

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



UTILIZACIÓN DEL SUBPRODUCTO DE LA HORCHATA EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS CON BASE DE HARINA DE TRIGO (CHIPS, PIZZAS Y PANES)

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

Cecibel Lisbeth Alava Pincay

Directores académicos:

Raúl Grau Meló

José Manuel Barat Baviera

Director experimental

Samuel Verdú Amat

Noviembre 2018

AGRADECIMIENTO

A Dios por llevarme de su mano, y darme sabiduría, mansedumbre, paciencia, confianza para realizar el presente trabajo.

A mis tutores de tesis, Raúl Grau, J. M. Barat, y Samuel Verdú, por la confianza que depositaron en mí y por cada una de las enseñanzas aportadas para mi aprendizaje. En especial a Raúl por su excelente profesionalismo, veracidad y responsabilidad, por su guía y valioso tiempo dedicado hacia la excelencia en este proceso de investigación.

A toda mi familia quienes en cada momento me han acompañado en pensamiento, brindando su amor incondicional, apoyo y ánimo. Les amo.

A todos los amigos y compañeros, siempre conservaré cada amistad como una dádiva muy especial.

A mi país, a la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación y al Instituto de Formación al Talento Humano del Ecuador por el apoyo económico.

“Empieza por hacer lo necesario, luego lo que es posible y de pronto te encontrarás haciendo lo imposible” “Concédeme serenidad para aceptar las cosas que no puedo cambiar, dame el coraje para cambiar las que sí puedo y sabiduría para entender la diferencia que hay entre ellos”

San Francisco de Asís

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza espiritual cada día, por enseñarme con ternura a sonreír suavemente a la vida. Por terminar este trabajo guiada y volcada en él.

A mi familia por demostrarme que mañana será mejor que hoy, son el tesoro más valioso.

A mis amigos, creyeron con plena convicción que este sueño sería una realidad.

A las nuevas amistades que ahora forman parte de mi vida.

A todas aquellas personas que emprenden nuevos retos en tierras extranjeras, para el cumplimiento de sus anhelos y un futuro mejor.

A aquellos que conocí y ya no están.

Este logro no me hará más grande sino más humilde.

RESUMEN

RESUMEN

En el presente documento de tesis se ha estudiado el efecto de la incorporación del coproducto procedente de la elaboración de horchata de chufa, en productos no fermentados y con diferentes niveles de fermentación. Para ello se ha estudiado su incorporación a tres niveles (5%, 10% y 20%) al procesado de chips, bases de pizza y panes. Los dos primeros niveles de sustitución se establecieron con la finalidad de obtener productos que puedan ser etiquetados como “fuente de fibra” o “alto contenido en fibra”. Cuatro fueron los formatos de coproducto testados, total (obtenido directamente del procesado de la chufa), tamizado (con la finalidad de obtener la fracción blanca al eliminar en gran parte la lignina del coproducto total) y los dos anteriores triturados. En cada producto se evaluaron las propiedades fisicoquímicas en las etapas más influyentes del procesado y en el producto terminado, al que también se le realizó un análisis sensorial. Los resultados mostraron la viabilidad de la incorporación del coproducto de la elaboración de horchata en los productos elaborados, si bien es necesario tener en cuenta los efectos que su incorporación genera sobre las masas y por consiguiente en el producto final. Este efecto está ligado a la alteración de la red de gluten por parte de la fibra procedente del coproducto, la cual altera la viscoelasticidad de la masa, reduciendo su retracción y su capacidad para retener gas durante los procesos fermentativos. Aun teniendo en cuenta dicha alteración, se lograron

desarrollar chips, bases de pizza y panes con niveles de sustitución de harina de trigo por coproducto de entre 5 y 10%, los cuales fueron evaluados positivamente por los consumidores. De entre los diferentes formatos de coproducto que mostraron mejores resultados, en el caso de los chips fueron los coproductos total o el total triturado, y para las bases de pizzas fueron los coproductos tamizado y tamizado triturado. Para el caso de los panes, el coproducto estudiado fue el total, el cual presentó muy buenos resultados sin la incorporación de otras harinas mejoradoras como la obtenida de semillas de chía, para incrementar el volumen de fermentación.

ABSTRACT

In this thesis document, we have studied the effect of the incorporation of the co-product from the production of tiger-nut horchata, in non-fermented products and products with different fermentation degree. To this end, coproduct was incorporated at three levels (5%, 10% and 20%) into the processing of chips, pizza bases and breads has been studied. The first two substitution levels were established in order to obtain products that can be labeled as "fiber source" or "high fiber content". Four coproduct formats were tested, total (obtained directly from tiger-nut processing), sifted (in order to obtain the white fraction by largely eliminating lignin from the total coproduct) and both milled. The physicochemical properties were evaluated for each product in the most influential stages of the processing and in the end product. Sensory analysis were also carried out. The results showed the viability of the incorporation of the co-product in the elaborated products, although it is necessary to take into account the effects that its incorporation generates on the doughs and consequently on the end product. This effect is linked to the alteration of the gluten network by the fiber, which alters the viscoelasticity of the dough, reducing its retraction and its capacity to retain gas during the fermentation processes. Even taking into account this alteration, chips, pizza bases and breads could be developed with the substitution of wheat flour by coproduct between 5 and 10%, which were evaluated positively by consumers.

Among the co-product formats, in chips, the total or the total milled were which showed the best results, being the sieving and the sieving milled those that showed it for the pizza bases. In breads, the total coproduct was studied, which presented very good results without to incorporate other improver flours (chia seed flour) to increase the fermentation volume.

RESUM

En el present document de tesi s'ha estudiat l'efecte de la incorporació del coproducte procedent de l'elaboració d'orxata de xufa, en productes no fermentats, semi-fermentats i fermentats. Per això, s'ha estudiat la seva incorporació a tres nivells (5%, 10% i 20%) al processat de xips, bases de pizza i pans. Els dos primers nivells de substitució es van establir amb la finalitat d'obtenir productes que puguen ser etiquetats com a "font de fibra" o "alt contingut en fibra". Quatre van ser els formats de coproducte testats, total (obtingut directament del processat de la xufa), tamisat (amb la finalitat d'obtenir la fracció blanca i eliminar en gran part la lignina del coproducte total) i els dos anteriors triturats. A cada producte es van avaluar les propietats fisicoquímiques en les etapes més influents del processat i en el producte acabat, al qual també se li va realitzar una anàlisi sensorial. Els resultats van mostrar la viabilitat de la incorporació del coproducte de l'elaboració d'orxata en els productes elaborats, si bé cal tenir en compte els efectes que la seva incorporació genera sobre les masses i, per tant, en el producte final. Aquest efecte està lligat a l'alteració de la xarxa de gluten per part de la fibra procedent del producte, la qual altera la viscoelasticitat de la massa, reduint la seva retracció i la seva capacitat per retenir gas durant els processos fermentatius. Tenint en compte aquesta alteració, es van poder desenvolupar xips, bases de pizza i pans amb

nivells de substitució de farina de blat per coproducte d'entre 5 i 10%, els quals van ser avaluats positivament pels consumidors. D'entre els diferents formats de coproducte, en el cas dels xips, el total o el total triturat van ser els que van mostrar millors resultats, sent el tamisat i el tamisat triturat els que ho van mostrar per les bases de pizza. En el cas dels pans, l'estudiat va ser el total, el qual va presentar molt bons resultats sense la necessitat d'incorporar farines naturals (farina de llavor de chía) per millorar la fermentació.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	IV
<i>RESUMEN</i>	<i>V</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>VII</i>
<i>RESUM</i>	<i>IX</i>
ÍNDICE DE FIGURAS	16
ÍNDICE DE TABLAS	24
INTRODUCCIÓN	25
1. INTRODUCCIÓN	26
1.1. LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	26
1.1.1. <i>Subproductos generados en la industria alimentaria</i>	26
1.2. SUBPRODUCTOS EN LA INDUSTRIA DE PANIFICACIÓN	28
1.2.1 <i>Importancia del gluten</i>	29
1.2.2 <i>Importancia de la fibra</i>	31
1.3. INDUSTRIA ELABORADORA DE HORCHATA DE CHUFA	32
1.3.1 <i>Características del coproducto de horchata de chufa</i>	35
2. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
OBJETIVOS	45
<i>OBJETIVO GENERAL</i>	46
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	46
CAPÍTULO I	49
EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL COPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA PROCEDENTE DE CHUFA (CYPERUS ESCULENTUS) EN LAS PROPIEDADES DE SUPERFICIE Y DIFUSIONALES DE MATRICES OBTENIDAS CON HARINA DE TRIGO	49
1. INTRODUCCIÓN	51
2. MATERIALES Y MÉTODOS	55
2.1. ACONDICIONAMIENTO DEL COPRODUCTO DE HORCHATA Y HARINAS USADAS	55
2.2. PRODUCCIÓN DE MATRICES BASADAS EN TRIGO	58
2.3. CÁLCULO DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL	61
2.4. INTERACCIÓN ENTRE LA MATRIZ Y LOS SOLVENTES MODELOS	62
2.4.1. <i>Mojabilidad de los disolventes modelo</i>	62
2.4.2. <i>Ensayo de difusión de solventes</i>	63
2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
3.1.	PÉRDIDA DE MASA DURANTE EL PROCESO DE HORNEADO	65
3.2.	TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA MATRIZ BASADA EN TRIGO	65
3.3.	MOJABILIDAD DE LOS DISOLVENTES MODELO	67
3.4.	DIFUSIÓN DE SOLVENTES	73
4.	CONCLUSIONES	78
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
	CAPÍTULO II	85
	ENRIQUECIMIENTO DE CHIPS CON FIBRA, PROCEDENTE DEL COPRODUCTO OBTENIDOS DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA, HASTA NIVELES DE “FUENTE DE FIBRA” Y “ALTO NIVEL EN FIBRA”: IMPACTO SOBRE EL PROCESADO Y LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES	85
1.	INTRODUCCIÓN	87
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	89
2.1.	MATERIAS PRIMAS: HARINA DE TRIGO Y ACONDICIONAMIENTO DEL COPRODUCTO DE HORCHATA	89
2.2.	PROCESAMIENTO DE CHIPS	92
2.3.	EVOLUCIÓN DE LA MASA EN LA FASE DE HORNEADO	94
2.4.	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL: PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES	95
2.4.1.	<i>Pérdida de masa y propiedades morfológicas</i>	95
2.4.2.	<i>Análisis de textura</i>	96
2.4.3.	<i>Mediciones de color</i>	96
2.4.4.	<i>Propiedades sensoriales</i>	97
2.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	98
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	99
3.1.	EVOLUCIÓN DE LA MASA EN LA FASE DE HORNEADO	99
3.2.	CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL: PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES	103
3.2.1.	<i>Pérdida de masa y propiedades morfológicas</i>	103
3.2.2.	<i>Análisis textural</i>	107
3.2.3.	<i>Parámetros de Color</i>	109
3.2.4.	<i>Propiedades sensoriales</i>	111
4.	CONCLUSIONES	114
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

CAPÍTULO III	121
DESARROLLO DE BASES DE PIZZA CONGELADA ENRIQUECIDAS CON FIBRA PROCEDENTE DEL COPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA	121
1. INTRODUCCIÓN	124
2. MATERIALES Y MÉTODOS	128
2.1. HARINAS	128
2.2. PROCESADO DE LA BASE DE PIZZA	131
2.3. FASE DE FERMENTACIÓN	133
2.4. PRIMER HORNEADO	133
2.5. CONGELADO	133
2.6. SEGUNDO HORNEADO	134
2.7. ADICIÓN DE SALSAS	134
2.8. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	135
2.8.1. <i>Estudio de la etapa de fermentación y primer horneado</i>	135
2.8.2. <i>Estudio del segundo horneado</i>	137
2.8.3. <i>Adición de salsas</i>	139
2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	144
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	145
3.1. ANTES DE LA FASE DE FERMENTACIÓN	145
3.2. DESPUÉS DEL PRIMER HORNEADO	149
3.3. SEGUNDO HORNEADO	159
3.4. ADICIÓN DE SALSAS	174
3.5. ANÁLISIS SENSORIAL	198
4. CONCLUSIONES	200
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	201
CAPÍTULO IV	213
IMPACTO DE LA INCORPORACIÓN DEL COPRODUCTO PROCEDENTE DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA SOBRE EL PROCESADO DE PAN Y SU ALMACENAMIENTO	213
1. INTRODUCCIÓN	216
2. MATERIALES Y MÉTODOS	219
2.1. HARINAS USADAS	219
2.2. PROCESADO DE LA MASA DE PAN	222
2.3. FASE DE FERMENTACIÓN	223
2.4. FASE DE HORNEADO	224

2.5.	ALMACENAMIENTO	225
2.6.	DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE LOS PANES	226
2.6.1.	<i>Volumen específico</i>	226
2.6.2.	<i>Humedad</i>	226
2.6.3.	<i>Análisis de perfil de textura</i>	227
2.6.4.	<i>Análisis de imagen de la miga</i>	227
2.7.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	230
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	232
3.1.	FASE DE FERMENTACIÓN	232
3.2.	FASE DE HORNEADO	236
3.3.	DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE PANES	237
3.3.1.	<i>Volumen específico</i>	237
3.3.2.	<i>Humedad</i>	237
3.3.3.	<i>Estructura de la miga</i>	238
3.4.	ALMACENAMIENTO DE PANES	247
4.	CONCLUSIONES	251
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	252
	CAPÍTULO V	261
	MEJORA DE LA PANIFICACIÓN DE PAN CON COPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA	261
1.	INTRODUCCIÓN	263
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	265
2.1.	PROCESO DE ELABORACIÓN DEL PAN	265
2.2.	DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE LOS PANES	265
2.2.1.	<i>Análisis sensorial</i>	265
2.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	266
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	267
3.1.	FASE DE FERMENTACIÓN	267
3.2.	FASE DE HORNEADO	269
3.2.1.	<i>Análisis de la variación de masa durante el procesado</i>	269
3.3.	DETERMINACIONES ANALÍTICAS DE PANES	270
3.3.1.	<i>Volumen específico</i>	270
3.3.2.	<i>Humedad</i>	271
3.3.3.	<i>Actividad de agua</i>	272
3.3.4.	<i>Análisis de textura</i>	273

3.3.5.	<i>Propiedades sensoriales</i>	276
4.	CONCLUSIONES	280
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	281
	CONCLUSIONES GENERALES	285
	<i>CONCLUSIONES GENERALES</i>	286
	PUBLICACIONES REALIZADAS DURANTE EL PERIODO DE REALIZACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL	288

ÍNDICE DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

Figura 1. Diagrama de flujo del procesamiento de la horchata de chufa procedente de Valencia-España. Adaptado por el autor. Fuente: Sánchez-Zapata et al. (2009) 33

CAPÍTULO I

Figura I.1. Vista microscópica óptica del coproducto completo (A), partícula del tejido interno del tubérculo (B), partículas de tejido interno incluida en la superficie de la matriz de trigo (CD), partícula de peridermo incluida en la superficie de la matriz de trigo (E-F). Contraste en C, D, E, F llevado a cabo por la tinción de yodo-lugol 58

Figura I.2. Gráfico Zisman que representa $\cos \theta$ vs. γ_1 para las fórmulas de la matriz a base de trigo. A: T sustituciones y B: W sustituciones. Números 1, 2 and 3 representa el $\cos \theta$ de dipropilenglicol, polietilenglicol 200 y glicerol, respectivamente. Control ●; T 5% ◆, 10% ■ and 20% ▲; W 5% ◆, 10% ■ and 20% ▲. La línea discontinua negra representa $\cos \theta = 1$. La línea discontinua roja representa el γ_s para la fórmula de control. 67

Figura I.3. Ángulo de contacto θ grados en gotas de agua (A) y aceite (B) vs. tiempo (s) para las fórmulas de la matriz basada en trigo. A1: T/agua; B1: T/aceite; A2: W/agua; B2: W/aceite. Control ●; T: 5% ◆, 10% ■ and 20% ▲; W: 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲. Ajuste lineal a los t_0 está representada por líneas discontinuas, y sus ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación están indicados. Las letras significan diferencias significativas de grados y harinas a t_0 y t_{25} segundos en el mismo solvente en $P \leq 0,05$. 72

Figura I.4. Flujo de solventes con el tiempo ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$). A1: T/agua; B1 T/aceite y A2: W/agua; B2: W/aceite. Control ●; T: 5% ◆, 10% ■ and 20% ▲; W: 5% ◆, 10% ■ and 20% ▲. Las letras significan diferencias significativas de grados y harinas a los 10 segundos en el mismo solvente en $P \leq 0,05$. 76

Figura I.5. Flujo de solventes ($\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$) vs. Contenido de agua (X_w)/contenido de aceite (X_o) durante la inmersión. A1: T/agua; B1: T/aceite y A2: W/agua; B2: W/aceite. Control ●; T: 5% ◆, 10% ■ and 20% ▲; W: 5% ◆, 10% ■ and 20% ▲. Se indican las secciones iniciales de humedad y tiempo en segundos. 77

