, como la masticabilidad de los panes disminuían con el aumento de la concentración de almidón. La mejor combinación se obtenía con una mezcla de 50% harina de sorgo y 50% de almidón de mandioca. Para ver si existía alguna ventaja en la utilización de almidón de mandioca nativo o pregelatinizado en las mezclas con harina de sorgo, Onyango, et al., (2011) realizaron otro estudio donde vieron que con

la utilización de almidón de mandioca nativo se conseguían panes con menor dureza y mayor cohesión y elasticidad, con una miga más suave y menos pegajosa con respecto a los panes elaborados con almidón pregelatinizado.

La utilización de pseudocereales como el amaranto, la quinua o el trigo sarraceno aumenta el valor nutricional de los panes (Hager, et al., 2012), ya que poseen cantidades importantes de minerales, vitaminas, flavonoides y otros oligoelementos (Chlopicka, et al., 2012). Álvarez-Jubete, et al., (2010) vieron que los panes realizados con mezclas de harina de arroz y pseudocereales como el amaranto, el trigo sarraceno y la quinua, se conseguía retrasar el envejecimiento del pan (medido a los 5 días de su elaboración), es decir no había un aumento de la dureza y se mantenía la cohesividad, esto también fue corroborado por Mariotti, et al., (2009), que realizaron mezclas de almidón de maíz con harina de amaranto y vieron que con la adición de harina de amaranto a las masas se conseguía aumentar el valor nutricional y retrasar el endurecimiento de los panes.

Torbica, et al., (2010), valoraron la incorporación de harina de arroz a diferentes proporciones de harina de trigo sarraceno con cáscara y descascarillado. El pan elaborado con harina de arroz y harina de trigo sarraceno descascarillado obtuvo mayor puntuación en el análisis sensorial, esto es debido a que la cáscara del trigo sarraceno proporciona un sabor amargo no deseado en los panes. Pero con la adición de harina de trigo sarraceno con cáscara se tuvo una disminución en el grado de retrogradación del almidón, lo que indica que la adición de trigo sarraceno en el pan podría conducir a retrasar el envejecimiento del pan. Mariotti, et al., (2013) también probaron que con la adición de harina de trigo sarraceno con cascarilla a los panes se conseguía disminuir la pérdida de agua de la miga del pan y se enlentecía la cinética de endurecimiento de los panes durante el almacenamiento (medido a las 52 horas de su elaboración).

Tradicionalmente el almidón de trigo estaba contaminado con gluten, pero ahora ya se obtiene almidón de trigo libre de gluten (<10 ppm). Actualmente FACE (Federación de Asociaciones de Celiacos de España) no lo admite en productos certificados por su marca, a pesar de esto ya han aparecido productos que lo utilizan pero no hay ningún estudio que analice el comportamiento del almidón de trigo solo o mezclado con otras materias primas en los panes sin gluten (ya que no hay ninguna materia prima única que aporte las propiedades idóneas en la elaboración de panes sin gluten). Por eso el objetivo de este estudio es la optimización de mezclas de harina de arroz, almidón de maíz y almidón de trigo para la elaboración de panes sin gluten.

Se han elaborado las mezclas de las harinas y los almidones en porcentajes del 33%, 50% y 100%. A partir de estas mezclas se analizó el comportamiento viscoso en un ciclo de calentamiento-enfriamiento, la reología de las masas, el desarrollo de las masas y la producción y retención de gas durante la fermentación, el color de la miga y de la corteza, el volumen y las propiedades texturales de los panes tanto a las 24 horas de la cocción del pan como a los 7 días de la cocción del pan y también se realizó un análisis sensorial de todos los panes.

## **2. Materiales y métodos.**

### **2.1 Materiales.**

La harina de arroz de usada en este estudio fue suministrada por Harinera Castellana S. L (Medina del Campo, España), el almidón de maíz fue suministrado por Tate & Lyle (Londres, Reino Unido) y el almidón de trigo por Roquette Laysa (Lestrem, Francia). Se prepararon las mezclas de harinas y almidones según se indica en la tabla 1, a la harina de arroz se denomina A, al almidón de maíz M, y al almidón de trigo T, por lo que a la mezcla de harina de arroz-almidón de maíz se le denomina A-M, a la mezcla de harina de arroz-almidón de trigo A-T, a la mezcla de almidón de maíz-almidón de trigo M-T y a la mezcla de la harina con los dos almidones A-M-T.

**Tabla 1:** Mezclas realizadas con la harina de arroz (A), el almidón de maíz (M) y el almidón de trigo (T).

<b>Mezclas</b>	<b>Harina de arroz (%) (A)</b>	<b>Almidón de maíz (%) (M)</b>	<b>Almidón de trigo (%) (T)</b>
<b>1</b>	100	0	0
<b>2</b>	0	100	0
<b>3</b>	0	0	100
<b>4</b>	50	50	0
<b>5</b>	50	0	50
<b>6</b>	0	50	50
<b>7</b>	33	33	33

Las mezclas de los almidones y la harina se realizaron a través de un mezclador rotativo modelo MR2L durante 5 minutos. (Chopin, Cedex, Francia).

Para la elaboración de los panes se ha utilizado levadura Saf-Instant (Lesaffre, Lille, Francia), sal refinada seca (Esco European Salt Company, Niedersachsen, Alemania), agua procedente de la red local, azúcar blanco (AB Azucarera Iberia, Valladolid,

España), aceite de girasol refinado (Faiges S.L., Tarragona, España) e hidroxipropilmetilcelulosa K4M (Rettenmailler, Rosenberg, Alemania).

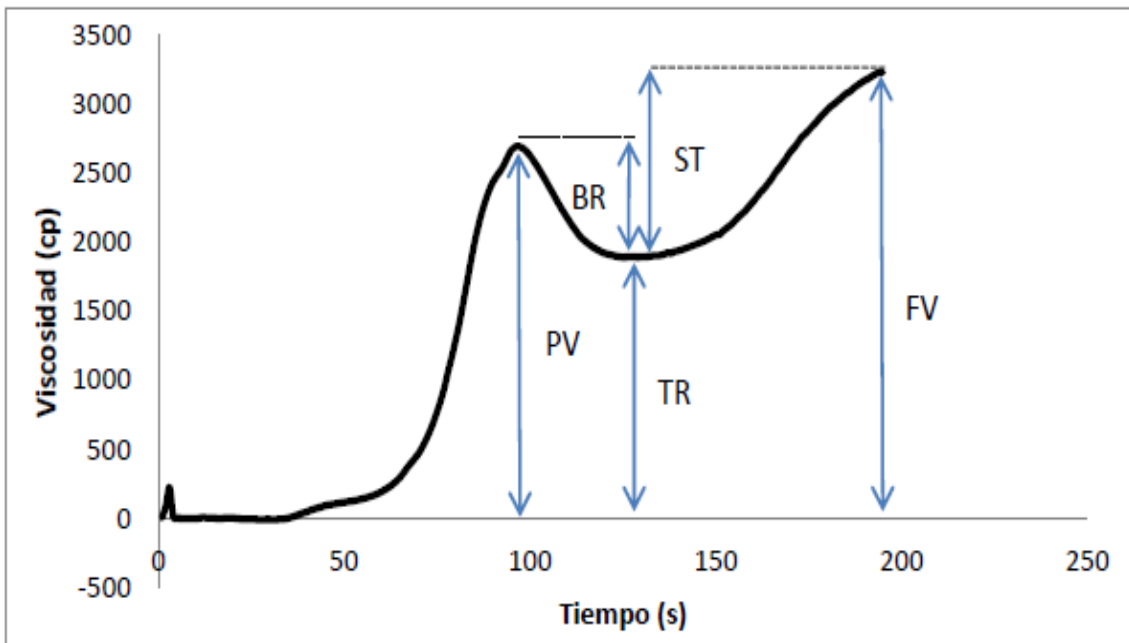
## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de mezclas, el cual implica que los ingredientes a estudiar de una mezcla sumen el 100%. En concreto se desarrolló un diseño simplex centroide, donde el primer grupo de corridas son las formulaciones de ingredientes puros, el segundo grupo son mezclas al 50% de dos de los ingredientes y el tercer grupo consiste en formulaciones de mezclas del 33,3% de cada uno de los tres ingredientes. La respuesta de cada uno de los parámetros investigados fue analizada ajustándolos a modelos cúbicos. Este diseño fue ejecutado por duplicado.

### 2.2.2 Comportamiento viscoso de las harinas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento.

Este análisis se ha realizado en un equipo Rapid Visco Analyzer (RVA) (Newport Scientific, Warriewood, Australia) de acuerdo a lo descrito en el método 61.02.01 (AACC, 2012). Éste método consiste en someter a la pasta a un calentamiento hasta 95°C, mantenerlo un tiempo (5 minutos) a esa temperatura y después enfriar hasta llegar a los 50°C. El equipo registra viscosidad de la mezcla. Todas las medidas se realizaron por duplicado.



**Figura 1:** Parámetros del equipo RVA en un ensayo de calentamiento-enfriamiento. Viscosidad máxima (PV), Estabilidad (BR), Viscosidad de caída (TR), Retrogradación (ST) y Viscosidad final (FV).

En la figura 1 se observan los parámetros proporcionados por el equipo RVA, se han mantenido las siglas inglesas por ser habituales en este tipo de trabajos. La viscosidad máxima (PV, peak viscosity) indica la máxima viscosidad alcanzada por la muestra en todo el ciclo antes de la retrogradación. La estabilidad (BR, breakdown) es la diferencia entre la viscosidad máxima (PV) y la viscosidad de caída (TR, trough). La viscosidad de caída (TR) es el menor valor de viscosidad antes de que comience la retrogradación. La retrogradación (ST, setback) es la diferencia entre la viscosidad final (FV, final viscosity) y la viscosidad de caída (TR). La viscosidad final (FV) es el valor de viscosidad de la muestra el final del ciclo.