CAPÍTULO II

Figura II.1. Muestras chips de las diferentes formulaciones utilizadas en los análisis sensoriales. 98

Figura II.2. Evolución de la masa en la fase de horneado (0-30 minutos) y tiempo de temperado (30-40 minutos). A1: harina W; A2: harina Wrp; B1: harina T; B2: harina Trp. ΔM : pérdida de masa en %. Triángulos con línea continua: 35% gris, 5% de sustitución; 50% gris, 10% de sustitución; negro,

20% de sustitución; círculos negros: control con línea discontinua. Barras marcan la desviación estándar.	101
Figura II.3. A: imagen de muestras de chips formuladas con coproducto total T al 0%, 5%, 10% y 20% de sustitución (b.s.). B: incremento del área de chips después de la fase de formado vs. nivel de sustitución. Cuadros rellenos: W harina; cuadrado vacío: Wrp harina; triángulo relleno: T harina; triángulo vacío: Trp. ΔA : superficie incrementada en comparación con el control (%). Barras marcan la desviación estándar.	102
Figura II.4. Relación entre dureza (H) en gramos, área de chip en cm^2 (A) y promedio del tamaño de partícula (Ps: D [4, 3]) en μm . Cuadrado relleno: harina W; cuadrado vacío: harina Wrp; triángulo relleno: harina T; triángulo vacío: harina Trp.	109
Figura II.5. Índice de blancura (WI) vs. % de sustitución. Cuadrado relleno: harina W; cuadrado vacío: harina Wrp; triángulo relleno: harina T; triángulo vacío: harina Trp. Barras marcan la desviación estándar. Línea roja marca el índice WI de las muestras de harina de trigo puro. Líneas horizontales discontinuas marcan \pm desviación estándar de muestras de harina de trigo puro.	111
CAPÍTULO III	
Figura III.1. Muestras de pizza (mini pizzas) elaboradas para la cata con salsa de nata (izquierda) y tomate (derecha).	144
Figura III.2. Relación entre espesores y pesos de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Barras en negro: error estándar.	147
Figura III.3. Relación entre densidades y pesos de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente).	149
Figura III.4. Relación entre el peso inicial y el peso final (tras primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. Barras en negro: error estándar.	151
Figura III.5. Relación entre el espesor inicial y el espesor final (tras primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de	

sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. Barras en negro: error estándar. 153

Figura III.6. Relación entre el incremento de espesor y de peso (antes y después del primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 154

Figura III.7. Relación entre el espesor y de peso final (después del primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 155

Figura III.8. Relación entre la variación de masa y la humedad para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 160

Figura III.9. Relación entre la actividad de agua y la humedad para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 162

Figura III.10. Relación entre la Fuerza máxima y la humedad (A, B) y entre el trabajo y la humedad (C, D) para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A, C) o de 1,8 mm (B, D) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 165

Figura III.11. Relación entre la luminosidad y la humedad para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris

- Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 167
- Figura III.12.** Relación entre la coordenada de color b^* y a^* para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 170
- Figura III.13.** Relación entre el índice de marrón (BI) y el de blancura (WI) para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. 170
- Figura III.14.** PC1 vs PC2 para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos verdes son los factores de estudio. Puntos rojos representan las muestras control. 173
- Figura III.15.** Ampliación del gráfico PC1 vs PC2 en el área de la componente PC1 en la que se encuentran las pizzas control (HT). Muestras con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos verdes = factores de estudio (WI = índice de blancura; L = luminosidad; ΔM = pérdida de peso durante el horneado; X^w = fracción de agua final). Los números expresan el tiempo de horneado. Puntos rojos representan las muestras control. 174
- Figura III.16.** Flujo de solventes ($g/cm^2.s$). Las figuras representan: coproducto total (cuadrado); coproducto blanco (triángulo); control (círculo). Los colores representan: salsa tomate (negro); salsa nata (gris). 177
- Figura III.17.** Sección transversal de muestras de pizzas. El círculo representa el tamaño de burbuja. 178
- Figura III.18.** A. Superficie de las pizzas con las líneas de píxeles seleccionadas para el estudio de las perforaciones. B. Análisis de los tonos de grises de las líneas de píxeles seleccionadas en las imágenes de A. Coproducto total, negro; coproducto blanco, violeta; control, rojo. 179
- Figura III.19.** Variación de masa de pizzas con salsas horneadas a 15 y 20 minutos. Columna con trama: pizza con salsa de nata; Columnas sólidas:

pizzas con salsa de tomate. Color rojo: control; Color amarillo: coproducto blanco; Color gris: coproducto total. Barras marcan desviación estándar.	181
Figura III.20. Humedad de las pizzas con salsas horneadas a 15 y 20 minutos. Columna con trama: pizza con salsa de nata; Columnas sólidas: pizzas con salsa de tomate. Color rojo: control; Color amarillo: coproducto blanco; Color gris: coproducto total. Las líneas horizontales discontinuas representan la humedad promedio de las muestras sin salsas antes del segundo horneado (congelada). Barras representan desviación estándar.	183
Figura III.21. Relación entre la actividad de agua y la humedad para los tiempos de horneado 15 minutos (símbolos con trama) y 20 minutos (símbolos rellenos) de las pizzas control (símbolo redondo), con coproducto total T (símbolos cuadrados) o blanca W (símbolos triangulares) en salsa de tomate (símbolos grises) o de nata (símbolos amarillos). Barras describen la desviación estándar.	184
Figura III.22. Relación entre los parámetros de color luminosidad (L), índice de blancura (WI) e índice de marrón (BI) de pizzas horneadas con salsa. Líneas discontinuas, BI; líneas continuas, L. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.	186
Figura III.23. Relación entre los parámetros de color a^* y b^* de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.	187
Figura III.24. Relación entre la humedad y la dureza de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.	188
Figura III.25. Relación entre trabajo y la dureza de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.	189
Figura III.26. Relación entre la cohesividad y la gomosidad (A) y entre la masticabilidad y la resiliencia (B) de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.	191
Figura III.27. Número de tonos de píxeles para cada uno de los canales (rojo, verde y azul) de pizzas con salsa de nata (A) o de tomate (B). Líneas rojas, muestras control, líneas amarillas, coproducto blanco, líneas grises, coproducto total. Líneas discontinuas, 15 minutos de horneado. Líneas	

continuas, 20 minutos de horneado.	194
Figura III.28. Imágenes de pizzas con salsas horneadas a 15 minutos (primera fila) y 20 minutos (segunda fila). Las letras representan: harina de trigo puro, HT; coproducto blanco, W; coproducto total, T.	195
Figura III.29. Resultados de la componente PC1 vs PC2 del estudio de PCA realizado a partir de la información de los espectros de las pizzas con salsa de tomate (A) o de nata (B). Círculo, control; Cuadrado, coproducto total; Triangulo, coproducto blanco. Símbolo con trama, 15 minutos de horneado. Símbolo relleno, 20 minutos de horneado.	196
Figura III.30. Resultados de la componente PC1 vs PC2 del estudio de PCA realizado a partir de la información de todas las variables para las pizzas con salsa de tomate (A) o de nata (B). Círculo, control; Cuadrado, coproducto total; Triangulo, coproducto blanco. Símbolo con trama, 15 minutos de horneado. Símbolo relleno, 20 minutos de horneado. Puntos negros, variables: a_w , actividad de agua; X^w , humedad; ΔM , variación de masa, L, luminosidad; a^* coordenada rojo-verde; b^* , coordenada amarillo-azul; BI, índice de marrón; WI, índice de blancura; D, dureza; E, elasticidad; G, gomosidad; C, cohesividad; R, resiliencia; M, masticabilidad; PC1 y PC2, primeras componentes del estudio de imagen.	198
Figura III.31. Resultado del análisis sensorial de las bases de pizza elaboradas con salsa de tomate (A) o nata (B). Línea amarilla, coproducto blanco, línea gris, coproducto total. Línea continua 15 minutos de horneado. Línea continua 20 minutos de horneado.	199

CAPÍTULO IV

Figura IV.1. Imágenes aumentadas de los tejidos contenidos en el coproducto de la horchata de chufa. A: fragmento del tejido externo del coproducto; B: fragmentos de los tejidos internos del coproducto; C: ambos tipos de tejidos.	221
Figura IV.2. Un ejemplo de procesamiento de imágenes. A: imagen de una loncha control. B: imágenes segmentadas que muestran patrones de estructura de migas cubiertas en diferentes valores de gris. C: El diagrama muestra el espectro obtenido de una dimensión fractal de cada imagen.	230
Figura IV.3. Cinética de evolución de la altura de la masa durante el tiempo de fermentación. Los puntos marcan los promedios de los datos observados y las barras indican desviación estándar. Las líneas discontinuas marcan el modelo ajustado por la ecuación de Gompertz. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo. Los valores en la curva del control indican el porcentaje de su altura máxima alcanzada por las fórmulas sustituidas.	234
Figura IV.4. Espacio PCA generado a partir de los espectros fractales de migas. Las circunferencias incluyen cada fórmula. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo.	239
Figura IV.5. Ejemplos de las imágenes segmentadas de migas basadas en los valores grises con cargas máximas en la explicación de la varianza (loadings) de PCA en la Figura IV.4. Área blanca: valores grises de PC1	

<i>seleccionado</i> ; Área roja: valores grises de <i>PC2</i> <i>seleccionado</i> .	240
Figura IV.6. Micrografía de la estructura de migas de pan que contenían coproducto de la horchata de chufa. b: burbuja; w: paredes de matriz / burbujas; las flechas negras indican la presencia de partículas de coproducto.	242
Figura IV.7. Comparación de las estructuras de migas de las zonas de corte A y B. Línea roja: humedad (X_w) de las zonas A; Línea negra: humedad de las zonas B; circunferencias y línea negra discontinua: diferencias entre los valores medios de PC1-score de las zonas de migas observadas en las PCAs individuales de la Figura IV.8, líneas de puntos verdes.	244
Figura IV.8. Los espacios únicos de PCA generados a partir de los espectros fractales de las zonas A (símbolos rellenos) y B (símbolos sin relleno) de cada fórmula. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo. Las líneas de puntos verdes indican los puntajes promedio de PC1.	245
Figura IV.9. Evolución de la humedad de los panes enteros durante el tiempo de almacenamiento. Los puntos marcan los promedios de los datos observados y las barras indican las desviaciones estándar. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo.	247
Figura IV.10. Relación de humedad (X_w) y dureza (D) en N, de las zonas A (símbolos rellenos) y B (símbolos sin relleno) durante el almacenamiento. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo. Los valores en las líneas indican niveles de sustitución. Una letra significa zonas de miga. Las barras indican desviaciones estándar.	248

CAPÍTULO V

Figura V.1. Incremento de altura en masas de panes control (línea roja), elaborados con coproducto (líneas negras) y elaborados con coproducto más harina de chía al 5%. Línea continua a excepción del control, 5% de coproducto; Línea discontinua trazo largo, 10% de coproducto; Línea discontinua trazo corto, 20% de coproducto. Barras son desviaciones estándar. Los valores en la curva del control indican el porcentaje de su altura máxima alcanzada por las fórmulas sustituidas.	268
Figura V.2. Evolución de la masa en las fases de horneado (35 minutos) y temperado (30 minutos). Figuras geométricas representan las harinas: trigo puro, círculo rojo; chía, triángulo; coproducto, cuadrado. Todas en proporciones de coproducto al 5%, 10%, 20% de arriba hacia abajo. ΔM Pérdida de masa en %. La marca de agua señala la fase de temperado. Barras marcan la desviación estándar.	270
Figura V.3. Parámetros texturales de panes elaborados a base de harina de trigo puro (Control), coproducto al 5%, 10% o 20% (T5, T10 o T20) y chía al 5% (CHI5). Las columnas representan: negro, dureza (D) en N; azul, gomosidad (G). Líneas: verde, resiliencia (R); negra, masticabilidad (Ch); roja, cohesividad (Co); morada, elasticidad (E). Barras marcan la desviación estándar.	275
Figura V.4. Relación entre la dureza (N) y el volumen (Sv) para los panes	

elaborados a base de harina de trigo puro (símbolo rojo), coproducto (símbolos negros) al 5% (triángulo), 10% (rombo), 20% (cuadrado) y con coproducto más chía al (5%) (símbolos morados). Barras marcan la desviación estándar.

276

Figura V.5. Análisis sensorial de panes elaborados con harinas de trigo puro (línea roja), coproducto (líneas negras) al 5% (línea continua), 10% (línea discontinua) y al 20% (línea punteada), y chía (5%) (líneas moradas).

278

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla I.1. Resultados de pérdida de masa, cantidad de agua y aceite, tensión superficial y difusión del solvente	71
---	----

CAPÍTULO II

Tabla II.1. Caracterización de las harinas de coproducto de horchata y trigo	92
Tabla II.2. Resultados de las propiedades fisicoquímicas de chips	106
Tabla II.3. Resultados de las propiedades sensoriales de chips	113
Tabla II.4. Mapa de correlación entre propiedades fisicoquímicas y sensoriales	114

CAPÍTULO III

Tabla III.1. Resultados de índices de color en pizzas después del primer horneado.	158
Tabla III.2. Propiedades fisicoquímicas de pizzas horneadas a diferentes tiempos con grosor de laminado 2,5mm	210
Tabla III.3. Propiedades fisicoquímicas de pizzas horneadas a diferentes tiempos con grosor de laminado 1,8mm	211

CAPÍTULO IV

Tabla IV.1. Resultados de la evolución de la masa durante las fases de fermentación, horneado y temperado	235
Tabla IV.2. Parámetros texturales en dos diferentes zonas de migas del pan durante el almacenamiento	260

CAPÍTULO V

Tabla V.1. Resultados de la evolución de la masa en la fase de horneado y determinaciones analíticas	273
Tabla V.2. Determinaciones del análisis sensorial de panes elaborados con harinas de coproducto y chía	279

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La industria alimentaria

La FAO ha indicado que la pérdida de alimentos (producidas en las etapas de producción, postcosecha y procesamiento de la cadena de suministro alimentario) y desperdicios (vinculados a las últimas fases de la cadena - comportamiento de minoristas y consumidores) cada año en todo el mundo es 1,3 billones de toneladas de alimentos, lo cual representa 1/3 de los alimentos producidos para el consumo humano. Las Naciones Unidas entre sus metas de Desarrollo Sostenible para 2030 incluye reducir a la mitad el desperdicio mundial de alimentos per cápita en la venta al por menor y a nivel de los consumidores, así como reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y distribución. Para minimizar las pérdidas y desperdicios de alimentos se propone la remodelación del sistema alimentario sostenible, tomando acciones en el sector empresarial como la investigación e innovación, buscando mejorar la ingeniería de procesos y tecnología para disminuir mermas y aprovechar el desarrollo de subproductos (FAO, 2015; Parfitt et al., 2010; Prieto, 2016).

1.1.1. Subproductos generados en la industria alimentaria

El aprovechamiento de residuos generados del procesamiento de las industrias alimentarias ha incrementado en estos últimos años,

concienciando sobre el impacto en el ecosistema. Dependiendo de la elaboración industrial, el fraccionamiento, refinado de los alimentos, o tipo de alimentos, los residuos pueden contener más o no aportes nutritivos. Entre estos, tenemos la extracción de zumo de frutas, que generan sobrantes ricos en nutrientes, el pulimiento del arroz o la retirada del salvado del trigo que hacen que estos pierdan nutrientes, o del procesamiento del atún enlatado de cuyos sobrantes se elaboran harina, sopas, aceite y concentrado soluble de atún con numerosos nutrientes (Comité Mundial de Seguridad Alimentaria, 2014).

Entre el aprovechamiento de los residuos para ser utilizados como ingredientes o agentes mejoradores de nuevos productos o productos existentes, tenemos la recuperación de aceite comestible de cocina a base de salvado de arroz rico en antioxidantes, extracción de grasas de los subproductos de la matanza de cerdos para elaborar gelatina, recuperación de proteínas de aguas antes consideradas residuales de la elaboración de almidón de patata. Por ello, se apunta hacia conferir valor comercial a los residuos que pueden servir para la alimentación humana y no únicamente como porción no comestible destinado a piensos, compost, energía o vertederos; como es el caso de los subproductos de cerveza, que por sus propiedades ricos en fibra son utilizados para elaborar panes, o como los subproductos de trigo destinados para la industria de alimentos balanceados, que

contienen más nutrimentos que la harina para consumo humano (Vargas, 2000).

1.2. Subproductos en la industria de panificación

La industria de la panificación ya hace uso de subproductos ricos en vitaminas y otros nutrientes además de fibras, puesto que la ciencia ha demostrado que estos se pierden durante la limpieza del grano (Tovar, 2006). El consumo desmesurado de productos a base de trigo, ha incrementado los costos de la harina y del grano de trigo, ya que no todos los países poseen suficiente materia prima para abastecer la demanda o no tienen las condiciones para generar la materia prima (Nwanekezi, 2013; Tovar, 2006). Para mejorar la calidad de los productos, y abaratar costos de la harina de trigo, desde siempre se ha sustituido parte de la harina de trigo por otras harinas no tradicionales a base de centeno, mijo, garbanzo, arroz, soja, maíz, mandioca, semillas de calabaza, castaña, haba seca, entre otros.

En la actualidad, el enfoque es más nutritivo, saludable y ecológico, se usan subproductos como bagazo de cerveza, salvado de trigo, o centeno, como ingredientes naturales, nutritivos y ricos en fibra. Investigaciones indican que para no alterar significativamente un producto, se aconseja no exceder el 20% de sustitución (Ainsworth et al., 2007; Noorfarahzilah et al., 2014; Ohimain, 2014; Seibel, 2011; J. Wang, Rosell, & Benedito de Barber, 2002), puesto que el propósito es integrar la harina sustitutiva elaborada con o sin coproducto con el

gluten de la masa, y por tanto una reducción del gluten presente por un mayor nivel de sustitución impediría esto.

1.2.1 Importancia del gluten

Se entiende por “gluten” una fracción proteínica del trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas y derivados de los mismos, que algunas personas no toleran y que es insoluble en agua y en 0,5M NaCl (Codex Alimentarius Comission, 2014).

Las principales proteínas del gluten son gliadinas y gluteninas las cuales confieren a la harina de trigo propiedades únicas para obtener una masa viscoelástica y cohesiva capaz de retener gas y preparar productos horneados aireados y livianos como panes, bizcochos y galletas.

Estas características que el gluten confiere a los productos elaborados con él se inician en la etapa de fermentación por la hidratación, en presencia de la levadura y azúcares, de la harina de trigo (producidos por la hidrólisis del almidón por parte de enzimas naturales en la harina), en condiciones controladas de temperatura 36-32°C y alta humedad relativa. La levadura accionada ataca los azúcares de la harina produciendo ácidos orgánicos, etanol y bióxido de carbono CO₂ (gas) (Serna, 1996).

Para propiciar el desarrollo del gluten, durante la etapa de mezclado, se rompen los cuerpos proteicos del gluten de la harina de trigo y se

hidratan, formando una red tridimensional continua en donde se encuentra contenido el almidón. La mezcla se continúa hasta el tiempo óptimo, que es cuando el gluten adquiere su máxima fuerza elástica, tenacidad, plasticidad, maleabilidad y flexibilidad a la masa (Tovar, 2006). En este punto, la red óptima de gluten de la masa retiene la mayor cantidad de aire incorporado durante el amasado, fundamental para el desarrollo de la miga. La red óptima de gluten también retendrá el gas durante la fermentación creando las células o loci. De la red dependerá el volumen final del producto. El exceso de amasado puede romper la red de gluten (Serna, 1996).

Así pues, el gluten es muy importante en este tipo de productos y su ausencia causa modificaciones importantes en la formación de productos como los panificados dado que se ve afectada la viscosidad y elasticidad de las masas, además de la matriz proteica tridimensional que evita la difusión del gas, e incluso permite la formación y estabilidad de las paredes alveolares en el pan horneado. Por ello, sin duda alguna, reemplazar el gluten implica un reto. Usualmente, la sustitución es con almidones, hidrocoloides, fibras y componentes lácteos, los cuales tienen gran capacidad de absorción de agua pero que conlleva modificaciones en el proceso de productos panificados tradicionales, tales como nuevas condiciones de fermentación por usar batidora en lugar de amasadora, o mayores tiempos de horneado. (Sciarini et al., 2017)

1.2.2 Importancia de la fibra

La fibra dietética está compuesta por la fracción soluble e insoluble. La soluble (β -glucanes y pentosanes) ubicada en las paredes celulares, se lo asocia con la reducción del colesterol en la sangre. La insoluble (hemicelulosa, celulosa) localizada en las envolturas del grano (lema y palea) y pericarpio, se le atribuye bajar la biodisponibilidad de los minerales, pero ayuda a reducir la absorción de glucosa, ligar o minimizar agentes carcinógenos al lumen intestinal (Serna, 1996).

Adicionar fibra en productos alimenticios está aprobado por autoridades de salud, puesto que la ingesta actual conlleva a un desequilibrio nutricional, y su consumo ayuda a reducir enfermedades (Dhingra et al., 2012; Dorner & Rieder, 2004; López-Azpiazu et al., 2003; Retelny et al., 2008). Sin embargo, para enriquecer con fibra a productos alimenticios como las harinas, el Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y la Comisión y El Codex Alimentarius (2009) recomiendan que para cualquier producto que pretenda ser "fuente de alimentos con fibra", se requiere 3 g de fibra/100 g de producto, y "alimentos con alto contenido de fibra" son necesarios 6 g de fibra/100 g de producto (European Parliament & Council, 2007; Foschia et al., 2013).

Incorporar fibra también produce cambios en el producto, debido a que la fibra se puede ver alterada en las propiedades fisicoquímicas

por alguna etapa de proceso como la fermentación o el horneado en el procesamiento del pan (Bortnowska et al., 2016).

1.3. Industria elaboradora de Horchata de chufa

La horchata es una bebida refrescante no alcohólica de color blanco y aspecto lechoso, que se obtiene del procesamiento de la chufa, sanos, maduros, seleccionados y limpios, rehidratados, molturados y extraídos con agua potable, con o sin adición o mezcla de azúcares, con color, aroma y sabor típicos del tubérculo del que proceden, según la reglamentación técnico-sanitaria (RD 1338/1988) (Soriano del Castillo, 2014). Inclusive, el código alimentario especifica que se utilizarán tubérculos o semillas disgregados en proporciones adecuadas para su emulsión (10% chufa o 5% almendra) y mínimo 10% azúcar total (Alegría-Torán & Farré-Rovira, 2003).

Durante el proceso de elaboración de la horchata (Figura 1), la masa de chufa triturada con agua se deja en maceración. La masa es prensada para separar el líquido del residuo sólido. El líquido continuará a las etapas de mezclado y enfriamiento generando la horchata. Este procesado tiene un rendimiento del 40%, siendo la cantidad de residuo generado alrededor del 60% del material cosechado, el cual fundamentalmente es usado como masa orgánica para combustión, compostaje y alimentación animal (Sánchez-Zapata et al., 2009).

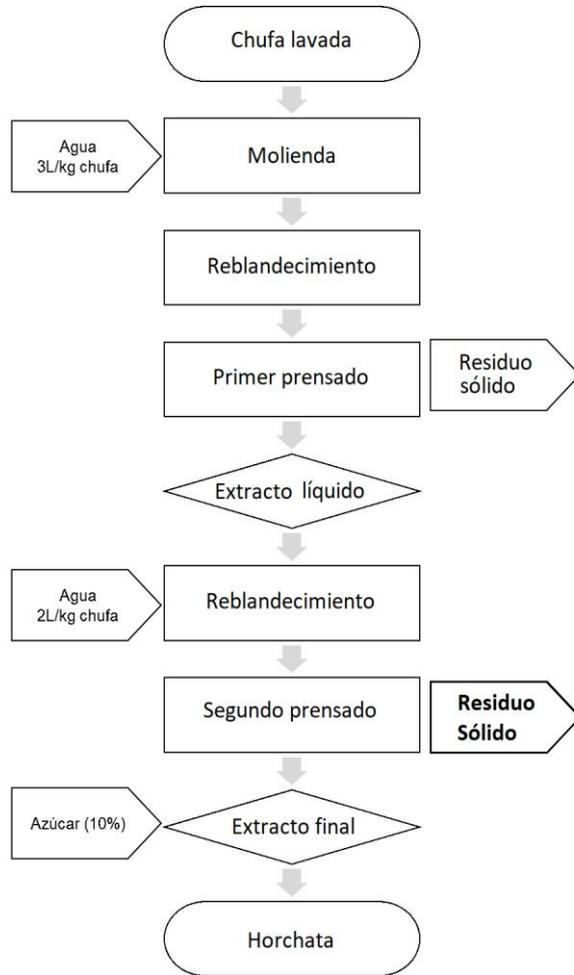


Figura 1. Diagrama de flujo del procesamiento de la horchata de chufa procedente de Valencia-España. Adaptado por el autor. Fuente: Sánchez-Zapata et al. (2009)

Las características nutricionales y sensoriales de la horchata vienen dadas por la chufa. Esta es un tubérculo de rizomas del *Cyperus*

esculentus, que pertenece a la familia Cyperaceae. Cada chufa tiene peso medio de 0,4g de formas redondas o alargadas, color marrón y pulpa amarillenta cuando está seca a un blanco lechoso cuando se macera varias horas. Sus propiedades organolépticas dependen de la transformación del almidón en azúcar por la maceración (Soriano del Castillo, 2014).

Para ser comercializadas, se procede a la recolección, lavado, secado, limpieza y clasificación. Se cultiva en todo el mundo, principalmente al norte de Nigeria, Turquía, y España (Alegría-Torán & Farré-Rovira, 2003; Chinma et al., 2010; Vázquez-Ovando et al., 2010). El presente estudio hace referencia a la chufa cultivada en España. El cultivo en España radica en las zonas de la comarca valenciana de L'Horta Nord, con una superficie total expresada en la evolución de las hanegadas hasta el 2018 (5733,25 hanegadas) de 4,4% respecto a la población (Alegría-Torán & Farré-Rovira, 2003; Consejo Regulador D.O. Chufa de Valencia, 2017; Soriano del Castillo, 2014).

La chufa es rica en almidón e hidrato de carbono (sacarosa y α -glucosa, β -glucosa, fructosa y galactosa), pero la cantidad de azúcares es bajo comparada con otros tubérculos o frutos secos. Sin embargo, tiene alto contenido de fibra similar a los cereales integrales, semillas de leguminosas, frutos secos y frutas. Tiene abundante grasa hasta el 30% de su peso y alto valor energético. El aceite es rico en ácidos grasos insaturados (83,8%) principalmente del oleico (68%) seguido

por palmítico (19,1%), linoleico, esteárico, mirístico, y palmitoleico, puede ser un sustituto del aceite de oliva por su composición de ácidos grasos y propiedades fisicoquímicas. (Soriano del Castillo, 2014)

Tiene bajo contenido en proteína comparada con patata, nuez y cacahuete, pero más que la tapioca. La mayor cantidad de proteína es la albúmina 81,2% del total. El aminoácido mayoritario es la arginina, luego aspártico y glutámico. Tiene bajo contenido en agua. Contiene minerales como potasio, fósforo, y en menor cantidad, calcio, magnesio y sodio (Soriano del Castillo, 2014). Vitaminas como E, ácido fólico, B6, tiamina, niacina, C y riboflavina. También polifenoles totales con alta capacidad antioxidante. (Alegría-Torán & Farré-Rovira, 2003)

1.3.1 Características del coproducto de horchata de chufa

Investigaciones han reportado que el coproducto de horchata de chufa puede ser usado como fuente de fibra dietética en el procesamiento de alimentos. El coproducto contiene 59,71g/100g±0,03 alta proporción de fibra dietética total, el cual 99,8% es fibra insoluble y 0,17% fibra soluble. Esta proporción de fibra dietética es más alta que el salvado de avena, de arroz, duraznos, manzanas, zanahorias, peras, chía, entre otras (Sánchez-Zapata et al., 2009; Vázquez-Ovando et al., 2010).

También contiene por cada 100g de peso fresco aproximadamente 61,23±4,12 de humedad, 1,75±0,12 de proteína, 8,85±1,11 grasa y 0,99±0,24 ceniza. Tiene alta capacidad para retener agua (8,01g/g) y retener aceite (6,92g/g) en comparación con fuentes como chía, coco, subproductos de naranja, cáscaras de trigo y maíz y pulpa de manzana (Sánchez-Zapata et al., 2009, 2010). No posee gluten y los productos sin gluten representan un mercado en crecimiento (Zucco et al., 2011).

Si bien existen estudios de la aplicación de harina de chufa, es decir de aquella obtenida con la totalidad de la chufa, son pocos los realizados solo con el coproducto. Entre estos, se ha estudiado su incorporación en la industria cárnica, concretamente en elaboración de hamburguesas, dando buenos resultados en características de color y textura sin indicar diferencias significativas (Sánchez-Zapata et al., 2010; Sánchez-Zapata et al., 2013), pero ninguno en el sector de la bollería y panadería.

2. Referencias bibliográficas

Ainsworth, P., Ibanoglu, Ş., Plunkett, A., Ibanoglu, E., & Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702–709.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>

Alegría-Torán, A, & Farré-Rovira, R. (2003). Horchata y salud: Aspectos nutricionales y dietéticos. *Jornada Chufa y Horchata*, 55–70.

Bortnowska, G., Krudos, A., Schube, V., Krawczyńska, W., Krzemińska, N., & Mojka, K. (2016). Effects of waxy rice and tapioca starches on the physicochemical and sensory properties of white sauces enriched with functional fibre. *Food Chemistry*, 202, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.077>

Chinma, C. E., Abu, J. O., & Abubakar, Y. A. (2010). Effect of tigernut (*Cyperus esculentus*) flour addition on the quality of wheat-based cake. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1746–1752. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02334.x>

Comisión del Codex Alimentarius. (2009). Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias. Roma (Italia), 29 de junio-4 de julio de 2009. ALINORM 09/32/26. Informe de la 30.^a reunión del comité del Codex sobre nutrición y alimentos para regímenes especiales CL 2008/35-NFSDU

Codex Alimentarius Commission. (2014). Norma relativa a los alimentos para regímenes especiales destinados a personas intolerantes al gluten, 1–3. Retrieved from <http://www.codexalimentarius.org>

Comité Mundial de Seguridad Alimentaria. (2014). Las pérdidas y desperdicios de alimentos en el contexto de sistemas alimentarios sostenibles. *Hlpe Report*, 133. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3901s.pdf>

Consejo Regulador D.O. Chufa de Valencia. (2017). Datos históricos de superficie del cultivo de chufa.

Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>

Dorner, T., & Rieder, A. (2004). [Risk management of coronary heart disease-prevention]. *Wiener Medizinische Wochenschrift (1946)*, 154, 257–265.

European Parliament, & Council. (2007). Corrigendum to Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and of the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods. *Official Journal of the European Union*, 12(3), 16. <https://doi.org/2004R0726 - v.7 of 05.06.2013>

FAO. (2015). Global initiative on food loss and food waste reduction. *United Nations*, 1–8. Retrieved from <http://www.fao.org/save-food/en/>

Foschia, M., Peressini, D., Sensidoni, A., & Brennan, C. S. (2013). The

effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. *Journal of Cereal Science*, 58(2), 216–227. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.05.010>

López-Azpiazu, I., Sánchez-Villegas, A., Johansson, L., Petkeviciene, J., Prättälä, R., Martínez-González, M. Á., Barricarte, A. (2003). Disparities in food habits in Europe: Systematic review of educational and occupational differences in the intake of fat. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 16(5), 349–364. <https://doi.org/10.1046/j.1365-277X.2003.00466.x>

Noorfarahzilah, M., Lee, J. S., Sharifudin, M. S., Mohd Fadzelly, A. B., & Hasmadi, M. (2014). Applications of composite flour in development of food products. *International Food Research Journal*, 21(6), 2061–2074. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/271020224_Applications_of_composite_flour_in_development_of_food_products

Nwanekezi, E. C. (2013). Composite Flours for Baked Products and Possible Challenges – A Review. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 8–17. [https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30071-0](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30071-0)

Ohimain, E. I. (2014). Recent advances in the production of partially substituted wheat and wheatless bread. *European Food Research and Technology*, 240(2), 257–271. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2362-1>

Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 3065–3081. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>

Prieto, A. B. (2016). Reducción de pérdidas y desperdicios alimentarios y bienestar social: una relación posible, 2, 5–11. Retrieved from http://www.mercasa.es/files/multimedios/1463938380_Reducción_de_perdidas_y_desperdicios_alimentarios_y_bienestar_social.pdf

Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre del 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 404, 9-25

Retelny, V. S., Neuendorf, A., & Roth, J. L. (2008). Nutrition Protocols for the Prevention of Cardiovascular Disease. *Nutrition in Clinical Practice Official Publication of the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition*, 23(5), 468–476. <https://doi.org/10.1177/0884533608323425>

Sánchez-Zapata, E., Fuentes-Zaragoza, E., Fernández-López, J., Esther Sendra, E. S., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2009).

Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk (“horchata”) byproducts and its physicochemical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7719–7725. <https://doi.org/10.1021/jf901687r>

Sánchez-Zapata, E., Muñoz, C. M., Fuentes, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Pérez-Alvarez, J. A. (2010). Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*, 85(1), 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>

Sánchez-Zapata, E., Zunino, V., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2013). Effect of tiger nut fibre addition on the quality and safety of a dry-cured pork sausage (“Chorizo”) during the dry-curing process. *Meat Science*, 95(3), 562–568. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.026>

Sciarini, L. S., Steffolani, M. E., & León, A. E. (2017). El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan. *AgriScientia*, 33(2), 61–74. Retrieved from <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/agris/article/view/16574/16382>

Seibel, W. (2011). Composite Flours. *Docstock*, 193–198.