### 2.2.3 Reología de masas.

Se ha estudiado la conducta de las masas, que son las mismas que las del proceso de panificación (ver apartado 2.2.5) pero en ausencia de levadura, utilizando un reómetro de esfuerzo controlado Thermo Scientific Haake RheoStress1 (Thermo Fisher Scientific, Schwerte, Alemania) y un baño de agua Phoenix II P1-C25P que controla la temperatura de análisis, que está estipulada en 25°C. Todas las medidas se monitorizaron con el programa informático Rheowin Pro Job Manager (Thermo Fisher Scientific, Schwerte, Alemania). Se ha utilizado una geometría de platos paralelos de titanio de 60 mm de diámetro (PP60 Ti), de superficie rugosa para evitar el deslizamiento de la masa durante la realización de las pruebas, con un espacio entre platos de 3 mm. Se impulso una oscilación sinusoidal en el plato superior, mientras que el plato inferior se mantuvo estacionario. Una vez ajustado el espacio entre platos, el exceso de la muestra que sobresale se recoge con una espátula e inmediatamente, para prevenir la pérdida de humedad, la superficie de masa expuesta al aire entre los dos platos se cubre con aceite de vaselina Panreac (Panreac Química SA, Castellar del Vallés, España). La masa se deja reposar durante unos 300 segundos antes de iniciar la medida. Se realizó en primer lugar un barrido de esfuerzos a 25°C de 0,1 a 100 Pa a una frecuencia de 1 Hz para determinar la región viscoelástica lineal de todas las muestras. Una vez definida, se eligió un valor de esfuerzo incluido en dicha zona que fue utilizado en el barrido de frecuencias. Posteriormente se realizó un barrido de frecuencias a 25°C de 15 a 0,01 Hz, en la región determinada como viscoelástica lineal. En éstos ensayos, se obtuvieron los valores de módulo elástico,  $G'$  [Pa], viscoso,  $G''$  [Pa] y tangente  $\delta$ , ( $G''/G'$ ) para distintos valores de frecuencia,  $\omega$  [Hz] (Dobraszczyk & Morgenstern, 2003). En los ensayos de fluencia la masa se deja reposar durante 600 segundos antes de iniciar el ensayo. En estos ensayos se aplicó a la muestra un esfuerzo instantáneo constante en la región viscoelástica lineal



durante 60 segundos. En la fase de recuperación se retiró el esfuerzo y se permitió a la muestra durante 180 segundos recuperar la parte elástica (instantánea y retardada) de la deformación. A partir de las curvas obtenidas en estos ensayos se pueden obtener parámetros como la capacitancia máxima de flujo  $J_{c, \text{máx}}$  y capacitancia máxima de recuperación  $J_{r, \text{máx}}$ , medidas en el extremo de la curva de fluencia y de recuperación, respectivamente. Los datos de fluencia fueron descritos en términos de capacitancia de flujo  $J_c$ , la cual es definida como la deformación dividida entre el esfuerzo cortante aplicado (mantenido constante durante la fase de fluencia). Los datos del ensayo se ajustaron al modelo de Burgers de 4 parámetros (Van Bockstaele, et al., 2011):

$$J_c(t) = J_0 + J_1 \left( \left( 1 - \exp \frac{-t}{r_1} \right) \right) + \frac{t}{\mu_0}$$

Donde  $J_c$  es la capacitancia de flujo,  $J_0$  es deformación instantánea,  $J_1$  deformación elástica retardada,  $r_1$  tiempo medio de retardo y  $\mu_0$  es la viscosidad a cizalla cero. Para la fase de recuperación al no haber flujo viscoso se aplicó el modelo de Burgers de 3 parámetros:

$$J_r(t) = J_0 + J_1 \left( \left( 1 - \exp \frac{-t}{r_1} \right) \right)$$

Donde  $J_r$  es la capacitancia para la fase de recovery,  $J_0$  es la recuperación instantánea,  $J_1$  es la recuperación retardada y  $r_1$  tiempo medio de retardo. Las muestras fueron analizadas por duplicado.

#### 2.2.4. Desarrollo de masas y producción de gas

Se utilizó un Reofermentómetro (Chopin, Cedex, Francia) para analizar el desarrollo de la masa y la producción y retención de gas en función del tiempo de fermentación, de acuerdo al método descrito por Czuchajowska and Pomeranz, (1993). En este caso, hemos adaptado el método a panes sin gluten, retirando los 2kg de pesas del pistón, ya que las masas sin gluten son más débiles que las masas tradicionales. Se colocaron en el recipiente solamente 200g de masa, y se fermentó a 30°C. Las masas sometidas a esta prueba son las mismas que las del proceso de panificación (ver apartado 2.2.5).

### 2.2.5. Elaboración del pan

Para la fabricación de pan se utilizaron los siguientes ingredientes (g/100g en base harina o almidón o la mezcla harina/almidón): agua (90g/100g), levadura seca instantánea (3g/100g), sal (1.8g/100g), aceite (6g/100g), HPMC (2g/100g) y azúcar (5g/100g).

La temperatura del agua añadida fue en todos ensayos constante en un rango de 20 a 22°C. Los ingredientes se amasaron durante 8 minutos a velocidad 2 con el gancho amasador, usando una batidora kitchen Aid 5KPM50 (Kitchen Aid, Michigan, Estados Unidos), las masas de pan se dividieron en porciones de 250 gramos y se colocaron en moldes de aluminio de 232mm de largo y 108mm de ancho modelo 151090 (ALU-Schale, Wiklarn, Alemania). La fermentación se llevo a cabo a 30°C y 75% de HR durante 90 minutos en una fermentadora FC-K (Salva, Lezo, España). Tras la fermentación se hornearon en un horno eléctrico modular (Salva, Lezo, España) durante 40 minutos a 190 °C. Las piezas se desmoldaron tras un reposo de 60 minutos y se introdujeron las piezas en bolsas de polietileno y se almacenaron a 20°C hasta sus análisis. Todas las elaboraciones se realizaron por duplicado.

### 2.2.6. Calidad de los panes

Estas medidas se realizaron a las 24 horas de la elaboración del pan. El peso de los panes se obtuvo a través de una balanza TE 6101 (Sartorius, Goettingen, Germany). El volumen del pan fue determinado utilizando un analizador de volumen BVM-L 370 (TexVol Instruments, Viken, Sweden). Tanto la medida del volumen como el peso se realizaron a dos panes de cada elaboración. Con estos datos se calculó el volumen específico de los panes a través de la siguiente ecuación:

Volumen específico (ml/g) = Volumen (ml)/ Peso (g).

La textura de la miga fue medida por un TA-XT2 texture analyzer (Stable Microsystems, Surrey, UK) provisto con el software "Texture Expert". Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio de 25 mm de diámetro en un ensayo de doble compresión "Texture Profile Analysis" (TPA) para penetrar 50% de profundidad, a 2mm/s de velocidad con un retardo de 30 segundos entre la primera y segunda compresión. Se calcularon la firmeza, la cohesividad y la elasticidad a partir del gráfico TPA (Gómez, et al., 2007). Las determinaciones texturales fueron realizadas en rebanadas de 30 mm de diámetro de espesor a las 24 y 168 horas (7 días) después de la elaboración. Se realizaron los análisis en la parte central de dos rebanadas de dos panes (2x2x2) para cada tipo de elaboración (cada mezcla).

El color de los panes se midió a través del espectrofotómetro Minolta CN-508i (Minolta,

Co. LTD, Tokio, Japón). Los resultados se obtuvieron usando un iluminador estándar D65 y observador estándar 2°, y se expresaron en el espacio de color CIE L\*a\*b\*.

El color de la corteza fue medido en dos puntos diferentes de dos panes de cada muestra (2x2x2). El color de la miga se realizó en un punto a 2 rebanadas de cada pan, midiendo dos panes por cada muestra (2x2x2). Todas las medidas constituyen la media integrada por una conjunción de 5 datos proporcionados por el equipo.

#### 2.2.7 Análisis de imagen (Alveolado).

Para realizar el análisis de imagen, se escanearon, en blanco y negro, cuatro rebanadas de dos panes para cada elaboración, en un escáner HP Scanjet G3110 (HP, Palo Alto, EEUU). Estas imágenes fueron tratadas con el programa “WCIF ImageJ” tomando una sección de 15x15 mm. Los parámetros obtenidos por el equipo fueron porcentaje de vacío, brillo de la miga, espesor, tamaño de los poros, área media, diámetro medio equivalente y densidad alveolar.

#### 2.2.8 Análisis sensorial.

Para comprobar la aceptabilidad de los panes realizados, y obtener información sobre la opinión de los consumidores, se realizó una prueba hedónica de grado de satisfacción. En esta evaluación participaron un total de 63 jueces no entrenados, entre los que había varones y mujeres con edades comprendidas entre los 18 y 54 años, consumidores habituales de pan, procedentes del Campus de la Yutera de Palencia.

La prueba se realizó sobre las 7 muestras: 100% harina de arroz, 100% almidón de maíz, 100% almidón de trigo, 50% harina de arroz-50% almidón de maíz, 50% harina de arroz-50% almidón de trigo, 50% almidón de maíz-50% almidón de trigo, 33% harina de arroz-33% almidón de maíz-33% almidón de trigo. Se eligió una escala hedónica verbal de 9 puntos (siendo 1, “me disgusta muchísimo”, 5 “ni me gusta ni me disgusta” y 9, “me gusta muchísimo”). Los atributos que se midieron fueron el aspecto visual de los panes, el sabor y la valoración global. Los productos se dieron a probar de manera aleatoria codificados a través de 4 cifras aleatorias.

#### 2.2.9. Análisis estadístico

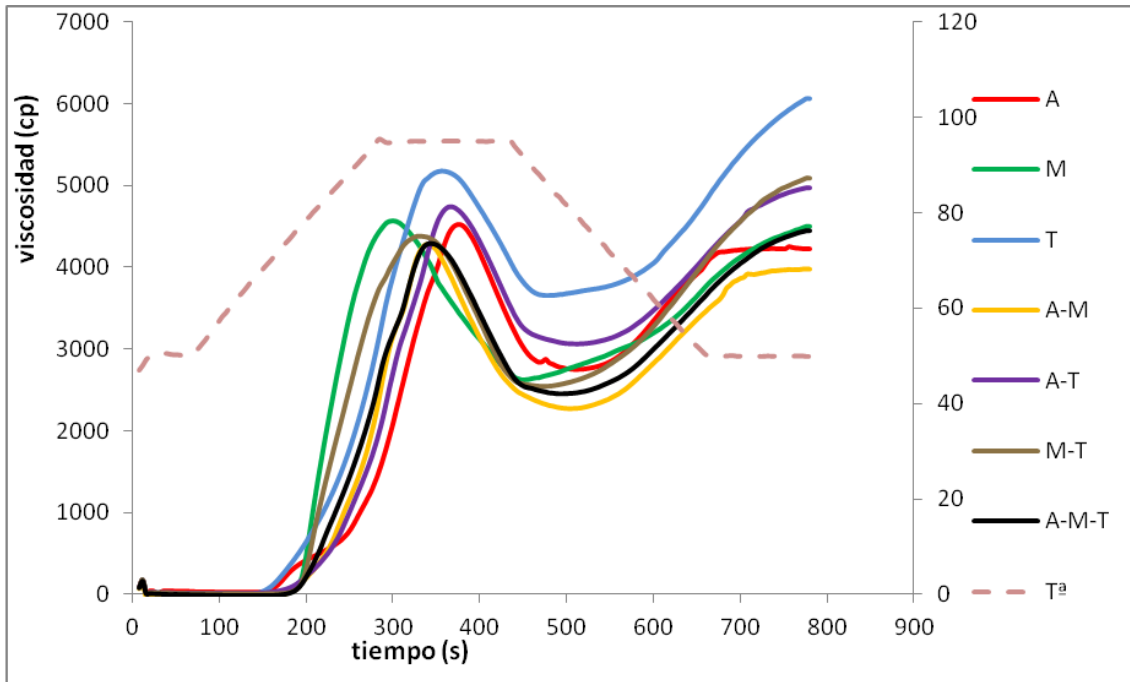
Tanto para el diseño experimental como para generar las correspondientes superficies de respuesta que permitieron la evaluación de las variables independientes se utilizó el programa Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies Inc, Warrenton, USA). Los datos de las variables reológicas se trataron a través un análisis de la varianza

unidireccional (ANOVA), utilizando el test LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ) con el mismo programa.