Serna, S. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales* (1st ed.). México D. F., México: AGT Editor, S. A.

Soriano del Castillo, J. (2014). *El gran libro de la Horchata y la chufa de Valencia* (1st ed.). Valencia, España: Publicacions de la Universitat de València. Fundació Lluís Alcanyís.

Tovar, R. (2006). *MASAS* (1st ed.). Madrid, España: El Pais Aguilar.

Vargas, E. (2000). Composición de los subproductos de trigo utilizados en la alimentación animal en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 6(1), 7–18. Retrieved from http://cina.ucr.ac.cr/recursos/docs/Revista/composicion_de_los_subproductos_de_trigo_utilizados_en_la_alimentacion_animal_en_costa_rica.pdf

Vázquez-Ovando, J. A., Rosado-Rubio, J. G., Chel-Guerrero, L. A., & Betancur-Ancona, D. A. (2010). Dry processing of chía (*Salvia hispanica* L.) flour: chemical characterization of fiber and protein. *CyTA - Journal of Food*, 8(2), 117–127. <https://doi.org/10.1080/19476330903223580>

Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2), 221–226. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)

Zucco, F., Borsuk, Y., & Arntfield, S. D. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.007>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Se plantea como objetivo general establecer las bases para la incorporación de harina no de trigo, procedente de subproductos de la industria de elaboración de horchata, en la elaboración de productos con base de harina de trigo (chips, pizzas y panes).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para dar respuesta al objetivo general, la Tesis Doctoral se ha dividido en 5 capítulos, con sus respectivos objetivos específicos. Estos capítulos han sido establecidos en base a la relación existente entre el gluten de las masas, el cual varía en función del grado de sustitución de la harina de trigo, y su comportamiento durante la etapa de fermentación. Así se ha estudiado desde masas simples, en la que no se precisa de etapa de fermentación (capítulos I y II), pasando por productos con etapa de fermentación de menor intensidad (capítulo III), para llegar a productos cuya etapa de fermentación es de gran relevancia (capítulos IV y V).

A continuación, se detallan los objetivos específicos por cada uno de los capítulos.

CAPÍTULO I

Estudiar el efecto sobre la tensión superficial y las propiedades de difusión por contacto de dos de los solventes más importantes en alimentos (agua y aceite), que genera la incorporación del coproducto de la horchata a una matriz vítrea con una base de harina de trigo (chips, cereales de desayuno o pasta seca)

CAPÍTULO II

Estudiar la viabilidad de integrar una fuente de fibra procedente del coproducto de la elaboración de horchata en el procesado de chips, hasta enriquecer a niveles de "fuente de fibra" y "alto contenido de fibra".

CAPÍTULO III

Estudiar los efectos que genera la incorporación del coproducto procedente de la elaboración de la horchata en bases de pizza congelada, evaluando las características de estas y la influencia del coproducto sobre el producto que finalmente consume el consumidor

CAPÍTULO IV

Estudiar el impacto de incluir el coproducto de horchata de chufa en las fases principales del proceso de elaboración del pan (fermentación y horneado), sus implicaciones en las estructuras

internas del pan y su relación con la distribución de humedad y las propiedades texturales durante el almacenamiento

CAPÍTULO V

Evaluar el comportamiento de la harina de chía como ingrediente mejorador de las propiedades fisicoquímicas del pan elaborado con tres diferentes grados de sustitución de harina de trigo por harina del coproducto de la elaboración de horchata de chufa.

CAPÍTULO I

Efecto de la incorporación del coproducto de la elaboración de horchata procedente de chufa (*Cyperus esculentus*) en las propiedades de superficie y difusionales de matrices obtenidas con harina de trigo

Food Chemistry 224 (2017) 69–77

Samuel Verdú, José M. Barat, Cecibel Alava, Raúl Grau

Versión adaptada para la tesis doctoral

Resumen

La industria de procesamiento de alimentos genera grandes volúmenes de desperdicios y coproductos que aún contienen compuestos valiosos. La producción de horchata genera grandes cantidades de un coproducto con un alto contenido de fibra insoluble, que es interesante como componente bioactivo desde el punto de vista nutricional. Este coproducto está formado por dos tejidos diferentes en términos de composición, tamaño de partícula y color, por lo que se obtuvieron dos harinas diferentes de ellos. Ambas harinas se incluyeron en una matriz basada en trigo a diferentes niveles de sustitución: 5%, 10% y 20% (b.s.). Se estudió la tensión superficial de las matrices, la mojabilidad y difusión de agua y aceite. Los resultados mostraron la reducida capacidad de la matriz para interactuar con los solventes, principalmente desde el nivel de sustitución del 10%, así como una disminuida tensión superficial, por lo que se prolongó el tiempo necesario para que tanto el agua como el aceite humectaran y difundieran.

Palabras claves: coproducto, chufa, tensión superficial, propiedades difusionales, matriz de trigo

1. Introducción

Organizaciones como la FDA y la EFSA informan que muchos compuestos interesantes y valiosos están contenidos en los residuos y coproductos del procesamiento de alimentos. Estos compuestos están formados por una mezcla de sustancias de diferentes naturalezas como ácidos orgánicos, aromas, colorantes, compuestos antimicrobianos, fibra dietética, aceites esenciales, entre otros (Tuberoso et al., 2016). Actualmente, la industria busca mejorar sus procesos para recuperar estos productos, de tal manera lograr convertirlos en fuente de ingresos, asimismo pretender recircular estos compuestos de interés saludable y tecnológico en otros productos. Estos coproductos se pueden convertir en productos rentables como materia prima para procesos secundarios (compuestos intermedios), suministros operativos o ingredientes de nuevos productos (Sánchez-Zapata et al., 2009).

Muchos de los coproductos son interesantes puesto que su composición proximal contiene gran cantidad de fibra dietética, lo cual despierta el interés como componente bioactivo desde un punto de vista nutricional. La relación de la fibra vegetal y la mitigación y prevención de enfermedades de la salud, por ejemplo la diabetes mellitus tipo II, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer de colon han sido evidenciadas (Zhang et al., 2013). La fibra dietética está compuesta generalmente por celulosa, polisacáridos no

celulósicos como hemicelulosa, pectinas, gomas, mucílagos y por compuestos no carbohidratos (no polisacárido) como la lignina (Dhingra et al., 2012), todos los cuales son resistentes a la digestión enzimática. Una práctica extendida en la industria (panadería, bebidas, lácteos y productos cárnicos) es la incorporación de fibra en productos alimenticios, sin embargo, su presencia puede ocasionar cambios en las propiedades fisicoquímicas relacionadas con la consistencia, textura, así como en el comportamiento reológico y características sensoriales (Bortnowska et al., 2016).

El coproducto obtenido de la producción de horchata a partir de la chufa (*Cyperus esculentus*) es excelente fuente de fibra insoluble, y tradicionalmente destinado a la masa orgánica para la combustión, el compost y a la producción de alimentos. Esta “nuez falsa” es el tubérculo de una hierba perenne del género *Cyperus* miembro de la familia de las gramíneas *Cyperaceae* (Ayeh-Kumi et al., 2014) a partir de la cual, después de varios ciclos de molienda y prensado, se eliminan la mayor parte de su fracción acuosa y componentes solubles para generar una harina gruesa fibrosa clasificada como residuo. El interés en desarrollar aplicaciones para este coproducto también radica en el hecho de que grandes volúmenes de este residuo son generados en varias zonas geográficas de España, uno de los principales productores mundiales de horchata. Esta agroindustria genera anualmente cerca de 5 millones de euros.

En esta línea, se han publicado varios estudios sobre el uso de la chufa para enriquecer algunos productos alimenticios y para recuperar otros compuestos interesantes, como aceites o flavonoides (Ezeh et al., 2016; Jing et al., 2016). Sin embargo, el coproducto obtenido del proceso de la horchata se ha estudiado menos como un ingrediente para el desarrollo de productos de cereales enriquecidos con fibra, existiendo estudios de este en el desarrollo de productos derivados de la carne. Algunos de estos estudios han reportado datos sobre su impacto en salchichas y hamburguesas de cerdo, con sustituciones del 5% y el 7,5% (Sánchez-Zapata et al., 2010, 2013). Los resultados obtenidos fueron bastante satisfactorios desde un punto de vista fisicoquímico y sensorial. No obstante, se dispone de muy poca información sobre el impacto en las matrices de cereales.

Dado su alto contenido de fibra, este coproducto es bastante susceptible de ser agregado a alimentos a base de granos, tales como chips, cereales para el desayuno y pasta, cuyas versiones integrales ocupan volúmenes importantes de la producción total en la industria de procesamiento de cereales. Por lo tanto, la inclusión de nuevas fuentes de fibra en los productos de cereales y el estudio de su repercusión en las propiedades fisicoquímicas de la matriz, representan una amplia área de investigación, siendo interesante evaluar su impacto en las cadenas de procesado, propiedades, funcionalidad y en la calidad del producto final.

Un aspecto básico que afecta la calidad del producto final son las propiedades de éste en lo que respecta a la interacción con líquidos, puesto que la mayoría son destinados a acompañar algún alimento líquido como salsas, emulsiones grasas, leche, mermelada, entre otros. Estas interacciones podrían determinar su procesamiento óptimo, las condiciones de almacenamiento, la estabilidad de los ingredientes de contacto o las condiciones adecuadas de uso del consumidor. La caracterización del impacto causado por un nuevo ingrediente en estas propiedades podría hacerse mediante el estudio de parámetros tales como la tensión superficial del material, la permeabilidad, la mojabilidad, los ensayos de difusión, las isotermas de sorción, entre otros.

Así, el objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto sobre la tensión superficial y las propiedades de difusión por contacto de dos de los solventes más importantes en alimentos (agua y aceite), que genera la incorporación del coproducto de la horchata a una matriz vítrea con una base de harina de trigo (chips, cereales de desayuno o pasta seca).

2. Materiales y métodos

2.1. Acondicionamiento del coproducto de horchata y harinas usadas

El coproducto de horchata se obtuvo de una planta local de fabricación de horchata, presentado como harina fibrosa húmeda. Dos tipos de tejidos fibrosos molidos se pueden diferenciar en este coproducto desde un punto de vista macroscópico. Las imágenes de ambos tejidos se capturaron utilizando el sistema de microscopía MOTIC DM-1802 (Figura I.1 A y B).

El primero tiene un tamaño de partícula más grande ($>800\ \mu\text{m}$) y coloración marrón, como cualquier salvado de grano. Está formado por el peridermo (pericarpio en cereales - piel) y la corteza del tubérculo (Figura I.1A). Es una fracción leñosa típica caracterizada por un alto contenido de lignina, entre otros polímeros insolubles (Donaldson, 2001). El segundo tiene un tamaño de partícula más pequeño ($<800\ \mu\text{m}$), coloración blanca (Figura I.1B), y lo proporcionan los tejidos internos del tubérculo, como perimédula y médula (endospermo y germen en cereales). Es un material algodonoso cuya composición se basa en carbohidratos insolubles, como celulosa, hemicelulosa y almidones no digeribles (Habibi et al., 2009). Como ambos se mezclan perfectamente una vez que termina el proceso de horchata, la separación se realizó usando un tamiz de $800\ \mu\text{m}$ para aislar la fracción blanca. Así, se emplearon dos tipos de coproductos

de harina: el coproducto entero (T), cuya humedad fue del $56 \pm 0,4\%$ y la fracción blanca (W), cuya humedad fue del $47,2 \pm 0,4\%$ de agua. Ambas harinas se secaron al 14% de humedad (b.s.) para ser remoldeadas en una trituradora de acero inoxidable (Retsch GmbH, ZM 200, Haan, Alemania). Finalmente, la composición proximal de T fue: $1,9 \pm 0,7\%$ de proteínas, $13,3 \pm 0,1\%$ de grasa, $14,1 \pm 0,4\%$ de agua, $1,86 \pm 0,1$ de ceniza y $68,2 \pm 0,4\%$ de fibra dietética total (b.h.). Para W esta fue de: $1,5 \pm 0,7\%$ de proteínas, $11,8 \pm 0,2\%$ de grasa, $14,2 \pm 0,4\%$ de agua, $1,5 \pm 0,1$ de ceniza y $71,1 \pm 0,3\%$ de fibra dietética total (b.h.).

La harina de trigo comercial se obtuvo de un productor local (Molí del Picó-Harinas Segura S.L. Valencia, España). Los parámetros alveográficos también fueron facilitados por la empresa, siendo $P = 94 \pm 2$ (presión máxima (mm)), $L = 128 \pm 5$ (extensibilidad (mm)), $W = 392 \pm 11$ (fuerza (J^{-4})) y $0,73$ de P / L . La composición proximal fue $14,7 \pm 0,6\%$ de proteínas, $1,1 \pm 0,03\%$ de grasa, $14,5 \pm 0,5\%$ de agua y $0,32 \pm 0,1$ de ceniza (b.h.). Estos análisis de composición proximal se basaron en los estándares 110/1, 156, 136, 105/2 y 104/1 de ICC (International Association for Cereal Science and Technology) para agua, fibra dietética, grasa, proteína y ceniza, respectivamente.

El tamaño de partícula de las harinas T y W fue evaluado para asegurar un tamaño similar al de la harina de trigo. La medida se repitió seis veces mediante dispersión láser en un Mastersizer 2000

(Malvern, Instruments, Reino Unido), equipado con una unidad de polvo seco Scirocco. El tamaño de partícula de la harina de trigo fue $d(0,1) = 25,5 \pm 1,1$, $d(0,5) = 92,0 \pm 0,6$, $d(0,9) = 180,6 \pm 0,8$ y $D[4, 3] = 99,4 \pm 1,2$. Para T, tamaño de partícula fue $d(0,1) = 24,3 \pm 0,9$, $d(0,5) = 182,7 \pm 7,1$, $d(0,9) = 663,6 \pm 20,6$ y $D[4, 3] = 271,1 \pm 8,1$, y para W fue $d(0,1) = 31,9 \pm 0,7$, $d(0,5) = 197,4 \pm 7,7$, $d(0,9) = 516,5 \pm 32,4$ y $D[4, 3] = 246,7 \pm 14,5$. Los tamaños de partícula se expresan como el tamaño máximo (μm) al 10% ($d(0,1)$), 50% ($d(0,5)$) y 90% ($d(0,9)$) del volumen total. $D[4, 3]$ se calculó en base a la ecuación 1:

$$D[4,3] = \frac{\sum_1^n D_{i.ni}^4}{\sum_1^n D_{i.ni}^3} \quad (1)$$

Donde D_i es la media geométrica y n_i es el porcentaje de cada canal de tamaño.

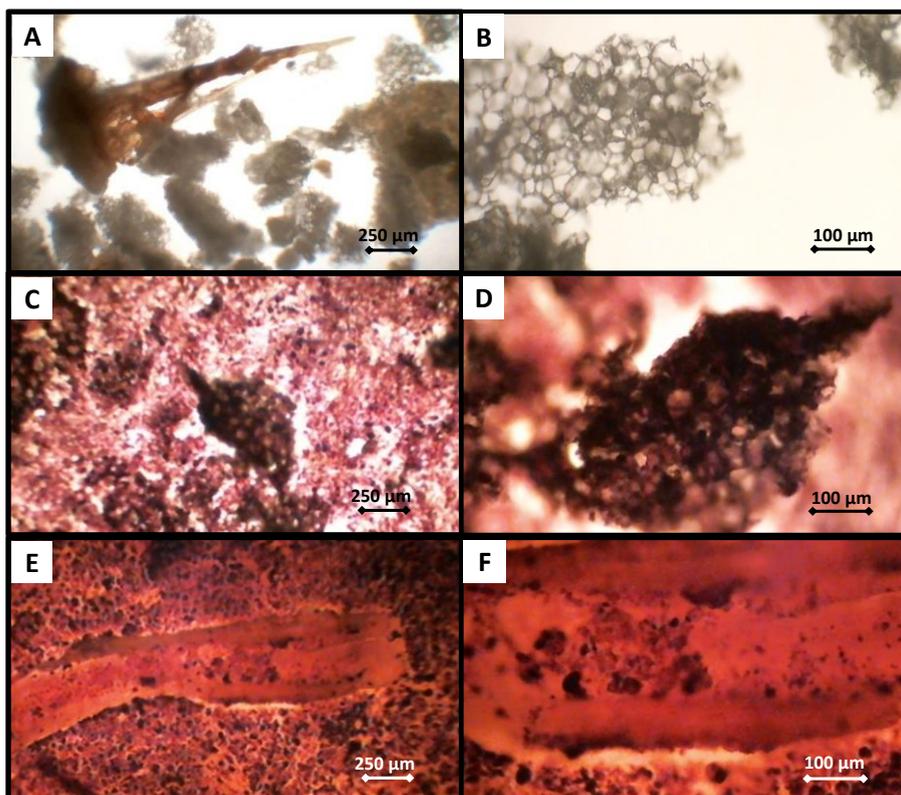


Figura 1.1. Vista microscópica óptica del coproducto completo (A), partícula del tejido interno del tubérculo (B), partículas de tejido interno incluida en la superficie de la matriz de trigo (CD), partícula de peridermo incluida en la superficie de la matriz de trigo (E-F). Contraste en C, D, E, F llevado a cabo por la tinción de yodo-lugol.

2.2. Producción de matrices basadas en Trigo

La composición de la matriz se seleccionó para producir una matriz a base de trigo de baja humedad y vítrea para representar productos tales como cereales para el desayuno, chips o pasta seca, etc., los cuales están destinados a entrar en contacto con líquidos cuando se

consumen. Las matrices basadas en trigo se produjeron mezclando harina de trigo con las harinas de coproductos de horchata. Como se explicó anteriormente, se usaron dos harinas de coproductos diferentes para sustituir la harina de trigo, T y W. Se emplearon tres niveles de sustitución: 5%, 10% y 20% p / p en base seca (b.s.). Los porcentajes de masa sustituida se calcularon sobre la fracción de materia seca de la harina de trigo usada. Esto se hizo para mantener la relación g de agua / g de solutos constante entre las fórmulas (0,58 g de agua / g de solutos). Finalmente, se prepararon siete fórmulas diferentes.

La fórmula de la muestra de control fue 65% de harina de trigo, 27,7% de agua, 5,7% de aceite (acidez máxima 0,2^o Koiposol Semillas, SL, España) y 1,4% de sal (sal marina refinada \geq 97% NaCl Salinera Española SA, España) del peso total (p / p). Estos porcentajes se mantuvieron constantes para todas las fórmulas sustituidas, y la cantidad de harina de coproducto varió dependiendo de cada caso. El procedimiento fue el siguiente:

1. Los componentes líquidos (agua y aceite) y la sal se colocaron en un mezclador de alimentos (Thermomix[®] TM31, Vorwerk, Alemania) y se mezclaron para obtener una solución homogénea (1,5 minutos / 50 revoluciones por minuto (rpm)).
2. Se añadió harina pre-homogeneizada al mezclador de alimentos y se mezcló (4 minutos / 550 rpm) haciendo uso del

programa espiga del equipo (giros aleatorios de la hélice del mezclador en ambas direcciones) para obtener una masa homogénea.

3. La masa se dejó reposar en un recipiente sellado durante 20 minutos a temperatura ambiente (20°C)
4. De la masa se formaron bolas de 10 g, las cuales fueron pasadas por un laminador manual (IMPERIA SM / 220, FIMAR, Italia) para obtener hojas de 2 mm de espesor.
5. La cocción se hizo en un horno (530x450x340, potencia de la parrilla 1200W, volumen interno 32L, Asador, DeLonghi, Italia) a 160°C durante 30 minutos
6. Todas las muestras se temperaron durante 10 minutos a temperatura ambiente y se pesaron para determinar la variación de masa durante el proceso en función de la Ecuación 2:

$$\Delta M_b = \frac{m_f - m_o}{m_o} * 100 \quad (2)$$

Donde ΔM_b es la variación de masa en %; m_f es masa horneada y m_o es la masa inicial antes de hornear. La fracción de agua (X_w) y la fracción de grasa (X_o) del producto final se calcularon con base en los estándares ICC (International Association for Cereal Science and Technology) 110/1 y 136, respectivamente.

2.3. Cálculo de la tensión superficial

A través del método de Zisman se determinó la tensión superficial. Este método se basa en el hallazgo experimental de que cuando un líquido se extiende completamente sobre una superficie analizada, su tensión superficial es menor o igual a la de la superficie sobre la que se extiende. Se interpreta teóricamente como la tensión superficial del líquido necesaria para humedecer completamente el sólido (el ángulo de contacto entre el sólido y el líquido es cero).

El método se basó en la medición del ángulo de contacto θ , en grados, entre la superficie de la matriz de trigo y gotas de líquidos de prueba con diferentes tensiones superficiales γ_l . Los cosenos de cada ángulo de contacto del líquido de prueba se trazaron frente a sus respectivos valores de γ_l de tensión superficial en mN / m. Luego, el modelo se extrapola a $\cos = 1$ y el valor de tensión superficial para este punto se tomó como la tensión superficial de γ_s sólidos.

Este procedimiento fue descrito por Zisman (Sengupta & Han, 2014) y se usa generalmente para este propósito (Andrade et al., 2014; Aydar et al., 2016; Shahbazi et al., 2016; Zhang et al., 2011). Se basa en la relación entre los cosenos de varios líquidos con respecto a una superficie sólida y sus tensiones superficiales, siguiendo la función descrita a continuación:

$$\cos \theta = a - b\gamma_l = 1 + \beta(\gamma_s - \gamma_l) \quad (3)$$

Donde a , b y β son constantes, γ_l es la tensión superficial del líquido y γ_s es la tensión superficial del sólido.

Los líquidos utilizados son glicerol (Sigma Chemicals Co., St. Louis, MO, EE. UU.), polietilenglicol 200 (Sigma Chemicals Co., St. Louis, MO, EE. UU.) y dipropilenglicol (Sigma Chemicals Co., St. Louis, MO, EE. UU), con una γ_l de 63,1, 45,5 y 33,9 mN / m, respectivamente. Se depositaron gotas de 3 μ L sobre la matriz basada en trigo con una micro-jeringa en condiciones controladas (20°C / 50% de R.H.). Los ángulos de contacto sólido-líquido se midieron en 30 gotas de cada líquido para cada fórmula de matriz, y estos se dividieron en tres bloques de 10 gotas. La obtención del conjunto de datos se realizó mediante la captura de imágenes por una cámara (Webcam Logitech C920 HD Pro) y un goniómetro digital basado en el software ImageJ analizador de imágenes.

2.4. Interacción entre la matriz y los solventes modelos

2.4.1. Mojabilidad de los disolventes modelos

El efecto del coproducto de horchata sobre la mojabilidad de la superficie de la matriz basada en trigo también se estudió a través del ángulo de contacto θ generado entre las gotas del disolvente y la

superficie sólida. Con este fin, agua y aceite vegetal (girasol) se utilizaron como disolventes modelos con diferente naturaleza química. Treinta gotas de 3 μL se depositaron sobre diferentes zonas de la matriz basada en trigo. Sus datos de ángulo se obtuvieron de la misma manera que se describe en la sección 2.3 y bajo las mismas condiciones de ambiente controladas (20°C / 50% R.H). La evolución de los ángulos de caída de las gotas durante 25 segundos (divididos en intervalos de 5 segundos) se registró para estudiar el efecto con el tiempo (Zhang et al., 2011).

2.4.2. Ensayo de difusión de solventes

La difusión de los solventes, agua y aceite se probó por captación de masa durante la inmersión de las piezas de matriz basada en trigo en estos. Este ensayo se llevó a cabo sumergiendo las piezas completas en agua o aceite, cuya área de superficie ($4 \pm 1,5 \text{ cm}^2$) y masa eran conocidas. Los datos del área se obtuvieron escaneándolas con un escáner Canon Lide 120 y utilizando el software analizador de imágenes ImageJ. Tras esto, las piezas se fijaron mediante pinzas de punta fina a un soporte universal y se sumergieron completamente en un vaso con el disolvente, que se colocó en una balanza de precisión (FV120, Anapesing, España). La captación de masa se registró en intervalos de 10 segundos durante 40 segundos. La difusión se calculó como flujo (J) usando la siguiente ecuación:

$$J = \frac{g}{(A \cdot 2) \cdot S} \quad (4)$$

Donde J es el flujo del solvente en la matriz en gramos por cm² y segundo, g es la masa del solvente actualizado en cualquier momento, A es el área de la pieza de matriz de trigo y en cm², duplicada debido a los dos lados de contacto de la pieza, y s es el tiempo en segundos.

Para cada caso se usaron treinta réplicas. Todas las réplicas se realizaron en condiciones controladas (20°C / 50% R.H). La fracción de agua (X_{wf}) y la fracción de grasa (X_{of}), al final del ensayo, se calcularon mediante los balances de materia utilizando los datos de captación de masa.

2.5. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron mediante un estudio de varianza unidireccional (ANOVA) y multifactorial, cuando fue necesario estudiar los efectos principales e interacciones sobre la evolución de los parámetros. Para aquellos casos en que el efecto fue significativo (valor P <0,05), el promedio se comparó con la diferencia mínima significativa Fisher (LSD).

3. Resultados y discusión

3.1. Pérdida de masa durante el proceso de horneado

La variación de masa se evaluó durante el proceso de horneado (Tabla I.1). La presencia del coproducto generó un ligero y no significativo incremento en la pérdida de masa durante el proceso de horneado, independientemente del nivel de sustitución y el tipo de harina sustitutiva (T o W). La fórmula control presentó una pérdida de masa menor en comparación con las fórmulas sustituidas, además no se encontraron diferencias entre las fórmulas. Los resultados coincidieron con los proporcionados por Sánchez-Zapata et al. (2009), quienes informaron que la capacidad de retención de agua de este coproducto era similar a la harina de trigo. Las imágenes de las matrices obtenidas y las harinas de coproductos integradas se pueden ver en la Figura I.1: C, D, E y F, donde ambos tejidos parecen interactuar con los otros componentes después de la tinción con yodo.

3.2. Tensión superficial de la matriz basada en trigo

La Figura I.2 muestra los resultados de la representación de Zisman ($\cos \theta$ vs. γ_l) para las fórmulas de matrices basadas en trigo. La Figura I.2A incluye el modelo para la fórmula control (puntos negros) y a modo de ejemplo su ajuste lineal con la intersección con la línea de $\cos \theta = 1$, así como las muestras con la harina de coproducto T. La

Figura I.2B, muestra los valores cuando se utiliza la harina W. Para todos los casos los valores γ_s y los coeficientes de correlación R^2 se muestran en la Tabla I.1. El R^2 de las regresiones lineales obtuvo valores que se acercaron bastante a 1 en todos los casos, evidenciando con éxito la relación entre el $\cos \theta$ vs. γ_l . Sin embargo, la pendiente de los líquidos modelos presentó diferencias cuando se tuvo en cuenta el porcentaje de sustitución de trigo.

Ambas harinas de coproducto tendieron a reducir los valores de tensión superficial γ_s con comparación con el control (Tabla I.1). Sin embargo, W fue la única en mostrar diferencias significativas. Los incrementos entre los γ_s de la fórmula de trigo puro y los sustituidos se calcularon en % para facilitar la observación de los cambios. La Tabla I.1 muestra incrementos $\Delta\gamma_s$, donde tuvo lugar una reducción progresiva de γ_s -1,8% para T y -8,4% para W.

Este fenómeno puede estar relacionado con los compuestos presentes en la fracción de fibra del coproducto, que están formados casi por completo por polímeros insolubles, tales como celulosa, lignina y algunas hemicelulosas. Estas moléculas podrían modificar la capacidad de la superficie para interactuar con otros compuestos debido a que las condiciones del proceso térmico mejoraron la fuerza de unión con los componentes del trigo como son las cadenas de almidón (Slavutsky & Bertuzzi, 2014). Este efecto podría explicar los menores γ_s de W, cuya composición tenía una estructura

parenquimatosa más alta con una superficie de contacto más grande (Figura I.1: C-D) y, por lo tanto, esta tiene una mejor capacidad para interactuar con los compuestos de trigo durante el proceso.

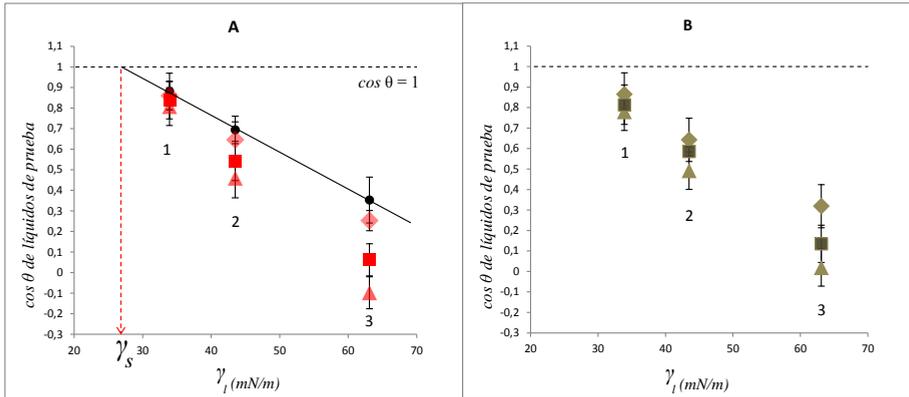


Figura I.2. Gráfico Zisman que representa $\cos \theta$ vs. γ_1 para las fórmulas de la matriz a base de trigo. A: T sustituciones y B: W sustituciones. Números 1, 2 and 3 representa el $\cos \theta$ de dipropilenglicol, polietilenglicol 200 y glicerol, respectivamente. Control ●; T 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲; W 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲. La línea discontinua negra representa $\cos \theta = 1$. La línea discontinua roja representa el γ_s para la fórmula de control.

3.3. Mojabilidad de los disolventes modelos

La Figura I.3 proporciona los resultados de la mojabilidad producida por los solventes, agua y aceite, a través de la medida del ángulo de contacto. El aceite en todos los casos generalmente presenta altos ángulos de contacto debido a su naturaleza apolar en comparación

con los componentes sólidos, y con la fuerte presencia de, por ejemplo, hidratos de carbono y agua. Tanto para el agua como para el aceite, a tiempo cero, se observaron diferencias significativas en la mojabilidad de la superficie de la matriz para el nivel de sustitución del 20% tanto para T como W. Del mismo modo, también se observaron diferencias significativas para el nivel del 10%, pero solo en el aceite. Se observaron diferencias en la tendencia a la reducción de la mojabilidad para T y W debido a la pendiente alta presentada por W para el agua ($T = 0,2043$; $W = 0,278$). Sin embargo, se encontraron muy pocas diferencias en las pendientes para el aceite ($T = 0,2754$; $W = 0,2871$). Estas diferencias se mantuvieron durante todo el tiempo hasta el final. A los 25 segundos, la linealidad se redujo considerablemente en comparación con el tiempo cero. Sin embargo, la pérdida de mojabilidad, con el incremento del coproducto, siguió la misma tendencia.

En cuanto al efecto del tiempo, el ángulo de contacto se redujo debido a la absorción progresiva del disolvente en la matriz. El comportamiento de las muestras con las harinas de coproductos siguió el mismo patrón, dado que el ángulo de contacto aumentó (entre niveles de sustitución) en el tiempo 0. Sin embargo, desde los 10 a 25 segundos, solo T con agua (Figura I.3: A1) presentó la misma disminución (entre niveles de sustitución). Todos los demás casos (Figura I.3: A2, B1 y B2) siguieron la tendencia dada la difícil

absorción tanto del agua como del aceite, y los casos que contenían W fueron los más significativos. Los resultados de la mojabilidad de los solventes están de acuerdo con los resultados de tensión superficial. El incremento del coproducto, en la fórmula de la matriz basada en trigo, redujo la tensión superficial y por tanto la dificultad para interactuar con los solventes. Como este efecto no pareció estar relacionado solo con la hidrofobicidad, como se observó tanto para el agua como para el aceite, quizás las dificultades para humedecer la superficie podrían atribuirse a la influencia de los coproductos sobre la estructura de la matriz. Desde este punto de vista, el efecto del calor durante el horneado podría ser importante. Esta hipótesis podría apoyarse en estudios previos, como los reportados por Zia-ur-Rehman et al. (2003), donde la degradación parcial de polímeros insolubles se observó en varios productos alimenticios ricos en fibra insoluble (celulosa y hemicelulosas), durante el proceso de cocción por despolimerización no enzimática. Dicha degradación parcial podría explicar una mejor unión con las zonas de interacción del almidón y las proteínas (Slavutsky & Bertuzzi, 2014).

La Figura I.1 proporciona un ejemplo de las partículas de fibra integradas en la matriz de trigo después del procesamiento. Como se puede observar, la estructura parenquimatosa original de la fibra de fracción blanca se vio afectada después del procesamiento, manifestándose la presencia de almidón a través de la estructura

compuesta resultante (Figura I.1: C-D). La modificación de la fibra de la piel (Figura I.1: E-F) no fue visible, pero sus enlaces se observaron a lo largo del perímetro de la partícula.

Así, la reducción de la mojabilidad quedaría evidenciada por la adición de las harinas de coproducto en cada ensayo de disolvente, donde la muestra control presentó el menor ángulo de contacto, y por consiguiente la más humectable, tanto para agua y aceite.