## **Resultados y discusión**

### **3.1 Comportamiento viscoso de la harina, los almidones y sus mezclas en un ciclo de calentamiento-enfriamiento.**

En la figura 2 se puede observar como el almidón de trigo tiene la mayor viscosidad máxima y también comienza antes a producirse la gelatinización del almidón. El almidón de trigo también posee una mayor viscosidad de caída frente al resto de harinas, almidones y sus mezclas, es decir, tiene un valor mayor de viscosidad antes del comienzo de la retrogradación frente al resto y su viscosidad final en frío también es mayor. Por otro lado la mezcla de harina de arroz-almidón de maíz posee junto con la mezcla de la harina y los dos almidones la menor viscosidad máxima. Además la mezcla de harina de arroz-almidón de maíz tiene también la menor viscosidad de caída y viscosidad final. Se observa también que tanto la harina de arroz como el almidón de trigo y la mezcla de ambos tienen su pico de viscosidad máxima más tarde que el resto. Se sabe que la viscosidad de la pasta depende en gran medida del grado de gelatinización de los gránulos de almidón y del grado de rotura de las cadenas moleculares, además esto depende de la variedad y la fuente de almidón. Esto es porque el contenido de amilosa y el peso molecular de la amilosa varían con el origen de almidón (El-Dash et al., 1983). El pico de viscosidad máxima está relacionado con la capacidad de retención de agua de la harina o del almidón (Brites, et al., 2010). Estudios previos que compararon la harina de arroz con el almidón de maíz o la mezcla de ambos vieron que la harina de arroz tenía la mayor viscosidad máxima, la mayor viscosidad final y también la mayor diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad de caída, es decir poseía el mayor valor de retrogradación (Sciarini et al., 2010). Éstos resultados difieren de lo obtenido en este estudio, ya que en este caso son los almidones los que tienen mayor viscosidad máxima y final respecto a la harina de arroz. Por otro lado Alvarez-Jubilete et al., (2010) vieron que con el almidón, aunque en éste caso era almidón de patata, se obtenía mayor viscosidad máxima respecto a las harinas tanto de arroz como de pseudocereales como el trigo sarraceno o la quinoa. Esto lo explicaban diciendo que los almidones tienen mayor contenido en amilosa que las harinas y por eso se obtienen viscosidades mayores. Con respecto a la harina de arroz la diversidad de resultados entre los estudios puede deberse a las características del arroz y a su granulometría, pues en este estudio se utilizó harina de arroz de grano grueso ( $>106 \mu\text{m}$ ).



**Figura 2:** Gráfica obtenida de la harina de arroz, los almidones y sus mezclas por el equipo RVA en un ensayo de calentamiento-enfriamiento

### 3.2 Reología de las masas.

En la tabla 1 se observan las propiedades reológicas de las masas de pan sin gluten. En todos los casos los valores de  $G'$  fueron mayores a los valores de  $G''$ , por lo tanto los valores de  $\tan \delta (= G''/G')$  para todas las masas fueron inferiores a 1, indicando un comportamiento más similar al de un sólido. En otros estudios como los realizados por Torbica et al., (2010) y Sivaramakrishnan et al., (2004) también obtuvieron mayores valores de  $G'$  frente a los de  $G''$  comprobando así que las masas sin gluten presentaban un comportamiento más similar al de un sólido. Observaciones similares se han encontrado en ensayos reológicos oscilatorios para las masas de harina de trigo (Edwards et al., 2003). Las masas elaboradas con el almidón de trigo presentaban los valores más bajos de  $G'$  y  $G''$  y la menor diferencia entre el valor de  $G'$  y el de  $G''$ . Se observó que la masa era muy líquida en comparación con el resto de las masas. Se ve como la harina de arroz tiene valores muy superiores de  $G'$  y  $G''$  en comparación con los almidones o las mezclas de harinas y almidones, y también posee el menor valor de  $\tan \delta$ . En cuanto a las mezclas aquellas que tienen harina de arroz, como parece lógico, tienen valores mayores de  $G'$  y  $G''$ .

Respecto a la dependencia de la frecuencia de oscilación de estos valores, de la cual nos da idea los parámetros a, b, y c vemos como en la masa realizada con harina de arroz, el valor a y b son significativamente menores, los que supone menor

dependencia de  $G'$  de la frecuencia, es decir la masa posee una estructura más estable. En estudios previos intentaron buscar una relación de los datos obtenidos en los ensayos oscilatorios con el volumen de los panes, pero ni módulo dinámico ni los valores de  $\tan \delta$  de las masas de harina de trigo han mostrado una clara relación con los volúmenes del pan (Wang y Sun, 2002), ésta afirmación difiere de los resultados obtenidos en este estudio, ya que los datos aquí obtenidos sí que parecen tener una relación con el volumen de los panes.

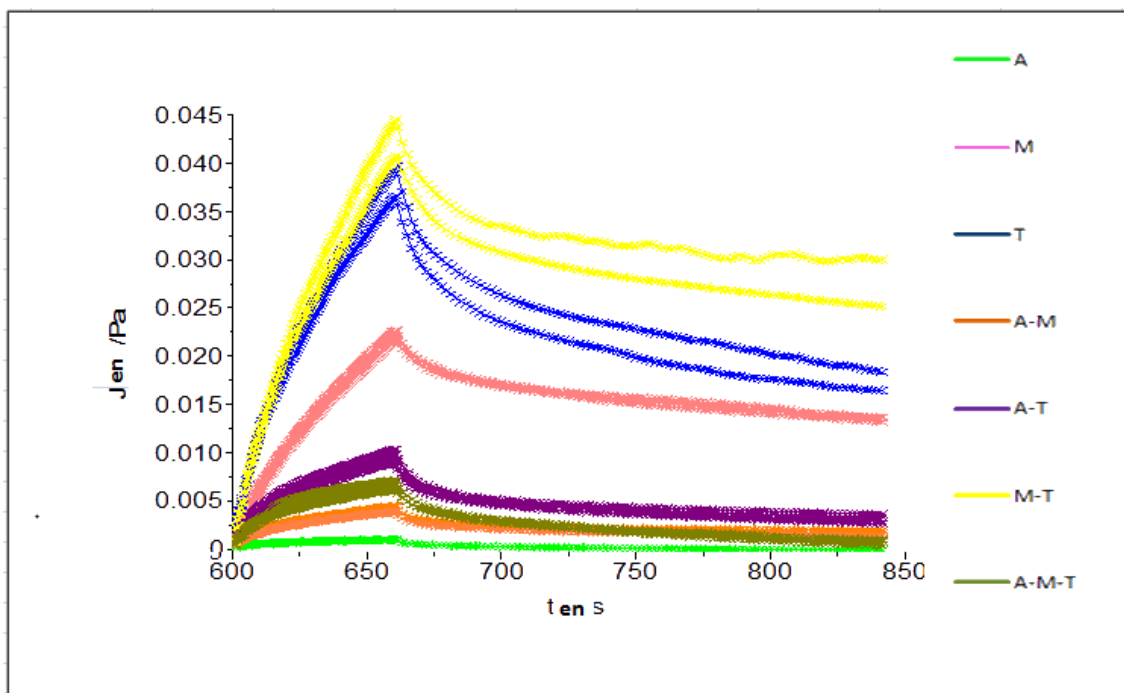
**Tabla 2:** Propiedades reológicas de las masas, datos de los ensayos oscilatorios.

	$G'$	$a$	$G''$	$b$	$\tan \delta$	$c$
<b>A</b>	7269 f	0,4137 a	3023,25 c	0,4137 a	0,4137 a	-0,0146 e
<b>M</b>	755,12 b,c	0,7965 d,e	588,87 b	0,7960 b,c	0,7965 d,e	-0,0976 a
<b>T</b>	370,75 a	0,8601 d,e	301,57 a	0,8601 e	0,8601 e	-0,0752 a,b,c
<b>A-M</b>	1871 e	0,5711 b	1067,30 c	0,5711 b	0,5711 b	-0,0349 d,e
<b>A-T</b>	913,25 c,d	0,7055 c,d	636,65 b	0,7055 c,d	0,7055 c,d	-0,0536 c,d
<b>M-T</b>	486,69 a,b	0,8628 e	409,45 a	0,8628 d,e	0,8628 e	-0,0861 a,b
<b>A-M-T</b>	1065,75 d	0,6675 b,c	706,03 b	0,6675 b	0,6675 c	-0,0633 b,c

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ( $<0,05$ )

Durante el ensayo de fluencia-relajación los esfuerzos aplicados para conseguir la deformación viscoelástica lineal estaban en un rango de 0,5 a 3 Pa y fueron mantenidos durante 60 segundos, suficiente para que la muestra alcanzara el flujo en estado estacionario. Como se puede observar a través de la figura 3, todas las masas presentan un comportamiento viscoelástico típico, combinando tanto componentes viscosos como elásticos. Durante la deformación instantánea ( $J_0$ ) los enlaces entre las unidades estructurales se estiran elásticamente cuando se aplica el estrés y se recuperaran instantáneamente cuando se elimina el estrés, mientras que el cumplimiento viscoelástico ( $J_1$ ) se caracteriza por la rotura de los enlaces de las moléculas y la consiguiente reorganización de las mismas (Onyago et al., 2010). La mezcla de los dos almidones es la que mayor deformación sufre como consecuencia de la aplicación de un esfuerzo constante a lo largo del tiempo, es decir es la masa que mayor fluencia viscoelástica posee, mientras que la masa con harina de arroz es la que menor fluencia viscoelástica tiene. Como cabe suponer, la mezcla de los dos almidones es la que mayor capacitancia de fluencia máxima tiene ( $J_c \text{ max}$ ) y por el contrario la harina de arroz es la que tiene menor capacitancia de fluencia máxima ( $J_c$

max), pero la harina de arroz también es, la que menor diferencia tiene entre la capacitancia de flujo máxima ( $J_c \text{ max}$ ) y la capacitancia de recuperación máxima ( $J_r \text{ max}$ ). Lefebvre (2006), vio que un incremento del tiempo de fluencia no afectaba al valor de la capacitancia de recuperación observado durante la fase de recuperación. Esto indica que la respuesta elástica (instantánea y retardada) no cambia cuando la masa se expone bajo una determinada tensión tiempos mayores y la deformación adicional obtenida en la curva de fluencia como consecuencia del incremento del tiempo de fluencia se puede asignar como deformación viscosa. Todas las masas que tienen harina de arroz presentan un comportamiento muy similar al de la masa elaborada únicamente con harina de arroz. Como puede observarse en la tabla 2 la viscosidad de la masa cuando la cizalla aplicada es nula, es mayor en la harina de arroz habiendo gran diferencia con el resto de las masas. En cuanto a la fase de recuperación la harina de arroz es la que presenta menor tiempo de retardo. Algunos autores han demostrado que un tiempo de relajación más lento está asociado con una buena calidad de cocción (Wang y Sun, 2002), independientemente de la cantidad de agua, el tiempo de mezcla o la temperatura.



**Figura 3:** Ensayo de fluencia-recuperación de todas las masas.

**Tabla 3:** Valores de las fórmulas aplicadas al ensayo de fluencia.

FASE DE FLUENCIA	$J_c \text{ max}$ ( $\text{Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-2}$	$J_0$ ( $\text{Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-4}$	$J_1$ ( $\text{Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-4}$	$r_1$ (s)	$\mu_0$ (Pa x s)
A	0,09 a	1,796 a	3,533 a	6,624 a	129665 g
M	3,17 e	6,328 e	91,128 e	17,632 e	2687,78 c
T	3,64 f	14,127 f	124,669 f	12,828 c,d	2613,72 b
A-M	0,41 b	4,557 b	15,557 b	8,136 b,c	27346,5 f
A-T	0,96 d	7,747 d	36,848 d	7,905 a,b	11433,5 d
M-T	4,05 g	11,211 g	122,073 g	13,380 c,d	2186,46 a
A-M-T	0,66 c	7,034 c	33,898 c	11,804 b,c	22902,8 e
FASE DE RECUPERACIÓN	$J_r \text{ max}$ ( $\text{Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-4}$	$J_0$ ( $\text{Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-4}$	$J_1$ ( $\text{Pa}^{-1}$ ) $\times 10^{-4}$	$r_1$ (s)	
A	0,095 a	5,816 a	7,3635 a	69,840 g	
M	0,9 e	300,159 e	72,609 e	53,806 e	
T	1,90 g	322,243 f	151,900 g	51,098 d	
A-M	0,24 b	33,182 b	15,533 b	31,113 a	
A-T	0,42 c	75,396 d	42,058 c	38,420 c	
M-T	1,45 f	376,744 g	111,401 f	36,532 b	
A-M-T	0,59 d	50,874 c	43,733 d	59,557 f	

-Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes (<0,05)

### 3.3 Desarrollo de las masas y producción de gas.

En la figura 4 se observa el desarrollo de las masas durante la fermentación. Se observa como las mezclas de harina de arroz-almidón de maíz, almidón de maíz-almidón de trigo y la mezcla de la harina y los almidones son las que alcanzan los mayores desarrollos. Se observa también como las masas de harina de arroz-almidón de trigo y harina de arroz-almidón de maíz son las que más rápido se desarrollan.

Lo más destacado de la gráfica es el comportamiento de la masa realizada con harina de arroz, que tiene un desarrollo muy rápido pero hacia la mitad de ensayo se produce una caída del desarrollo de la masa, se escapa el gas y decae el volumen. Ésta masa es la que menor desarrollo tiene y esto concuerda con el bajo volumen que tuvo el pan elaborado únicamente con harina de arroz. Esto no se observa en las mezclas que llevan harina de arroz, de hecho esas mezclas son de las que alcanzan mayores

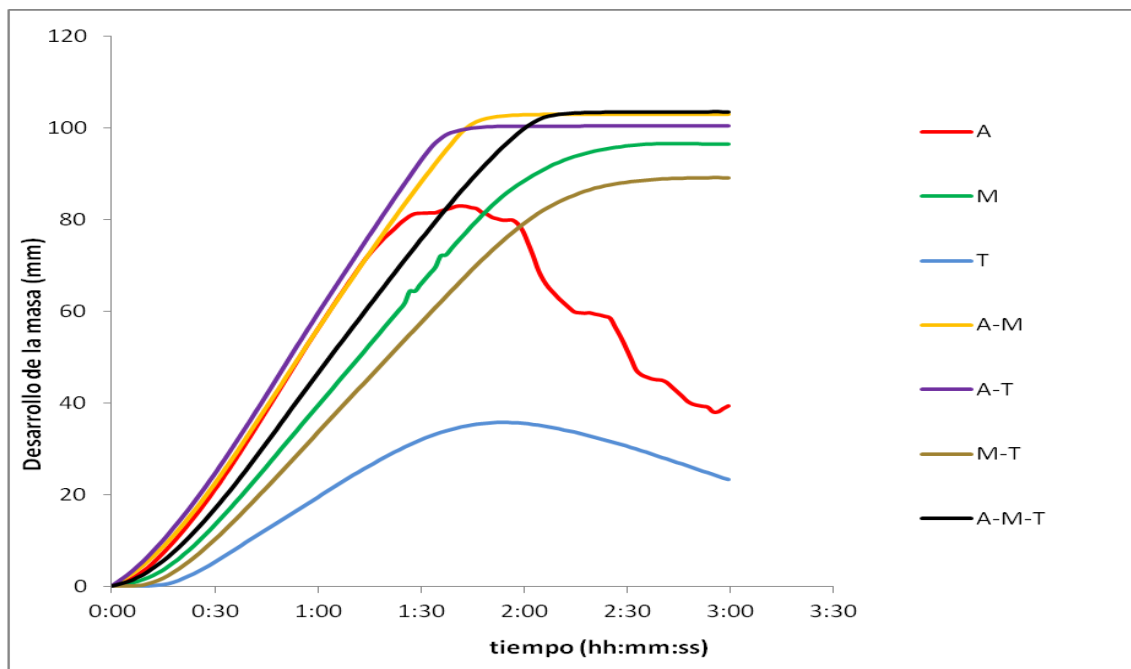


desarrollos y posteriormente, se comprueba cómo éstos panes obtienen volúmenes mucho mayores que el pan elaborado con harina de arroz.

En el caso de la masa de almidón de maíz se ve como se produce una expansión más lenta y continuada que aguanta todo el ensayo. La masa de almidón de trigo que se muestra en la gráfica no se puede dar por válida, ya que la masa era demasiado líquida y al colocar el pistón encima de la masa, esta se salía por encima de él, por lo que éste ensayo no dar puede dar por válido. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en los ensayos reológicos dónde se vio, que el almidón de trigo era el que tenía la menor diferencia y los valores más bajos de  $G'$  y  $G''$  o en la caso de la masa de harina de arroz que era la que menor fluencia viscoelástica posee, según los ensayos de fluencia y aquí se demuestra que es la que menor desarrollo tiene.

En cuanto a las curvas de producción y retención de gas (datos no mostrados), se comprueba que todas la líneas siguen la misma tendencia y adoptan valores similares. Esto es indicativo de que el proceso fermentativo se ha llevado de la forma adecuada, y similar en todos los casos, por las levaduras.

Algunos investigadores como Miñarro et al., (2012) o Mariotti et al., (2013) intentaron mejorar la calidad de los panes a través de la introducción de harinas de leguminosas (como algarroba o garbanzo) o de pseudocereales (trigo sarraceno) pero los desarrollos que estas masas presentaron fueron muy bajos por lo que vieron la necesidad de realizar mezclas introduciendo almidón de maíz para mejorar el desarrollo de las masas y obtener panes con mayor volumen.



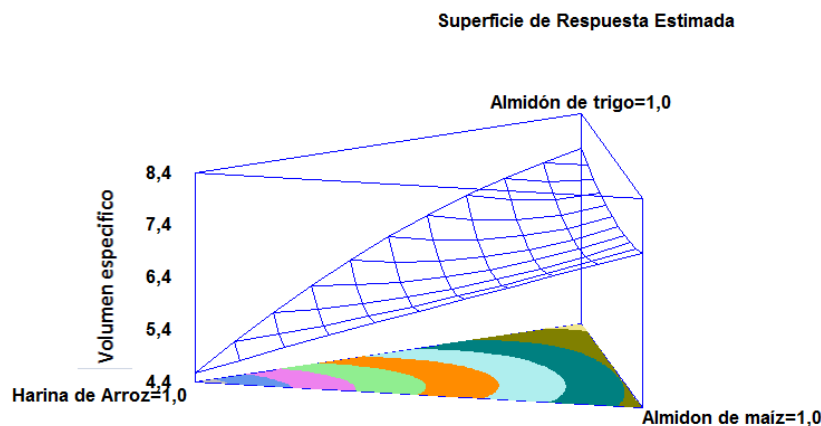
**Figura 4:** Altura de las masas durante el proceso fermentativo.