Tabla I.1. Resultados de pérdida de masa, cantidad de agua y aceite, tensión superficial y difusión del solvente

Fórmula	Proceso de Horneado y composición			Tensión superficial			Mojabilidad		Difusión de solventes			
	ΔM_b	X_w	X_o	R^2	γ_s	$\Delta\gamma_s$	$\theta_w t_{0s}$	$\theta_o t_{0s}$	$J_w t_{10s} (x10^{-3})$	$J_o t_{10s} (x10^{-3})$	X_{wf}	X_{of}
Control	-32,5 ± 0,1 a	0,154 ± 0,013 a	0,066 ± 0,001 a	0,999	26,9 ± 0,3 c	-	22,0 ± 0,6 a	28,3 ± 1,3 a	1,35 ± 0,09 c	1,47 ± 0,08 bcd	0,387 ± 0,010 b	0,470 ± 0,012 c
T 5%	-33,6 ± 0,8 a	0,140 ± 0,021 a	0,068 ± 0,001 a	0,992	26,8 ± 0,5 c	-0,6	23,9 ± 0,8 a	30,1 ± 1,5 a	1,30 ± 0,10 bc	1,48 ± 0,16 d	0,380 ± 0,011 b	0,476 ± 0,011 c
T 10%	-34 ± 0,5 a	0,140 ± 0,017 a	0,068 ± 0,002 a	0,989	26,5 ± 0,5 c	-1,6	23,9 ± 1,0 a	32 ± 1,7 b	1,32 ± 0,10 ab	1,35 ± 0,02 cd	0,373 ± 0,012 a	0,474 ± 0,009 c
T 20%	-33,4 ± 0,5 a	0,143 ± 0,016 a	0,067 ± 0,002 a	0,963	26,5 ± 0,3 c	-1,8	26,1 ± 1,0 bc	33,8 ± 0,9 c	1,19 ± 0,10 a	1,26 ± 0,08 ab	0,363 ± 0,090 a	0,466 ± 0,011 bc
W 5%	-34,2 ± 1,2 a	0,145 ± 0,016 a	0,067 ± 0,001 a	0,999	25,4 ± 0,3 b	-5,5	23,7 ± 3,7 a	30,6 ± 1,3 a	1,11 ± 0,11 bc	1,31 ± 0,03 abc	0,376 ± 0,010 a	0,444 ± 0,008 b
W 10%	-35,1 ± 0,8 a	0,143 ± 0,010 a	0,067 ± 0,002 a	0,996	25,4 ± 0,4 ab	-5,8	25,5 ± 3,7 ab	33 ± 1,3 bc	1,07 ± 0,05 a	1,26 ± 0,03 bcd	0,368 ± 0,012 a	0,453 ± 0,010 b
W 20%	-33,4 ± 1,0 a	0,141 ± 0,013 a	0,069 ± 0,001 a	0,977	24,7 ± 0,3 a	-8,4	27,6 ± 3,6 c	34,1 ± 1,1 c	0,99 ± 0,10 a	1,05 ± 0,10 a	0,362 ± 0,011 a	0,425 ± 0,012 a

T: coproducto total; W: fracción blanca de coproducto; ΔM_o : incremento de masa durante la pérdida de horneado (%); X_w : fracción de agua (b.h.); X_o : fracción de aceite (b.h.); R^2 : coeficiente de correlación entre la tensión superficial de los líquidos de prueba y el coseno del ángulo de contacto de la superficie de la matriz; γ_s : tensión superficial de la superficie de la matriz (mN/m); $\Delta\gamma_s$: incremento de la tensión superficial en comparación con la muestra control (%); $\vartheta_w t_{0s}$: ángulo de contacto del agua / matriz en grados; $\vartheta_o t_{0s}$: ángulo de contacto del aceite / matriz en grados; $J_w t_{10s}$: flujo de agua en el momento = 10s (g/cm².s); $J_o t_{10s}$: flujo de aceite al momento = 10s (g/cm².s); X_{wf} : fracción de agua al final del ensayo de disolvente; X_{of} : fracción de aceite al final del ensayo de disolvente. Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas P≤0,05

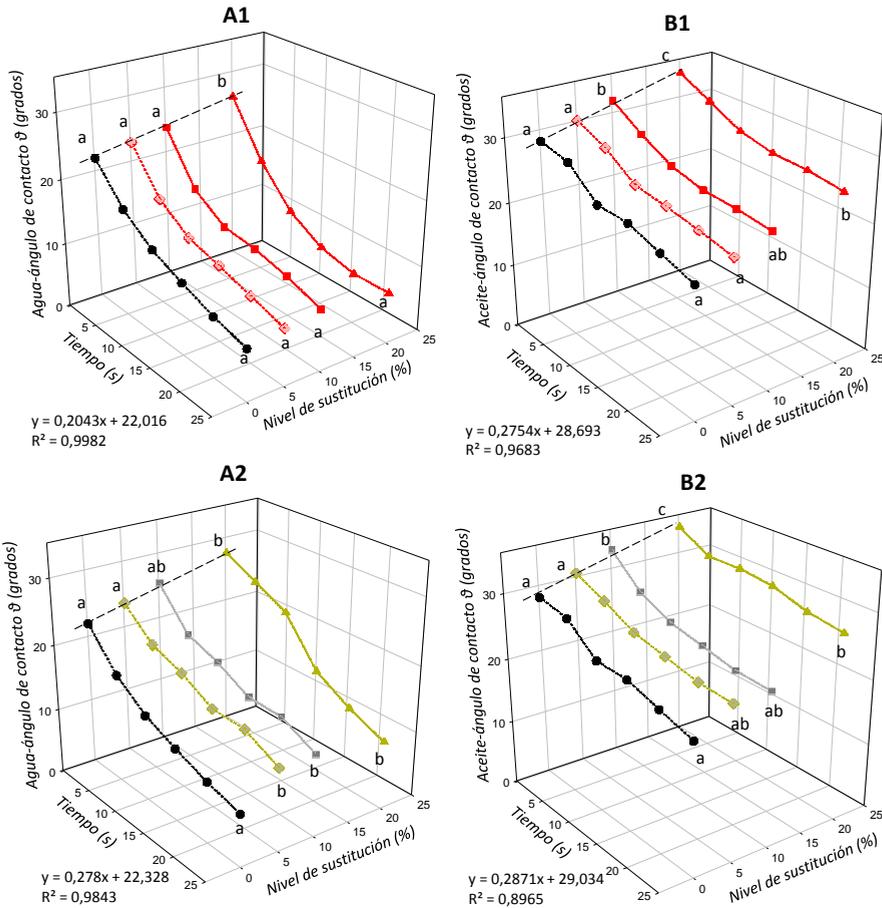


Figura I.3. Ángulo de contacto θ grados en gotas de agua (A) y aceite (B) vs. tiempo (s) para las fórmulas de la matriz basada en trigo. A1: T/agua; B1: T/aceite; A2: W/agua; B2: W/aceite. Control ●; T: 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲; W: 5% ◇, 10% ■ y 20% ▲. Ajuste lineal a los t0 está representada por líneas discontinuas, y sus ecuaciones de regresión y los coeficientes de correlación están indicados. Las letras significan diferencias significativas de grados y harinas a t0 y t25 segundos en el mismo solvente en $P \leq 0,05$.

3.4. Difusión de solventes

Con la finalidad de profundizar en los efectos observados en los ensayos previos se estudió los flujos de los solventes dentro de las matrices mediante la introducción de las muestras en estos (Figura I.4). La misma tendencia en las muestras, con un nivel de coproducto diferente, se observó una vez más, pero en este caso en orden inverso, no evidenciándose un comportamiento lineal claro, pero inversamente proporcional al ángulo de contacto del ensayo de mojabilidad. Las muestras con un ángulo de contacto más alto presentaron menor flujo, si bien las diferencias entre las fórmulas fueron menos acusadas en las condiciones de inmersión. Así, una vez más, las muestras que contenían W fueron aquellas que presentaron menor flujo de solventes, siendo el flujo de aceite ligeramente más alto que el del agua para ambas sustituciones T y W.

En general, estas observaciones fueron contrarias a los resultados reportados por Aravind et al. (2012), quienes sugirieron una interrupción de la continuidad de la matriz proteína-almidón debido a la adición de fibra polar insoluble a la pasta de trigo, que generaría espacios o grietas en la matriz que favorecerían una absorción de agua más rápida durante la cocción. Probablemente las diferencias radiquen en la preparación de la matriz de trigo, donde el efecto del calor no estaba presente dado que la pasta fue secada a temperaturas muy inferiores a las utilizadas en la etapa de horneado

del presente estudio. En este sentido, el calor produciría degradación o cambios en la estructura de algunos polímeros, reduciendo su longitud, cuyo impacto es menor sobre la estructura de la matriz proteína-almidón cuando se reestructura durante el proceso de deshidratación que tiene lugar en el horno. Este efecto también podría explicar por qué el mayor tamaño de partícula de las harinas de coproducto, en comparación con la harina de trigo, no tuvo el efecto inverso, lo que sería esperado dado su impacto en el desarrollo de la red de gluten (De La Hera et al., 2014).

Las diferencias entre T y W siguieron las mismas líneas que en el estudio de Rodríguez-Gutiérrez et al. (2014), donde se observó una mayor capacidad de retención de agua para una mezcla de lignina y celulosa extraída de huesos de aceitunas en comparación con la celulosa pura. En cambio, se observaron valores casi iguales para la capacidad de retención de aceite. Estos resultados estuvieron de acuerdo con el comportamiento observado de T y W, respectivamente. Ambas harinas de coproducto tenían un efecto general de reducción de la difusión del disolvente, pero la capacidad de sus componentes para interactuar con el agua y el aceite también podría explicar parte de la variabilidad observada en las diferencias encontradas, además de su influencia en la estructura de la matriz. Esto es coherente con el hecho de que W, cuya composición es

básicamente celulosa, tenga más dificultades para absorber agua que T, que contenía considerable cantidad de lignina y celulosa.

Para observar las diferencias en la relación existente entre la ganancia de solvente por la masa durante el tiempo de inmersión y los valores de flujo, se representaron gráficamente unos frente a otros a cada tiempo de inmersión. La Figura I.5 muestra el flujo de los solventes contra la fracción de agua y aceite (X_w y X_o respectivamente) para cada tiempo, empezando desde la cantidad inicial. La ralentización del flujo estuvo relacionada con el incremento en el nivel de sustitución. Varios casos de muestras que contenían coproducto comenzaron en una fracción de agua ligeramente baja, teniendo también un menor flujo, el cual fue más pronunciado en W. La difusión del aceite siguió el mismo patrón y, en este caso, la cantidad de aceite inicial presentada por la muestra control fue menor (Tabla I.1). Sin embargo, a los 40 segundos el flujo fue mayor en comparación con las otras muestras. En este solvente, ambos tipos de coproductos presentaron una desaceleración máxima en el nivel de sustitución del 20%. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que la desaceleración de los flujos no está relacionada con las diferencias de gradiente de concentración entre las concentraciones de disolventes dentro y fuera de las matrices. Aunque los valores de flujo se redujeron con el incremento del nivel de sustitución de

coproducto, estos se acercaron a los valores de control con el tiempo.

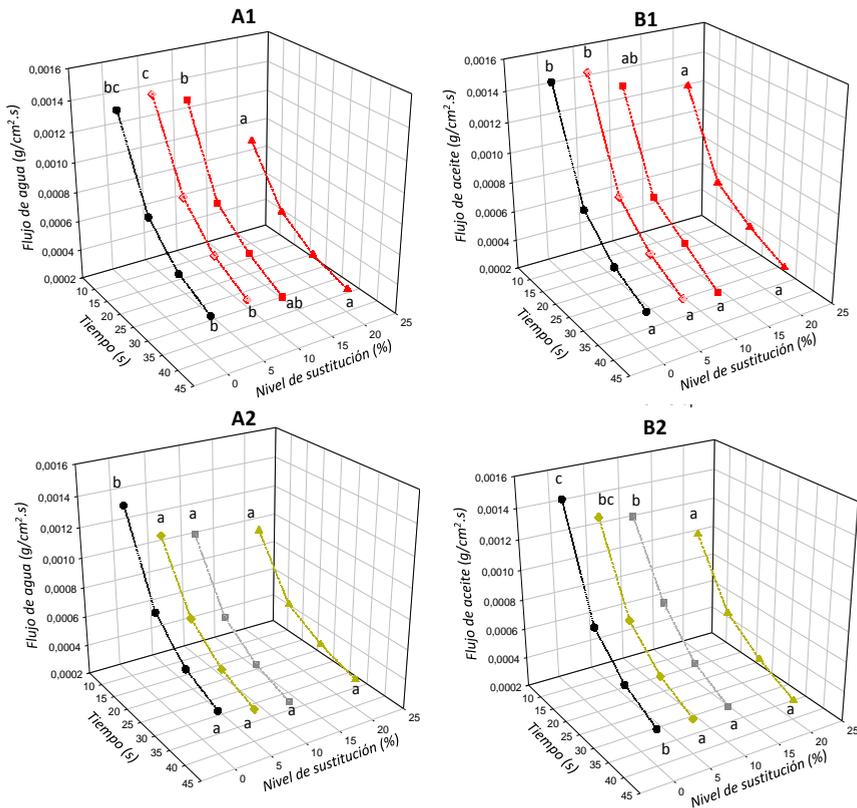


Figura I.4. Flujo de solventes con el tiempo ($\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$). A1: T/agua; B1: T/aceite y A2: W/agua; B2: W/aceite. Control ●; T: 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲; W: 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲. Las letras significan diferencias significativas de grados y harinas a los 10 segundos en el mismo solvente en $P \leq 0,05$.

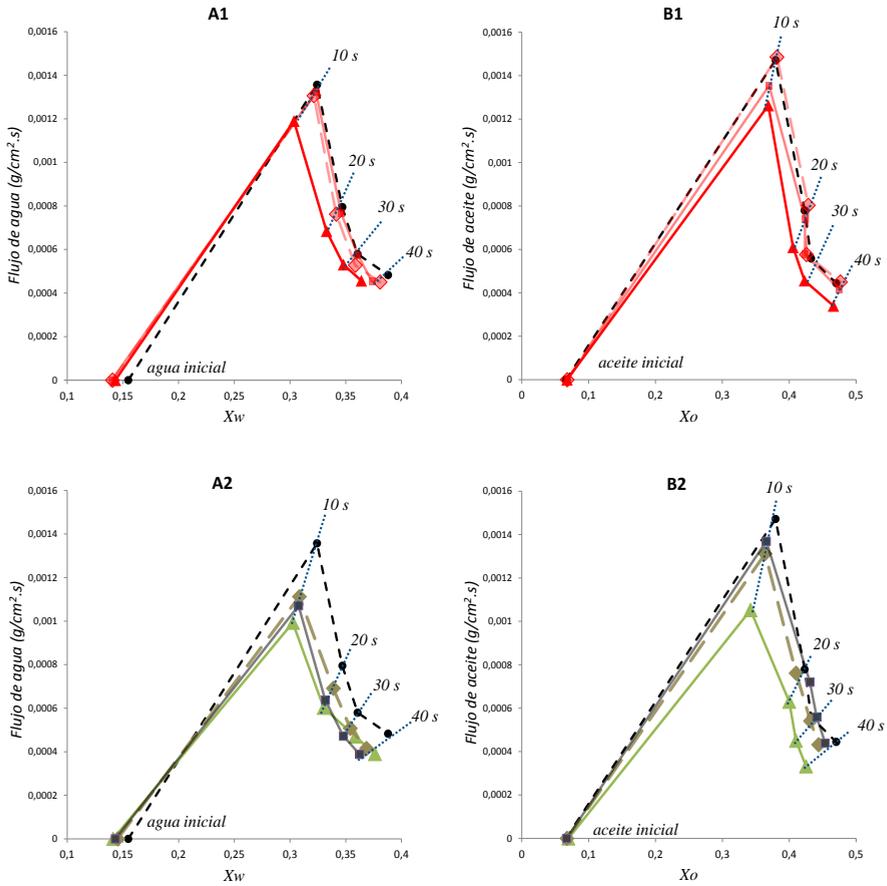


Figura I.5. Flujo de solventes (g/cm².s) vs. Contenido de agua (X_w)/ contenido de aceite (X_o) durante la inmersión. A1: T/agua; B1: T/aceite y A2: W/agua; B2: W/aceite. Control ●; T: 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲; W: 5% ◆, 10% ■ y 20% ▲. Se indican las secciones iniciales de humedad y tiempo en segundos.

4. Conclusiones

Se comprobó el impacto del coproducto de la horchata en las propiedades de superficie y difusionales de las matrices con base de trigo. Los niveles de sustitución del 10% redujeron la capacidad de la matriz para interactuar con los solventes. Adicionalmente, la tensión superficial de las matrices disminuyó al incrementar el nivel de sustitución, la cual alcanzó un máximo (8,4%) cuando se empleó la harina de tejido blanco W en el nivel de sustitución del 20%. Por otro lado, la mojabilidad de las superficies de la matriz con agua y aceite también se redujo cuando el nivel de coproducto aumentó, y se registraron aumentos significativos en los grados de los ángulos de contacto matriz-disolvente. No obstante, la difusión de los disolventes también se vio afectada ya que los flujos de agua y aceite se redujeron significativamente desde el nivel de sustitución 10%.

En lo que respecta a las dos harinas de coproducto estudiadas, las de T tuvieron menor impacto en las matrices que W, que obtuvo reducciones más marcadas para todas las propiedades estudiadas. Las diferencias observadas podrían responder principalmente al tipo de compuestos insolubles que contienen en su composición. Así mismo, el efecto del calor en estos compuestos de fibra insolubles coincidió con los resultados aportados en estudios previos, con cambios evidentes en la capacidad de interactuar con los componentes de la harina de trigo.

El coproducto de horchata se puede incluir en la matriz de trigo utilizada sin modificaciones cuando se utiliza el coproducto total (T) hasta el nivel de sustitución del 5%. Sin embargo, con la fracción blanca del coproducto (W), todos los niveles de sustitución conducen a un flujo de agua reducido, y para el aceite a partir del 10% de sustitución.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Cultura, Educación y Deporte de Política Regional y Científica de Valencia, con el proyecto "Uso de harinas no de trigo, de coproductos de la industria alimentaria, para producir pan, pasteles y aperitivos (AICO / 2015/107)".

5. Referencias bibliográficas

Andrade, R., Skurtys, O., Osorio, F., Zuluaga, R., Gañán, P., & Castro, C. (2014). Wettability of gelatin coating formulations containing cellulose nanofibers on banana and eggplant epicarps. *LWT - Food Science and Technology*, 58(1), 158–165. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2014.02.034>

Aravind, N., Sissons, M., Egan, N., & Fellows, C. (2012). Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and

structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 130(2), 299–309.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.07.042>

Aydar, A. Y., Rodriguez-Martinez, V., & Farkas, B. E. (2016). Determination and modeling of contact angle of Canola oil and olive oil on a PTFE surface at elevated temperatures using air or steam as surrounding media. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 304–310.
<https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.08.022>

Ayeh-Kumi, P. F., Tetteh-Quarcoo, P. B., Duedu, K. O., Obeng, A. S., Addo-Osafo, K., Mortu, S., & Asmah, R. H. (2014). A survey of pathogens associated with *Cyperus esculentus* L (tiger nuts) tubers sold in a Ghanaian city. *BMC Research Notes*, 7(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-343>

Bortnowska, G., Krudos, A., Schube, V., Krawczyńska, W., Krzemińska, N., & Mojka, K. (2016). Effects of waxy rice and tapioca starches on the physicochemical and sensory properties of white sauces enriched with functional fibre. *Food Chemistry*, 202, 31–39.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.077>

De La Hera, E., Rosell, C. M., & Gomez, M. (2014). Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility. *Food Chemistry*, 151, 526–531.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.115>

Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>

Donaldson, L. A. (2001). Lignification and lignin topochemistry - An ultrastructural view. *Phytochemistry*, 57(6), 859–873. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00049-8)

Ezeh, O., Gordon, M. H., & Niranjana, K. (2016). Enhancing the recovery of tiger nut (*Cyperus esculentus*) oil by mechanical pressing: Moisture content, particle size, high pressure and enzymatic pre-treatment effects. *Food Chemistry*, 194, 354–361. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.07.151>

Habibi, Y., Mahrouz, M., & Vignon, M. R. (2009). Microfibrillated cellulose from the peel of prickly pear fruits. *Food Chemistry*, 115(2), 423–429. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.034>

ICC Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology (ICC)

Jing, S., Wang, S., Li, Q., Zheng, L., Yue, L., Fan, S., & Tao, G. (2016). Dynamic high pressure microfluidization-assisted extraction and bioactivities of *Cyperus esculentus* (*C. esculentus* L.) leaves

flavonoids. *Food Chemistry*, 192, 319–327.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.06.097>

Rodríguez-Gutiérrez, G., Rubio-Senent, F., Lama-Muñoz, A., García, A., & Fernández-Bolaños, J. (2014). Properties of Lignin, Cellulose, and Hemicelluloses Isolated from Olive Cake and Olive Stones: Binding of Water, Oil, Bile Acids, and Glucose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(36), 8973–8981.
<https://doi.org/10.1021/jf502062b>

Sánchez-Zapata, E., Fuentes-Zaragoza, E., Fernández-López, J., Esther Sendra, E. S., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2009). Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk (“horchata”) byproducts and its physicochemical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7719–7725.
<https://doi.org/10.1021/jf901687r>

Sánchez-Zapata, E., Muñoz, C. M., Fuentes, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Pérez-Alvarez, J. A. (2010). Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*, 85(1), 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>

Sánchez-Zapata, E., Zunino, V., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2013). Effect of tiger nut fibre addition on the quality and safety of a dry-cured pork sausage (“Chorizo”) during the

dry-curing process. *Meat Science*, 95(3), 562–568.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.026>

Sengupta, T., & Han, J. H. (2014). Surface Chemistry of Food, Packaging, and Biopolymer Materials. In *Innovations in Food Packaging* (pp. 51–86). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394601-0.00004-7>

Shahbazi, M., Rajabzadeh, G., Rafe, A., Ettelaie, R., & Ahmadi, S. J. (2016). The physico-mechanical and structural characteristics of blend film of poly (vinyl alcohol) with biodegradable polymers as affected by disorder-to-order conformational transition. *Food Hydrocolloids*, 60, 393–404.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2016.03.038>

Slavutsky, A. M., & Bertuzzi, M. A. (2014). Water barrier properties of starch films reinforced with cellulose nanocrystals obtained from sugarcane bagasse. *Carbohydrate Polymers*, 110, 53–61.
<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2014.03.049>

Tuberoso, C. I. G., Rosa, A., Montoro, P., Fenu, M. A., & Pizza, C. (2016). Antioxidant activity, cytotoxic activity and metabolic profiling of juices obtained from saffron (*Crocus sativus* L.) floral by-products. *Food Chemistry*, 199, 18–27.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.11.115>

Zhang, J., Cui, J.-H., Yin, T., Sun, L., & Li, G. (2013). Activated effect of

lignin on α -amylase. *Food Chemistry*, 141(3), 2229–2237.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2013.05.047>

Zhang, Y., Thompson, M., & Liu, Q. (2011). The effect of pea fiber and potato pulp on thermal property, surface tension, and hydrophilicity of extruded starch thermoplastics. *Carbohydrate Polymers*, 86(2), 700–707.

<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2011.05.009>

Zia-ur-Rehman, Z., Islam, M., & Shah, W. (2003). Effect of microwave and conventional cooking on insoluble dietary fibre components of vegetables. *Food Chemistry*, 80(2), 237–240.

[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00259-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00259-5)

CAPÍTULO II

Enriquecimiento de chips con fibra, procedente del coproducto obtenidos de la elaboración de horchata, hasta niveles de “fuente de fibra” y “alto nivel en fibra”: impacto sobre el procesado y las propiedades fisicoquímicas y sensoriales

International Journal of Food Science and Technology (en fase de revisión)

Cecibel Alava, Samuel Verdú, Raúl Grau, José M. Barat

Versión adaptada para la tesis doctoral

Resumen

Se estudió el impacto de integrar el coproducto de la elaboración de horchata en el proceso de producción de chips de trigo, para enriquecerlos en fibra hasta valores que la reglamentación europea define como "fuente de fibra" y "alto contenido de fibra". Cuatro formatos de harinas, basadas en su composición y tamaño de partícula, se obtuvieron del coproducto. La harina de trigo se sustituyó a los niveles del 5%, 10% y 20% con el coproducto. Se estudió el impacto en el procesado y las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto final. En la fase de horneado, la pérdida de masa aumentó, pero las diferencias se equilibraron durante el tiempo de temperado. Este efecto se relacionó con el aumento de la superficie de los chips durante la fase de formación al disminuir la retracción de la masa. Como resultado de estas modificaciones, los chips finales presentaron diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas; morfología, dureza, color, etc. A pesar de estos cambios, la evaluación sensorial fue favorable para todas las fórmulas y algunas de ellas no presentaron diferencias con el control. La inclusión del coproducto de la horchata como fuente de fibra produjo alteraciones en el procesamiento del chip y en las propiedades fisicoquímicas que deberían tenerse en cuenta, sin embargo su impacto fue positivo en la aceptabilidad del consumidor.

Palabras claves: chips, fibra, coproducto, chufa, producto horneado

1. Introducción

Los chips de patata y maíz son los más comunes de los snacks salados en el mundo, siendo consumidos por todas las edades y grupos (Senthil et al., 2002; Thakur & Saxena, 2000). Generalmente estos se elaboran mediante fritura la cual genera productos sabrosos con costras crujientes, tentadores aromas y atractivo visual. Estas propiedades únicas hacen de los alimentos fritos una parte importante del mercado de alimentos preparados y por tanto freír con mucho aceite sigue siendo una de las operaciones unitarias más importantes en la industria de procesamiento de alimentos. En este tipo de productos, la absorción de grasa y el deterioro del aceite están relacionados con su calidad. La absorción de grasa ocurre durante la fritura debido al reemplazo del agua evaporada por aceite y su hidrólisis y oxidación contribuyen al desarrollo de sabores rancios que deterioran la calidad del aceite (Saguy & Dana, 2003). Pero no solo la absorción de aceite y su posterior degradación hacen que este tipo de productos sean perjudiciales para la salud, sino que trabajos recientes han mostrado que los alimentos fritos son una fuente importante de acrilamida dietética (Tareke et al., 2002; Zhang et al., 2005), un factor emergente que se ha asociado con el riesgo de cáncer y efectos neurotóxicos.

Así existe una gran apuesta por las industrias productoras de snacks en desarrollar nuevos aperitivos mediante el uso de materias primas,

ingredientes alternativos y procesados (Yuksel & Kayacier, 2016), como son el uso de semillas de soja (Maetens et al., 2017) y el empleo del horneado en vez de la fritura.

En este mismo sentido, las empresas apuestan por enriquecer en contenido de fibra productos alimenticios con bajo contenido de fibra (panadería, bebidas, productos lácteos y cárnicos refinados) porque mejora el aporte nutricional, proporciona productos de alto valor y contribuye a la competitividad. Estos productos deben cumplir las normas de etiquetado especificadas en el Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo sobre declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. Indica que para etiquetar "fuente de alimentos con fibra", un producto dado requiere 3 g de fibra / 100 g de producto y en el caso de "alimentos con alto contenido de fibra" se requieren 6 g de fibra / 100 g de producto. Sin embargo, la incorporación de fibra en productos de matriz preestablecidos induce cambios en las propiedades fisicoquímicas, como el comportamiento reológico, la conductividad térmica, la retención y actividad del agua, la consistencia, los parámetros de textura, el color, etc. (Bortnowska et al., 2016). Por lo tanto, estudiar el impacto de la incorporación de fuentes de fibra en productos específicos que tienen considerables dificultades debido a las propiedades morfológicas y sensoriales, o las operaciones del proceso, es un área de experimentación necesaria.

Una posible fuente de fibra sería aquella procedente del coproducto de la elaboración de horchata de chufa (*Cyperus esculentus*) el cual es una excelente fuente de fibra dietética, que tradicionalmente se destina a la masa orgánica para la combustión, el compostaje y la producción de alimentos para animales. Este falso tubérculo procede de una hierba perenne del género *Cyperus* miembro de la familia de las gramíneas *Cyperaceae* (Ayeh-Kumi et al., 2014). El interés en desarrollar aplicaciones para este coproducto también radica en el hecho de que se generan grandes volúmenes en varias zonas geográficas de España, que es uno de los principales productores mundiales de leche de chufa. Esta agroindustria genera cerca de 5 millones de euros cada año.

Así en el presente trabajo se estudia la viabilidad de integrar una fuente de fibra procedente del coproducto de la elaboración de horchata en el procesado de chips, con el objetivo de enriquecer a niveles de "fuente de fibra" y "alto contenido de fibra".

2. Materiales y métodos

2.1. Materias primas: harina de trigo y acondicionamiento del coproducto de horchata

El coproducto de la horchata se obtuvo de una planta local de fabricación de horchata en forma de harina fibrosa, húmeda y gruesa.

Dos tipos de tejidos fibrosos triturados se diferenciaron desde un punto de vista macroscópico en este coproducto. El primero con un tamaño de partícula de aproximadamente más de 800 μm y de color marrón, como el salvado de cualquier grano, generado por el peridermo (piel) y la corteza del tubérculo. Es una fracción leñosa típica caracterizada por un alto contenido de lignina, entre otros polímeros insolubles (Donaldson, 2001).

El segundo tenía un tamaño de partícula inferior a 800 μm , de coloración blanquecino, compuesto por los tejidos internos del parénquima del tubérculo, como la médula y perimédula. Es un material algodonoso cuya composición se basa en carbohidratos insolubles, como celulosa y hemicelulosa (Habibi et al., 2009).

Dado que ambos se encuentran mezclados al final del procesado de la horchata, se realizó un tamizado con un tamiz de 800 μm , separándose la fracción blanca. Así se obtuvieron dos tipos de harina de coproductos: coproducto total (T) y fracción blanca (W). Se tomó la decisión de trabajar con esos dos tipos de harina para evaluar si la fracción blanca reduce el impacto sobre los atributos de color del producto final, que se encuentran entre los más afectados al enriquecer el contenido de fibra.

Ambas harinas se secaron al 14% de humedad (b.h.) y una fracción de estas se molió en un molinillo de acero inoxidable (Retsch GmbH, ZM 200, Haan, Alemania) para así obtener harinas de coproducto con un

tamaño de partícula menor. Estas harinas se denominaron coproducto total triturado (Trp) y fracción blanca triturada (Wrp). La harina de trigo comercial utilizada se obtuvo de un productor local (Molí del Picó - Harinas Segura S.L. Valencia, España). Los parámetros alveográficos también fueron facilitados por la empresa, siendo $P=94\pm 2$ (presión máxima (mm)), $L=128\pm 5$ (extensibilidad (mm)), $W=392\pm 11$ (fuerza (J^4)) y $0,73$ of P/L .

Los tamaños de partículas (P_s) y la composición de harina de trigo y harinas de coproducto se exponen en la Tabla II.1. Los tamaños de partícula fueron calculados tal como se indica en el capítulo I, sección 2.1 usando la ecuación 1. Así mismo, se calcularon los valores promedios de $D [4, 3]$ para la mezcla de harina de trigo con 5%, 10% y 20% de coproducto representada por P_s en la Tabla II.2. El tamaño de partícula de las harinas se midió 6 veces mediante dispersión láser en un Mastersizer 2000 (Malvern, Instruments, Reino Unido), equipado con una unidad de polvo seco Scirocco.

En la composición están indicadas la fracción de proteína, agua, grasa, ceniza y fibra dietética. El análisis de composición aproximado se realizó por triplicado según los estándares 110/1, 156, 136, 105/2 y 104/1 de ICC (International Association for Cereal Science and Technology) para agua, fibra dietética, grasa, proteína y cenizas, respectivamente.

Tabla II.1. Caracterización de las harinas de coproducto de horchata y trigo

Harinas	Tamaño de partícula				Composición				
	<i>d</i> (0,1)	<i>d</i> (0,5)	<i>d</i> (0,9)	<i>D</i> [4,3]	X_p	X_f	X_w	X_a	X_{df}
Trigo	25,5±1,1a	92,0±0,6a	180,6±0,8a	99,4±1,2a	0,147±0,06b	0,01±0,001a	0,14±0,005a	0,003±0,0a	0,002±0,0a
T	166,2±26b	587,6±51d	1326±33,6e	673,5±38,8d	0,019±0,007a	0,09±0,001b	0,14±0,004a	0,018±0,001b	0,69±0,004c
Trp	24,3±0,9a	182,7±7,1b	663,6±20,6c	271,1±8,1b					
W	225,5±4,5c	433±8,2c	777,9±14,7d	470,4±9,1c	0,015±0,007a	0,078±0,001c	0,14±0,005a	0,015±0,001c	0,71±0,003b
Wrp	31,9±0,7a	197,4±7,7b	516,5±32,4b	246,7±14,5b					

W: fracción blanca de harina; Wrp: fracción blanca de harina con tamaño de partícula reducido; T: coproducto total; Trp: coproducto total con tamaño de partícula reducido; X_p : fracción de proteína; X_f : fracción grasa; X_w : fracción de agua; X_a : fracción de ceniza; X_{df} : fracción de fibra dietética. El tamaño de partícula ha sido expresado en fracción volumétrica (tamaño máximo (μm) a 10% (*d* (0,1)), 50% (*d* (0,5)) y 90% (*d* (0,9)) con sus promedios (*D* [4, 3]) del volumen total de las partículas analizadas. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

2.2. Procesamiento de Chips

El procesado de los chips consistió inicialmente en el mezclado de la harina de trigo con alguna de las cuatro harinas de coproductos (T, W, Trp y Wrp). Se aplicaron tres niveles de sustitución: 5%, 10% y 20% p / p, base seca (b.s.). Los porcentajes de masa sustituida se calcularon sobre la fracción de materia seca de la harina de trigo usada para mantener constante la relación de gramos de agua por gramo de solutos entre las diferentes formulaciones (0,58 g de agua/g de solutos). Estos niveles de sustitución se seleccionaron de conformidad con el Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 2006 sobre declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los

alimentos, el cual indica que los parámetros para "fuente de alimentos con fibra" requieren 3 g de fibra/ 100 g de producto, y "alimentos con alto contenido de fibra" de 6 g de fibra/ 100 g de producto. En este sentido, la fórmula sustituida al 5% está de acuerdo con la primera denominación; la fórmula sustituida al 10% con la segunda, y la fórmula sustituida al 20% se incluyó para evaluar el comportamiento y la viabilidad de una mayor cantidad de fibra en el proceso.