### 3.4 Propiedades del pan.

#### 3.4.1 Volumen específico.

En la figura 5 se muestra la superficie de respuesta referida al volumen específico de los panes. Se comprueba que los panes elaborados con almidones son los que mayor volumen específico poseen, siendo mayor en el pan elaborado con almidón de trigo, aunque no se aprecian grandes diferencias entre los dos almidones. Por el contrario se observa como la adición de harina de arroz a las mezclas con almidones hace que el volumen específico del pan sea menor. Estos resultados coinciden con los resultados obtenidos del desarrollo de las masas en el reofermentómetro, donde se observa que a mayor desarrollo de la masa mayor volumen tiene el pan. Y también podrían relacionarse estos resultados, con los obtenidos en los ensayos reológicos, donde se vio que los almidones eran los que sufrían mayores deformaciones como consecuencia de la aplicación de un esfuerzo constante, por lo que cuanto mayor es la deformación de la masa, mayor es el volumen del pan y por el contrario deformaciones pequeñas de masa como el caso de la harina de arroz, hace que se obtengan panes con bajos volúmenes. Bajos volúmenes de pan se producen cuando se rompen las burbujas de gas en la masa, el gas se abre camino a través de las partículas y canales débilmente conectados y sale de la masa por consiguiente, los panes resultantes tiene un volumen menor (Onyago et al., 2011). Añadiendo almidón se contrarrestan estos efectos negativos (Mariotti et al., 2013). Todos los estudios realizados anteriormente demuestran que los panes elaborados con almidón de maíz, son los que mayor volumen presentan, y la adición de almidones a mezclas con harinas hace aumentar el volumen de los panes, muestra de esto son López, et al., (2004) que estudiaron la utilización de harina de arroz, almidón de mandioca y maíz en la elaboración de panes sin gluten y comprobaron que los panes elaborados con almidones eran los que mayor volumen presentaban, concretamente el pan elaborado con almidón de maíz, que tenía un valor de volumen específico de  $2,53 \text{ cm}^3 / \text{g}$ , aunque en éste caso el valor de volumen específico era mucho menor al obtenido en éste estudio, que para el almidón de maíz es de  $7,35 \text{ cm}^3 / \text{g}$ . Milde et al., (2010) también obtuvieron valores de volumen específico semejantes o incluso algo inferiores a los de López, et al., (2004) en los panes elaborados con almidón de maíz o almidón de mandioca. Éstas diferencias en el volumen específico de los panes pueden deberse a que se elaboraron panes con baja concentración de agua o sin un hidrocoloide que proporcione volumen, como el HPMC. Muchos han sido los estudios en donde se han realizado mezclas de cereales con tubérculos, como es el caso de Schamne, et al.,

(2010) o Sánchez, et al., (2002) y ambos coinciden en que los almidones de cereales aportan más volumen a los panes que los almidones de tubérculos como la mandioca. Respecto al volumen de los panes elaborados con las mezclas de harina y almidones, se puede ver como la combinación de los dos almidones, almidón de trigo y almidón de maíz, tiene una influencia positiva en el volumen de los panes, esto también fue comprobado por Schamne, et al., (2010) donde vieron que la combinación de almidones, concretamente almidón de maíz y almidón de mandioca, favorecía el aumento del volumen de los panes, y como por el contrario la harina de arroz no era un factor significativo en el volumen.

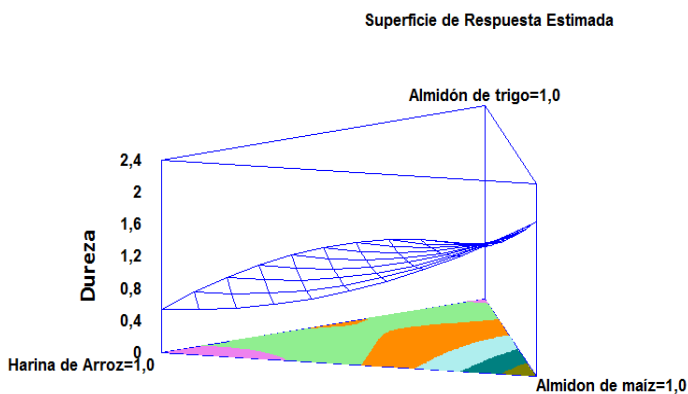


**Figura 5:** Superficie respuesta del volumen específico.

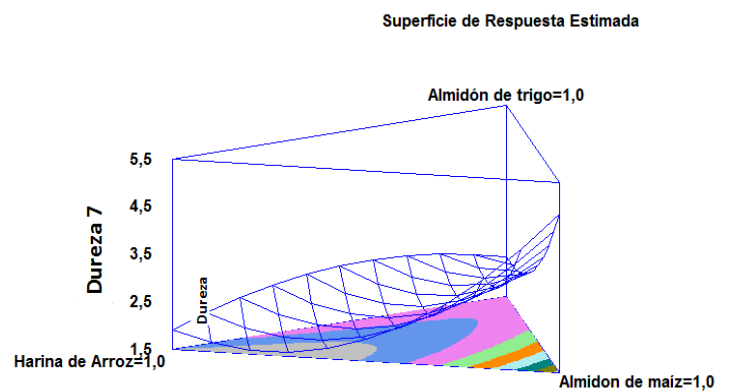
### 3.4.2 Ensayo de textura TPA

En las figuras 6, 8 y 9 se muestran las superficies respuesta de la dureza, la elasticidad y la cohesividad de los panes. Como se puede observar los panes que mayor dureza presentan son los elaborados con almidón de maíz, por lo que la incorporación de almidón de maíz a las mezclas realizadas, hace que aumente la dureza de los panes. Éstos datos sorprenden ya que era de esperar que panes con volúmenes mayores tuvieran valores de dureza inferiores y así se demuestra en otros estudios como los realizados por Schame, et al., (2010), donde hicieron mezclas con harina de arroz, almidón de maíz y almidón de mandioca, los panes que presentaban la mayor dureza eran los elaborados con harina de arroz, que eran los panes que menor volumen específico presentaron y por el contrario los elaborados con almidón de maíz o la mezcla de almidones (que tenían valores mayores de volumen específico) eran los que menores valores de dureza tenían. Onyago et al., (2011) también comprobaron que a medida que incorporaban almidón de maíz a los panes elaborados

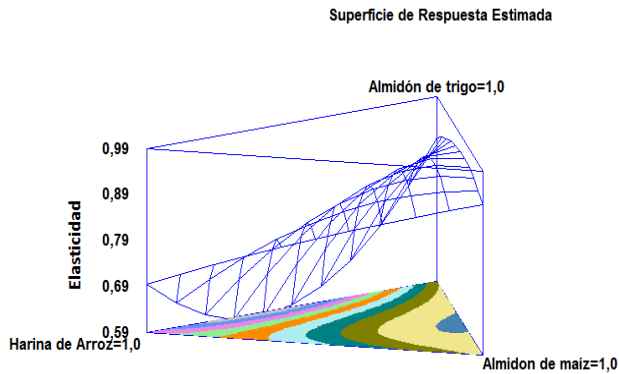
con harina se sorgo y aumenta el volumen de los panes, menor eran los valores de dureza obtenidos. Estas diferencias pueden ser debidas a que en este estudio los panes elaborados con almidón de maíz fueron los que mayor porcentaje de alveolos tuvieron, pudiendo incrementar así los valores de dureza de los panes. La elasticidad y la cohesividad de los panes es mayor en aquellos elaborados con almidones, siendo el pan con la mezcla de almidón de maíz y almidón de trigo el que mayores valores presenta. Un pan de alta calidad con un buen grado de frescura está relacionado con unos altos valores de elasticidad, sin embargo, un pan con bajos valores de elasticidad tiende a desmigajarse cuando se le rebana (McCarthy, et al., 2005). La textura general de un alimento también depende de la red tridimensional formada a partir de los componentes individuales, ésta estructura tridimensional y la apariencia del pan influye en sus propiedades de textura y sensoriales. (Crowley et al., 2000). Tanto Miñarro, et al., (2010) como Onyago et al., (2011) también comprobaron que los panes elaborados con almidón, en este caso almidón de maíz tenían valores mayores de cohesividad que los elaborados con harina de arroz. Se sabe que el grado de cohesividad de los panes puede verse influenciado por el tipo de almidón, siendo mayor en los almidones de cereales debido a su mayor proporción de amilopectina-amilosa (Taylor & Belton, 2002).



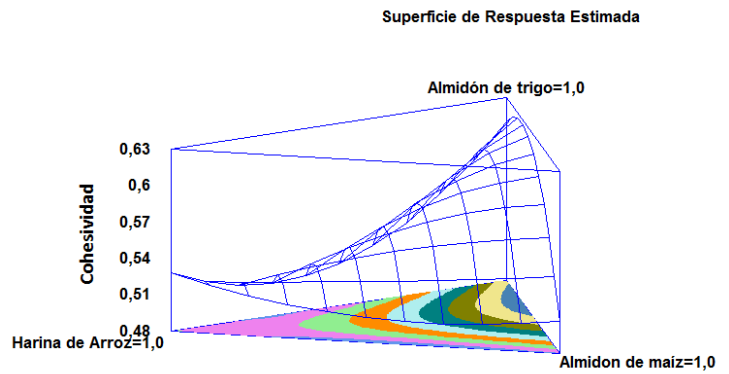
**Figura 6:** Superficie respuesta de la dureza.



**Figura 7:** Superficie respuesta de la dureza a los 7 días.



**Figura 8:** Superficie respuesta de la elasticidad.



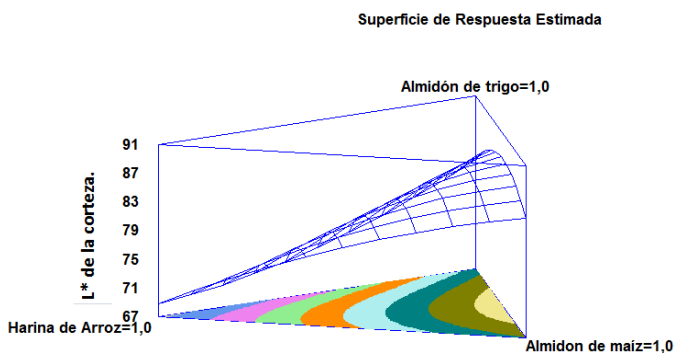
**Figura 9:** Superficie respuesta de la cohesividad.

En la figura 7 se observa la dureza de los panes a los 7 días de la elaboración. Los panes elaborados con almidón de maíz son en los que más aumenta la dureza. La principal causa del endurecimiento de los panes sin gluten es por la retrogradación del almidón (Onyago et al., 2010), pero además el contenido de humedad y la transferencia de humedad entre los componentes del pan se cree que es también un factor importante que contribuye a envejecimiento del pan. Rogers, et al (1998) afirmaron que la retrogradación del almidón se incrementa cuando el contenido de humedad de los panes es mayor. Como los panes sin gluten tienen altos niveles de humedad, la retrogradación del almidón puede progresar más rápidamente durante el almacenamiento. Sciarini et al., (2010) que elaboraron panes con mezclas de almidón de maíz y harinas de arroz y soja también comprobaron que debido a la retrogradación del almidón, con el paso del tiempo se incrementaban los valores de dureza de los panes, pero éstos investigadores descubrieron que con la adición a las mezclas de harina de soja, se retrasaba el endurecimiento de los panes, ya que las proteínas de la soja parecen tener una alta capacidad de retener agua y esto podría interferir en la retrogradación del almidón.

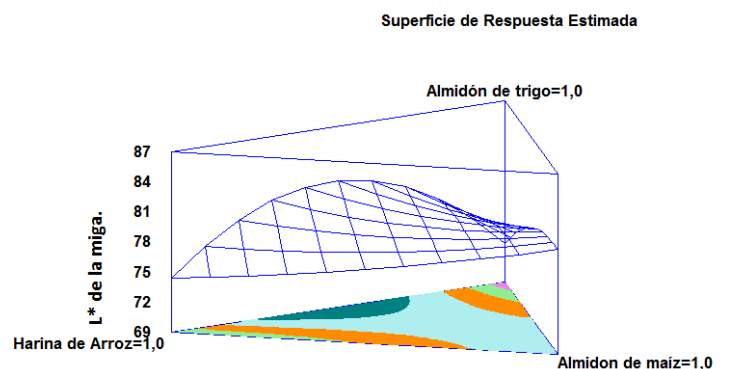
Los cambios en las propiedades de la miga asociados con el endurecimiento, incluyen un incremento en la cristalinidad del almidón, firmeza, pérdida de aroma y un decrecimiento del almidón soluble y la capacidad de hidratación de la miga (D'Appolonia & Morad, 1981).