Con los dos tipos de harinas de coproducto (T y W), dos tamaños de partículas (Trp y Wrp) y tres niveles de sustitución (5%, 10% y 20%), más el control, se elaboraron 13 formulaciones para el estudio. La formulación de la muestra control fue: 65% de harina de trigo, 27,7% de agua, 5,7% aceite (acidez máxima 0,2º Koipesol Semillas, S.L., España), 1,4% sal (sal marina refinada \geq 97% NaCl Salinera Española S.A., España). Estos porcentajes se mantuvieron constantes para todas las fórmulas sustituidas, y la cantidad de harina de coproducto varió de acuerdo con cada caso. Para cada fórmula se elaboraron veinte muestras, y en referencia al procedimiento descrito por Verdú et al. (2017) a continuación:

1. Los componentes líquidos (agua y aceite) y la sal se colocaron en un mezclador de alimentos (Thermomix® TM31, Vorwerk, Alemania) y se mezclaron para obtener una solución homogénea (1,5 minutos / 50 rpm).

2. La mezcla de harina pre-homogeneizada se añadió al mezclador de alimentos y se mezcló (4 minutos / 550 rpm) con giros aleatorios de la hélice del mezclador en ambas direcciones para obtener una masa homogénea.
3. La masa se dejó reposar en un tazón sellado durante 20 minutos a temperatura ambiente (20°C).
4. La fase de formación de las muestras se llevó a cabo separando bolas de masa de 10 gramos. Cada bola se introdujo en un laminador manual (IMPERIA SM / 220, FIMAR, Italia) para obtener hojas de 2 mm de espesor.
5. La cocción se hizo en un horno (530x450x340, potencia de la parrilla 1200W, volumen interno 32L, Rotisserie, DeLonghi, Italia) a 160°C durante 30 minutos.

Todas las muestras se dejaron reposar durante 10 minutos a temperatura ambiente (atemperar).

2.3. Evolución de la masa en la fase de horneado

Para recopilar datos de pérdida de masa en la fase de cocción, el horno se acopló a una balanza (K3R-15KD-SE, Gram Precision S.L., Barcelona) y los datos de peso se recogieron cada 5 minutos durante el proceso. Finalmente, se obtuvieron seis valores de ponderación

con el tiempo, a partir de los cuales se calculó la cinética de variación de masa en términos porcentuales (ecuación 1):

$$\Delta M_f = \frac{m_f - m_o}{m_o} * 100 \quad (1)$$

Donde ΔM_f es la variación de masa en % en tiempo cualquiera, m_f es masa en tiempo cualquiera y m_o es la masa inicial antes de hornear.

2.4. Caracterización del producto final: propiedades fisicoquímicas y sensoriales

2.4.1. Pérdida de masa y propiedades morfológicas

Después de atemperar las muestras a temperatura ambiente durante 10 minutos, se analizaron en variación de masa (ΔM_f) y fracción de agua (X_w) en este lapso de tiempo. La morfología de los chips se evaluó en función del área de los chips (A). Para evaluar el impacto de las harinas de coproducto en la forma de la muestra, se obtuvieron áreas de las muestras, escaneando (escáner MICROTEK ScanMaker 9800XL Plus) después del horneado y temperado. Las imágenes de las muestras se procesaron con el software de análisis de imagen ImageJ, donde las áreas se calcularon en píxeles y se convirtieron en cm^2 mediante una previa calibración. El impacto en esta fase se expresa como un incremento de área en % (ΔA), entre la fórmula control y el resto de las fórmulas.

2.4.2. Análisis de textura

La textura de las muestras se evaluó analizando la fuerza máxima de ruptura (H). El análisis de textura se basó en la metodología utilizada por Islas-Rubio et al. (2014). La fuerza de ruptura en g de los chips se determinó en el analizador de textura TA-XT2 (Stable Microsystems, Inglaterra) con una sonda de extremo esférico de 6,35 mm de diámetro y una velocidad de ensayo de 1 mm/s. El umbral de dureza fue 1 g y el umbral de distancia de 1 mm.

La fuerza de ruptura (H) representa la fuerza máxima requerida para romper el chip. Se analizaron veinte respuestas de cada tipo de formulación. Se colocaron muestras individuales de cada fórmula en el accesorio de fractura (código TA-101) y la bola penetró en el chip hasta que se produjo una fractura completa.

2.4.3. Mediciones de color

Las mediciones de color fueron tomadas después del temperado de las muestras, en chips enteros. Los parámetros de color L, a*, b* se determinaron mediante un espectrofotómetro UV / VS Minolta modelo CM-3600d de 400 a 700 nm a intervalos de 10 nm usando una esfera integradora. El sistema de color empleado fue CIE Lab. El iluminante D65 se usó con un ángulo de observación de 10°.

Los valores L, a* y b* se obtuvieron del promedio de 10 determinaciones por cada formulación de chip. El índice de blancura

(WI) se calculó de acuerdo con Bortnowska et al. (2016), a través de la siguiente ecuación:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2} \quad (2)$$

2.4.4. Propiedades sensoriales

El proceso se llevó a cabo por 50 evaluadores no expertos y no capacitados (adultos), que son consumidores habituales de diferentes tipos de chips. Las pruebas se basaron en escalas semiestructuradas (AENOR, 2006) mediante las cuales se evaluaron los atributos de color, olor, apariencia, retrogusto, textura de la boca y aceptación global. Estos atributos se seleccionaron como los más descriptivos tanto para la industria como para los consumidores de dichos productos. Se utilizó un cuestionario y se basó en líneas de 8cm donde se representaron tres puntos de referencia (0 = desagradable, 4 = aceptable y 8 = agradable) para cada atributo.

Cada evaluador evaluó dos muestras servidas a temperatura ambiente codificadas con un número aleatorio de 3 dígitos. Las muestras fueron chips enteros (Figura II.1).

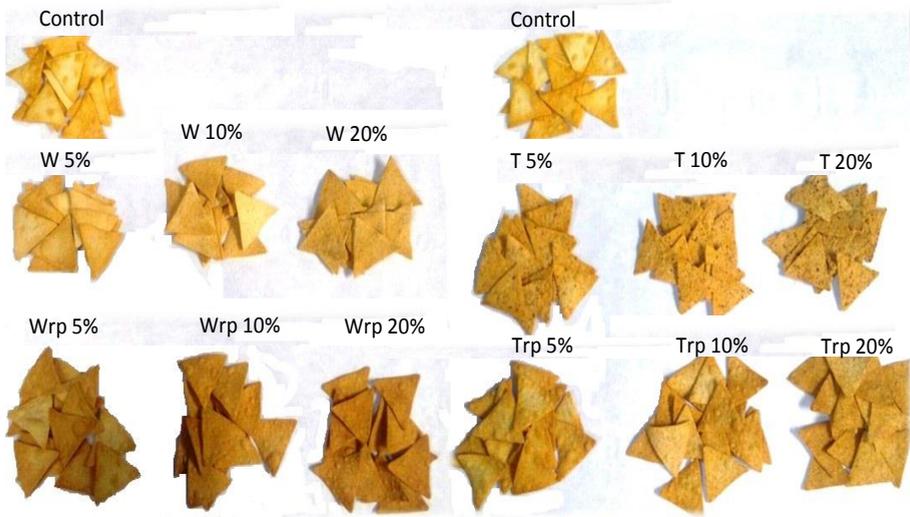


Figura II.1. Muestras chips de las diferentes formulaciones utilizadas en los análisis sensoriales.

2.5. Análisis estadístico

Se utilizó un ANOVA unidireccional (one-way) y multifactorial para estudiar los resultados de las variables dependientes, así como los principales efectos e interacciones entre los factores (tipo de harina de coproducto, tamaño de partícula, nivel de sustitución, tiempo). En aquellos casos en los que el efecto fue significativo (valor $P < 0,05$), el promedio fue comparado por la diferencia mínima significativa de Fisher (LSD). También se utilizó un método estadístico multivariante no supervisado, el análisis de componentes principales (PCA), para evaluar qué variables describieron mejor cada muestra y, por lo tanto, explicarían las diferencias entre ellas. PCA es un método

utilizado para describir y reducir la dimensionalidad de las variables cuantitativas del producto final a un pequeño número de variables nuevas, denominadas componentes principales (PC), que son el resultado de las combinaciones lineales de las originales. Se seleccionó el número de PC después de considerar el cambio de tendencia en la curva de % de varianza, así como que el porcentaje acumulado de variabilidad explicada por encima del 75%.

3. Resultados y discusión

3.1. Evolución de la masa en la fase de horneado

Los datos registrados de la evolución de la masa durante el horneado se muestran en la Figura II.2 (hasta 30 min) en términos de porcentaje de variación de masa (ΔM_f). Los resultados mostraron las curvas sigmoideas típicas de un proceso de horneado, donde se produjo una pendiente pronunciada hasta llegar a la zona asintótica, debido a la reducción del contenido de agua en este caso. Todas las fórmulas sustituidas presentaron una pérdida de masa mayor que el control, si bien la harina del coproducto total T presentó la mayor cantidad.

El nivel de sustitución no tuvo efecto, apareciendo todas las curvas superpuestas. Por el contrario, cuando terminó el tiempo de horneado y las muestras se atemperaron durante 10 minutos, se

observó una recuperación de la masa (de 30 a 40 min, zona de marca de agua - Figura II.2). El aumento de masa durante este tiempo equilibró la pérdida de masa final (ΔM_f) de todas las fórmulas hasta valores similares. Este efecto debe explicarse observando las diferencias en la morfología de los chips. Este parámetro se analiza en profundidad en la siguiente sección, sin embargo, es necesario tener presente las diferencias observadas en el área de los chips (Figura II.3A).

El aumento en la superficie de los chips cuando se agregaron harinas de coproducto produjo un incremento del frente de migración del agua para el mismo peso de masa, generando una pérdida de agua más rápida durante el horneado al mismo tiempo que una recuperación de agua del ambiente más rápida durante el tiempo de temperado. A pesar de las diferencias de cinética de pérdida de masa durante el horneado, las diferencias de pérdida de masa entre fórmulas se redujeron a lo largo del tiempo de temperado.

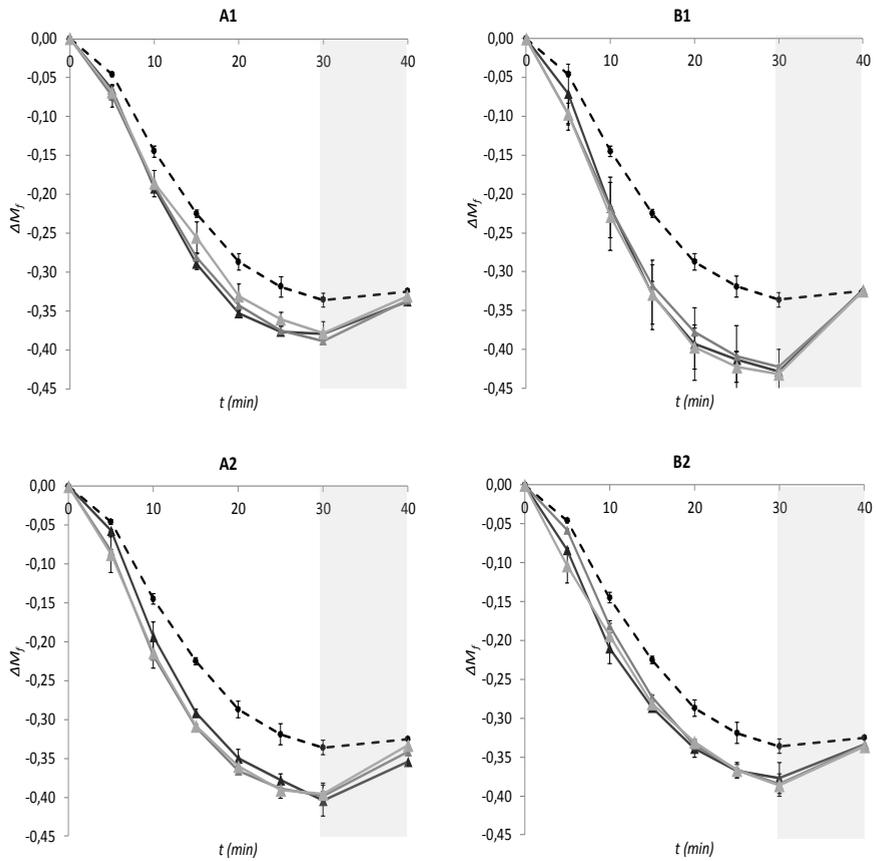


Figura II.2. Evolución de la masa en la fase de horneado (0-30 minutos) y tiempo de temperado (30-40 minutos). A1: harina W; A2: harina Wrp; B1: harina T; B2: harina Trp. ΔM : pérdida de masa en %. Triángulos con línea continua: 35% gris, 5% de sustitución; 50% gris, 10% de sustitución; negro, 20% de sustitución; círculos negros: control con línea discontinua. Barras marcan la desviación estándar.

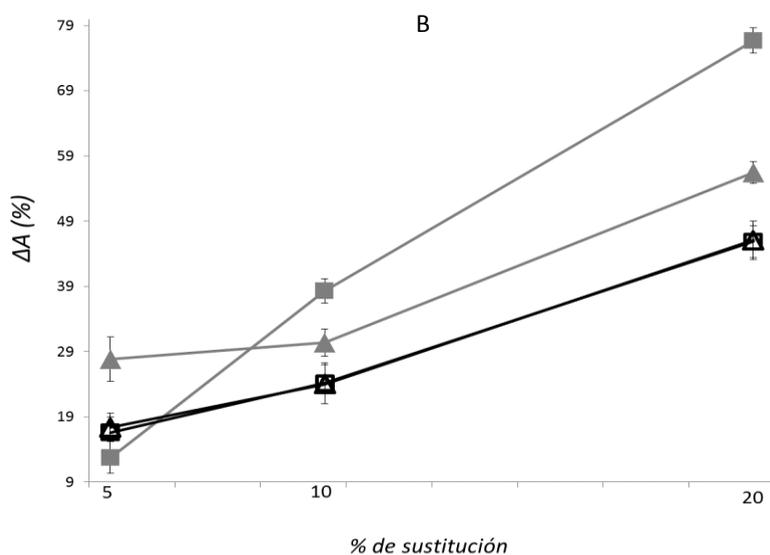
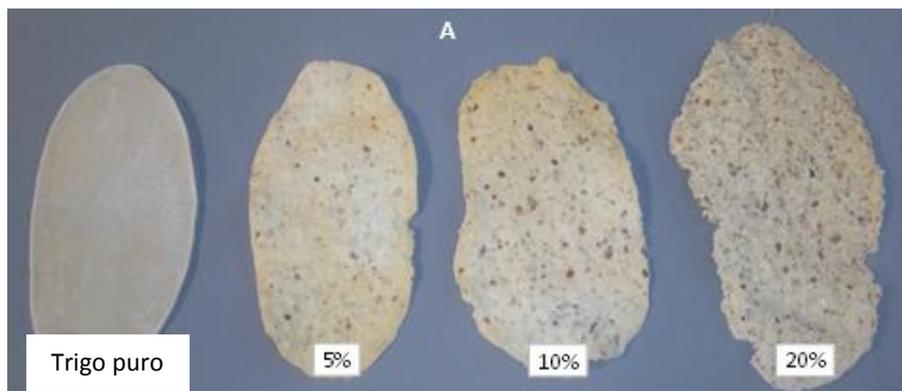


Figura II.3. A: imagen de muestras de chips formuladas con coproducto total T al 0%, 5%, 10% y 20% de sustitución (b.s.). **B:** incremento del área de chips después de la fase de formado vs. nivel de sustitución. Cuadrado relleno: harina W; cuadrado vacío: harina Wrp; triángulo relleno: harina T; triángulo vacío: Trp. ΔA : superficie incrementada en comparación con el control (%). Barras marcan la desviación estándar.

3.2. Caracterización del producto final: propiedades fisicoquímicas y sensoriales

3.2.1. Pérdida de masa y propiedades morfológicas

Los resultados de la variación de masa final (ΔM_f), fracción de agua (X_w) y área (A) se recogen en la Tabla II.2 Todos los casos presentaron reducciones significativas en la fracción de agua en comparación con las muestras control después del tiempo de temperado, exceptuando las muestras con Wrp. Aunque estas diferencias fueron estadísticamente significativas, el máximo de ellas fue de alrededor del 3% entre control y T al 10% de sustitución. Este comportamiento se relacionó directamente con la cinética de pérdida de masa discutida anteriormente, asumiendo todas las pérdidas de masa como masa de agua.

Con respecto a la morfología de los chips, el efecto de la sustitución dio como resultado un incrementado del área de las muestras bajo las mismas condiciones, como se ha comentado anteriormente. Las muestras control presentaron un área promedio de $49,1 \pm 1,7 \text{ cm}^2$, siendo la formulación con menor área. Los máximos se registraron