### 3.4.3 Propiedades de color de la corteza y de la miga.

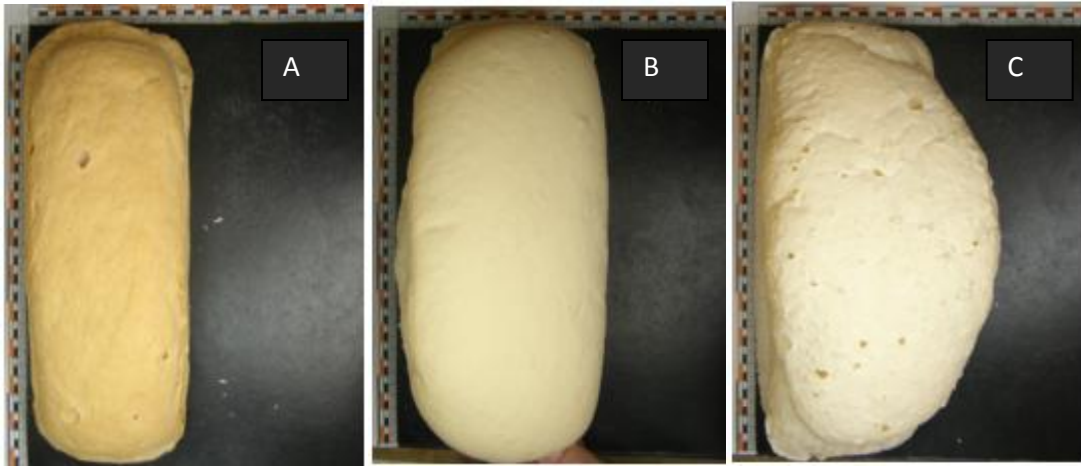
En la figura 10, donde se muestra la luminosidad de la corteza de los panes, se puede ver como los panes elaborados con harina de arroz presentan los valores más bajos de luminosidad, es decir es el pan que tiene la corteza más oscura, esto también es visible a través de la figura 12 donde se muestra el aspecto de los panes. La adición de harina de arroz a las mezclas con almidones hace que disminuya la luminosidad, es decir se oscurece la corteza de los panes, esto es debido a la presencia de proteínas en la harina que junto con los hidratos de carbono durante el horneado se generan las reacción de Maillard, responsables del color de la corteza de los panes. Miñarro, et al., (2010) también corroboraron que los panes elaborados con harina de arroz tenían valores más bajos de luminosidad que los panes elaborados con almidones. Respecto a los datos de la miga, se observa como en este caso los panes elaborados con almidón de trigo son los que tienen un valor más bajo de luminosidad (figura 11), aunque no habiendo grandes diferencias con los panes elaborados con harina de arroz. Por el contrario los panes elaborados con la mezcla harina de arroz-almidón de trigo son los que presentan mayor valor de luminosidad, es decir son los panes con la miga más clara. Se sabe que el color es un importante atributo en los productos horneados, que influye en las preferencias de consumo (Miñarro, et al., 2010), por lo que una de las formas de mejorar el aspecto de los panes elaborados con almidones sería añadiendo una fuente proteica, para que durante el horneado se generen las reacciones de Maillard y los panes adquieran un color tostado, aumentando así su atractivo visual.



**Figura 10:** Superficie respuesta de la luminosidad de la corteza.



**Figura 11:** Superficie respuesta de la luminosidad de la miga.

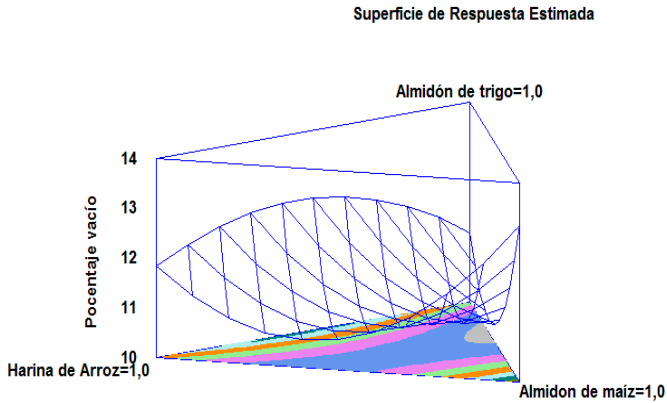


**Figura 12:** Imágenes de los panes elaborados con 100% harina de arroz (imagen A), 100% almidón de maíz (imagen B) y 100% almidón de trigo (imagen C).

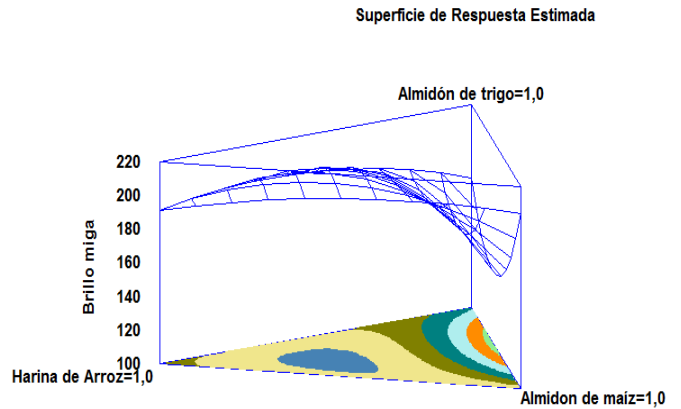
### 3.5 Análisis de imagen (Alveolado).

En las figuras 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se muestran las superficies respuestas del porcentaje de vacío, el brillo de la miga, el área media, la densidad alveolar, el espesor y el diámetro medio equivalente. Como se puede observar el pan elaborado con almidón de maíz es el que mayor porcentaje de vacío tiene, es decir el que mayor porcentaje de huecos (alveolos) posee, lo que supone una mayor retención de gas. El pan elaborado por la mezcla de la harina arroz y almidones de maíz es el que mayor brillo de miga (0 sería negro y 255 sería blanco). El espesor de la pared de los alveolos es mayor en el pan elaborado con harina de arroz al igual que el área media de los alveolos y el diámetro medio equivalente. Respecto a la cantidad de alveolos de diferentes tamaños (datos no mostrados) se observa como todos los panes presentan alveolos pequeños, mayoritariamente menores de 1mm. Finalmente la densidad alveolar, referida al número de alveolos por  $\text{cm}^2$ , fue mayor en el pan elaborado con los dos almidones, aunque no habiendo mucha diferencia con el pan elaborado con almidón de maíz. López et al., (2004) que realizaron mezclas con harina de arroz, almidón de mandioca y de maíz también comprobaron que los panes elaborados con harina de arroz eran los que tenían menor densidad alveolar. Sánchez et al., (2002) comprobaron que una forma de reducir el número de alveolos del pan era añadiendo a los panes elaborados con mezclas de harina de arroz, almidón de maíz y almidón de mandioca una pequeña cantidad de harina de soja, así conseguían aumentar la calidad de la estructura de la miga, disminuyendo el número de alveolos de los panes, esto ocurría gracias a las proteínas presentes en la harina de soja.

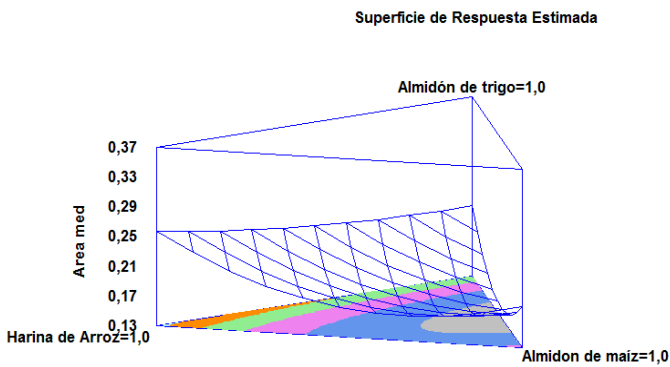
La presencia de una mayor cantidad de células de tamaños grandes (poros) explica el desarrollo inferior del pan y la menor suavidad de la miga. Se ha observado que la presencia de poros medianos en los panes contribuye a un aumento en la blandura de la miga. (Mariotti et al., 2013).



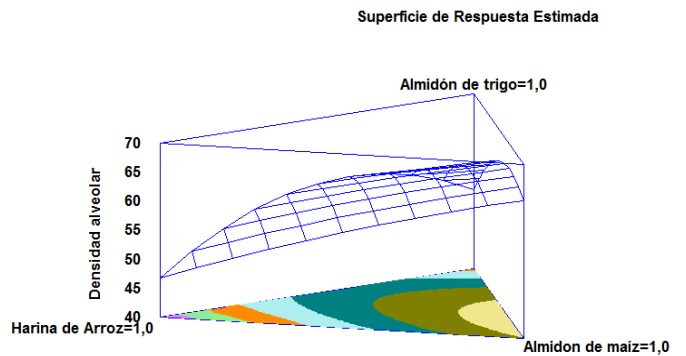
**Figura 13:** Superficie respuesta del porcentaje de vacío



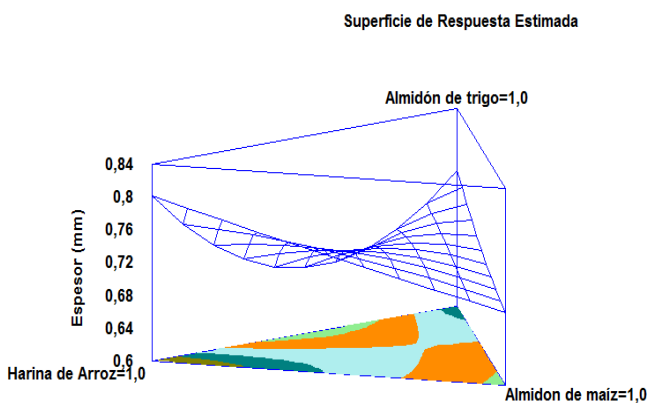
**Figura 14:** Superficie respuesta del brillo de la miga



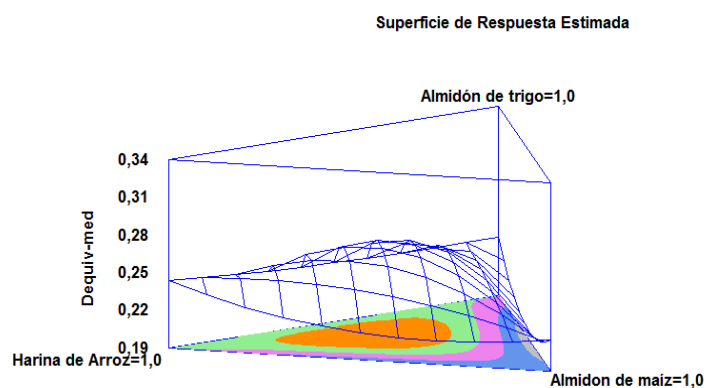
**Figura 15:** Superficie respuesta del área media.



**Figura 16:** Superficie respuesta de la densidad alveolar



**Figura 17:** Superficie respuesta del espesor.



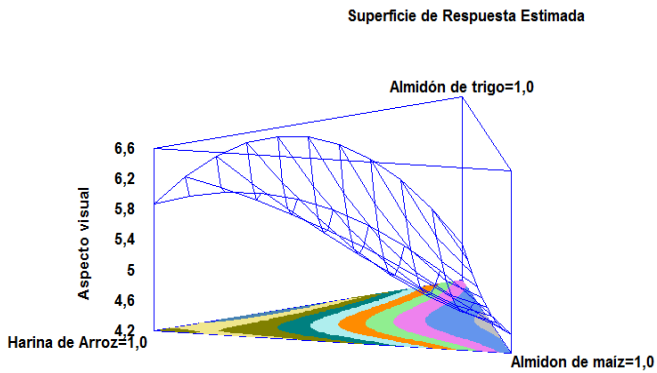
**Figura 18:** Superficie respuesta del diámetro medio equivalente



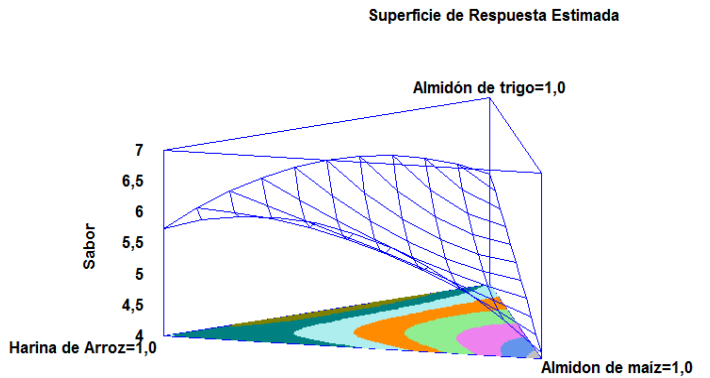
### 3.6 Análisis sensorial.

En las figuras 19, 20 y 21 se muestran las superficies respuesta del aspecto visual, del sabor y de la valoración global. Como se puede observar, las peores puntuaciones en relación al aspecto visual de los panes son para los panes elaborados con almidones, tanto el elaborado únicamente con maíz o trigo como el elaborado con la mezcla de ambos almidones. En cuanto al sabor, el pan que recibe la peor valoración es el elaborado con almidón de maíz. El último atributo evaluado y al que más importancia se le dio fue a la valoración global, de nuevo en este caso el pan con peor puntuación es el elaborado con almidón de maíz. López et al., (2004) en sus ensayos con mezclas de harina de arroz y almidón de maíz también comprobaron como los panes elaborados con harina de arroz obtuvieron mejores valoraciones en aspecto, sabor y grado general de satisfacción que los panes elaborados con almidón de maíz. Matos et al., (2012) que estudiaron las características de diferentes masas comerciales de panes sin gluten, todas ellas elaboradas con almidón de maíz y solo una elaborada con la mezcla de almidón de maíz y harina de arroz, también comprobaron que el pan mejor valorado sensorialmente fue el que contenía la harina de arroz.

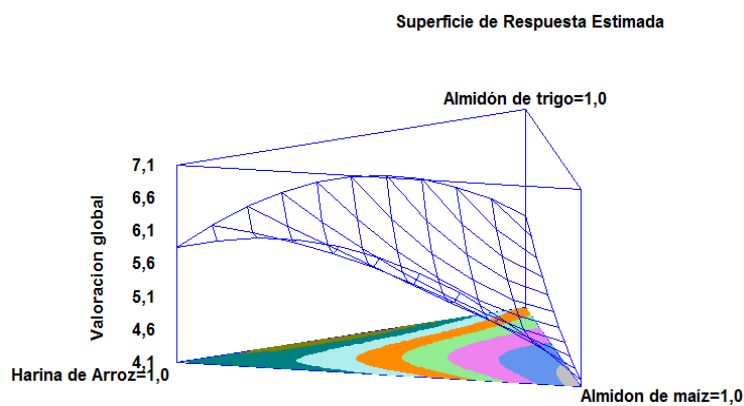
Por otro lado, y como era de esperar, el pan que mayor puntuación obtuvo en los tres atributos fue el elaborado con la mezcla de harina de arroz-almidón de trigo. Como se preveía los panes que llevan harina de arroz obtienen puntuaciones más altas en el aspecto visual ya que son los panes que poseen un color más tostado, gracias a las reacciones de Maillard que se produce durante el horneado como consecuencia de la presencia de azúcares y aminoácidos. Respecto del sabor, la conclusión más clara es que todos los panes que contienen almidón de maíz son los que peores puntuaciones obtienen, por el contrario los realizados con almidón de trigo obtienen mejores valoraciones, gracias al sabor característico que aporta el trigo a los panes. Así en la valoración global se observa como el pan más valorado es el realizado con la mezcla harina de arroz-almidón de trigo, ya que la harina de arroz proporciona color a la corteza del pan haciéndolo atractivo visualmente y el almidón de trigo proporciona un sabor característico a los panes. A través de los resultados aquí obtenidos podemos comprobar cómo el volumen del pan no es el único parámetro que los consumidores valoran, sino que el color y el sabor son atributos muy valorados por los consumidores.



**Figura 19:** Superficie respuesta del aspecto visual



**Figura 20:** Superficie respuesta del sabor



**Figura 21:** Superficie respuesta de la valoración global

#### **4 Conclusiones.**

La mezcla de diferentes harinas y almidones es necesaria para la obtención de panes sin gluten con unas características adecuadas. Se ha comprobado como los panes elaborados con almidones presentan mayores volúmenes y valores de dureza algo menores que los panes elaborados con harina de arroz. El pan elaborado con la mezcla de harina de arroz y almidón de trigo ha demostrado ser el que mejor valoración sensorial obtuvo, tanto en el aspecto visual, como en el sabor o en la valoración global del pan, esto es debido a la harina de arroz que aporta un color tostado a la corteza consecuencia de las reacciones de Mallaird y del sabor característico que le aporta el trigo.

En trabajos futuros se debería profundizar en la optimización a través de la combinación del almidón de trigo con la harina de arroz y su influencia en los parámetros instrumentales y sensoriales de los panes.

## **5. Bibliografía.**

- ACCC (2012). Approved methods of the American Association of Cereal Chemist, methods, 61-02.01 (RVA) (11<sup>th</sup> ed.) St Paul, Minnesota: *American Association of Cereal Chemist*.
- Alvarez-Jubete, L., Auty, M., Arendt, E.K., & Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *European Food Research and Technology*, vol. 230, pp. 437-445.
- Borén, M., et al, (2008). Molecular and Physicochemical Characterization of the High-Amylose Barley Mutant Amo1. *Journal of Cereal Science*, 1, vol. 47, no. 1, pp. 79-89.
- Brites, C., Trigo, M. J and Santos, C. (2010). Maized-Based gluten free bread: Influence of Processing Parameters of Sensory and Instrumental Quality. *Food and Bioprocess Technology*, vol.3, pp.707-715.
- Chlopicka, J., et al, (2012). Total Phenolic and Total Flavonoid Content, Antioxidant Activity and Sensory Evaluation of Pseudocereal Breads. *LWT - Food Science and Technology*, 5, vol. 46, no. 2, pp. 548-555.
- Crowley,P., Grau, H., and Arendt, E.K. ( 2000) Influence of additives and The Mixing Time on crumb grain characteristics of wheat bread. *Cereal Chemistry*, vol. 77, pp. 370-375.
- Czuchajowska, Z., and Pomeranz, Y. (1993). Gas-formation and gas retention 1. The system and methodology. *Cereal Foods World*, vol. 38, pp.499-503.
- D'Appolonia, L., & Morad, M. (1981). Bread staling. *Cereal Chemistry*, vol.58, pp. 186-190.
- De la Hera, E., Talegón, M., Caballero, P., & Gomez, M. (2012). Influence of maize flour particle size on gluten-free breadmaking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 15, pp. 924-932.
- Dobraszczyk, B., and Morgenstern, M. (2003). Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*, vol. 38, pp. 229-245.
- Edwards, N.M., Mulvaney, S.J., Scanlon, M.G., and Dexter, J.E. (2003). Role of gluten and Its Components in determining durum semolina dough viscoelastic properties. *Cereal Chemistry*, vol. 80, pp. 755-763.
- El-Dash, A, Gonzales, R & Ciol, M. (1983). Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. *Journal of Food Engineering*, vol. 2, pp. 129-152.
- Gomez, M., Ronda, F., Caballero, P., Blanco, C., and Rosell, C.M. (2007). Functionality of different hydrocolloids on the quality and shelf-life of yellow layer cakes. *Foods Hydrocolloids*, vol.21, pp. 167-173.

- Gujral, H.S. and Rosell, C.M. (2004). Improvement of the Breadmaking Quality of Rice Flour by Glucose Oxidase. *Food Research International*, 1, vol. 37, no. 1, pp. 75-81.
- Hager, A., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., & Arendt, E.K. (2012). Nutritional Properties and Ultra-Structure of Commercial Gluten Free Flours from Different Botanical Sources Compared to Wheat Flours. *Journal of Cereal Science*, 9, vol. 56, no. 2, pp. 239-247.
- Houben, A., Höchstötter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology*, vol. 235, pp. 195-208.
- Lefebvre, J. (2006). An outline of the non-linear viscoelastic behaviour of wheat flour dough in shear. *Rheologica Acta*, Vol. 45, pp. 525-538.
- López, A.C.B., Pereira, A.J.G. and Junqueira, R.G. (2004). Flour Mixture of Rice Flour, Corn and Cassava Starch in the Production of Gluten-Free White Bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 47, no. 1, pp. 63-70.
- Mariotti, M., Lucisano, M., Ambrogina Pagani, M. and NG, P.K.W. (2009). The Role of Corn Starch, Amaranth Flour, Pea Isolate, and Psyllium Flour on the Rheological Properties and the Ultrastructure of Gluten-Free Doughs. *Food Research International*, 10, vol. 42, no. 8, pp. 963-975.
- Mariotti, M., Pagani, M.A. and Lucisano, M. (2013). The Role of Buckwheat and HPMC on the Breadmaking Properties of some Commercial Gluten-Free Bread Mixtures. *Food Hydrocolloids*, 1, vol. 30, no. 1, pp. 393-400.
- Matos, M. E and Rosell, C. M. (2012). Relationship between instrumental parameters and sensory characteristics in gluten free bread. *European Food Research and Technology*, Vol. 235, pp. 107-117.
- McCarthy, D.F., Gallagher, E., Gormley, T.R., Schober, T.J., & Arendt, E.K. (2005). Application of response surface methodology in the development of gluten-free bread. *Cereal Chemistry*, vol. 82, pp.609-615.
- Milde, L.B., Ramallo, L.A., & Puppo, M.C. (2012). Gluten-free Bread Based on Tapioca Starch: Texture and Sensory Studies. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 5, pp.888-896.
- Miñarro, B., Normahomed, I., Guamis, B., & Capellas., M. (2010). Influence of unicellular protein on gluten-free bread characteristics. *European Food Research and Technology*, vol. 231, pp. 171-179.
- Miñarro, B., Albanellb, E., Aguilara, N., Guamisa, B & Capllas, M.(2012). Effect of Legume Flours on Baking Characteristics of Gluten-Free Bread. *Journal of Cereal Science*, 9, vol. 56, no. 2, pp. 476-481.
- Moroni, A.V., Dal Bello, F. and Arendt, E.K., (2009). Sourdough in Gluten-Free Bread-Making: An Ancient Technology to Solve a Novel Issue?. *Food Microbiology*, 10, vol. 26, no. 7, pp. 676-684.

- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. and Lindhauer, M.G., (2010). Rheological and Baking Characteristics of Batter and Bread Prepared from Pregelatinised Cassava Starch and Sorghum and Modified using Microbial Transglutaminase. *Journal of Food Engineering*, 4, vol. 97, no. 4, pp. 465-470
- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. and Lindhauer, M.G., (2011). Modification of Gluten-Free Sorghum Batter and Bread using Maize, Potato, Cassava or Rice Starch. *LWT - Food Science and Technology*, 4, vol. 44, no. 3, pp. 681-686.
- Pedrosa Silva Clerici, M.T., Airoidi, C. and El-Dash, A.A., (2009). Production of Acidic Extruded Rice Flour and its Influence on the Qualities of Gluten-Free Bread. *LWT - Food Science and Technology*, 3, vol. 42, no. 2, pp. 618-623.
- Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G. and Lindhauer, M.G., (2011). Rheological and Textural Properties of Sorghum-Based Formulations Modified with Variable Amounts of Native Or Pregelatinised Cassava Starch. *LWT - Food Science and Technology*, 4, vol. 44, no. 3, pp. 687-693.
- Renzetti, S., Dal Bello, F. and Arendt, E.K., (2008). Microstructure, Fundamental Rheology and Baking Characteristics of Batters and Breads from Different Gluten-Free Flours Treated with a Microbial Transglutaminase. *Journal of Cereal Science*, 7, vol. 48, no. 1, pp. 33-45.
- Rogers, D., Zeleznak, K., & Lai, C. H. (1988). Effect of native lipids, shortening and bread moisture on bread firming. *Cereal Chemistry*, vol. 65, pp. 398-401.
- Sabanis, D., & Tzia, C. (2011). Selected Structural Characteristics of HPMC-Containing Gluten Free Bread: A Response Surface Methodology Study for Optimizing Quality. *International journal of food properties*, vol. 14, pp. 417-431.
- Rosell, C. (2009). Enzymatic manipulation of gluten-free breads. En E.Gallagher (Ed.), *Gluten- Free Food Science and Technology* (pp. 83-98). Dublin, Irlanda: Wiley-Blackwell.
- Sánchez, H., Osella, C. and De La Torre, M., (2002). Optimization of Gluten-Free Bread Prepared from Cornstarch, Rice Flour, and Cassava Starch. *Journal of Food Science*, vol. 67, no. 1, pp. 416-419.
- Schamne, C., Dutcosky, S. D., & Demiate, I. M. (2010). Obtention and characterization of gluten-free baked products. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, vol. 30, pp. 741-750.
- Sciarini, L.S., Ribotta, P.D., León, A.E., & Pérez, G.T. (2010). Influence of Gluten-free Flours and their Mixtures on Batter Properties and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 3, pp. 577-585.
- Sciarini, L.S., Pérez, G.T., Edel León, A., & Ribotta, P.D. (2012). Partial-Baking Process on Gluten-Free Bread: Impact of Hydrocolloid Addition. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 5, pp. 1724-1732.
- Sivaramakrishnan, H.P., Senge, B. and Chattopadhyay, P.K., (2004). Rheological Properties of Rice Dough for Making Rice Bread. *Journal of Food Engineering*, 3, vol. 62, no. 1, pp. 37-45.

- Taylor, J. R. N., and Belton, P. S (2002). Sorghum. In J. R. N. Taylor, & P. S. Belton (Eds), Pseudocereals and less common cereals. Grain properties and utilization potential. *Springer*, pp. 25-91.
- Tester, R.F., Karkalas,, J. and Qi, X., (2004). Starch composition, Fine Structure and Architecture. *Journal of Cereal Science*, 3, vol. 39, no. 2, pp. 151-165
- Torbica, A., Hadnađev, M. and Dapčević Hadnađev, T. (2012). Rice and Buckwheat Flour Characterisation and its Relation to Cookie Quality. *Food Research International*, 8, vol. 48, no. 1, pp. 277-283.
- Torres, R.L., González, R.J., Sánchez, H.D., Osella, C.A., and De la Torre, M.A.G. (1999). Performance of rice varieties in making bread without gluten. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, vol. 49, pp. 162-165.
- Van Hees, N.J.M., Van der Does,W., & Giltay, E.J. (2013). Coeliac disease, diet adherence and depressive symptoms. *Journal of Psychosomatic Research*, vol.74, pp.155-160.
- Wang, F.C., and Sun, X.S. (2002). Creep recovery of wheat flour doughs and relationship to other physical dough tests and breadmaking performance. *Cereal Chemistry*, vol. 79, pp. 567–571.
- Zhang, B., et al, (2013). Supramolecular Structure of A- and B-Type Granules of Wheat Starch. *Food Hydrocolloids*, 5, vol. 31, no. 1, pp. 68-73.

## 6. ANEXO I: Datos de las ecuaciones obtenidas a partir de las superficies respuestas.

**Tabla 4:** Valores de la ecuación obtenida a través del tratamiento de las variables estadísticamente.

Variable	Almidón de trigo (a)	Harina de arroz (b)	Almidón de maíz (c)	ab	ac	bc	abc	R <sup>2</sup> (%)
Volumen específico	7,738	4,565	7,351	-1,869	1,197	-0,175	-7,594	95,74
Firmeza	0,646	0,539	1,930	1,530	-0,168	-1,289	-1,421	96,27
Elasticidad	0,901	0,695	0,917	-0,817	0,174	0,047	2,705	99,43
Cohesividad	0,610	0,527	0,506	-0,218	0,222	-0,067	0,589	95,15
Firmeza 7	2,323	1,906	4,842	2,291	-2,966	-5,680	-7,150	95,54
L* Corteza	82,225	68,821	83,637	-8,9525	18,025	7,6075	34,018	97,45
L* Miga	72,686	79,254	79,34	41,97	7,470	-12,315	45,834	95,74
Porcentaje de vacío	11,390	11,830	13,139	20,111	-7,659	-7,512	-52,046	93,25
Brillo de la miga	176,560	190,905	203,960	55,090	-188,920	32,650	657,652	94,56
Área media	0,224	0,257	0,185	-0,041	-0,242	-0,208	0,005	93,70
Diámetro medio equivalente	0,236	0,243	0,215	-0,012	-0,112	0,072	1,391	94,28
Densidad alveolar	53,555	46,666	63,777	34,666	23,556	4,888	-6,333	95,01
Espesor	0,764	0,801	0,689	-0,412	-0,043	-0,009	0,604	94,76
Aspecto visual	4,671	5,861	4,446	4,584	-0,962	3,132	-20,842	94,23
Sabor	5,777	5,733	4,096	2,648	0,052	3,714	-17,054	93,80
Valoración global	5,493	5,843	4,206	3,305	-0,869	3,399	-19,134	97,42

**Ecuación:** X almidón de trigo + Y harina de arroz + Z almidón de maíz + XY almidón de trigo\*harina de arroz + XZ almidón de trigo\*almidón de maíz + YZ harina de arroz\*almidón de maíz + XYZ almidón de trigo\*harina de arroz\*almidón de maíz.

**7. ANEXO II: Imágenes de resto de las elaboraciones.**



**Figura 22:** Imágenes de los panes elaborados con la mezcla de harina y almidones (A), con harina de arroz y almidón de maíz (B), con harina de arroz y almidón de trigo (C) y con almidón de maíz y almidón de trigo (D).



**9. ANEXO III: Modelos de ficha de cata.****CUESTIONARIO**

Estamos realizando un estudio de consumidores sobre la mejora de la calidad de panes sin gluten, y para ello necesitamos su colaboración. Por favor conteste a las siguientes preguntas, marcando con una cruz la opción elegida.

Sexo:  H  M

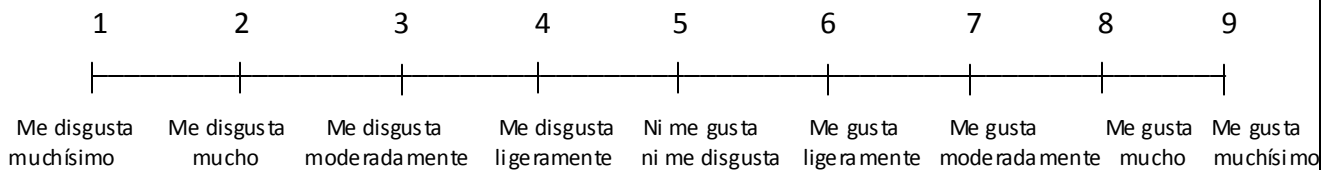
Edad:  De 18 a 24 años.  De 25 a 34 años.  De 35 a 54 años.

De 45 a 54 años.  De 55 a 64 años.  Más de 65 años.

**FICHA DE CATA**

A continuación se le presentan diferentes muestras para que las evalúe de una en una en orden aleatorio.

Puntúe cada uno de los parámetros solicitados del 1 al 9 en función de la siguiente escala.



	9451	4321	2391	1983	7927	7432	3695
Aspecto visual							
Sabor							
Valoración Global							

Por favor, comenta e observaciones las características de cada uno de los panes que más te hallan llamado la atención

Observaciones:

---



---



---



---



---

**MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACIÓN**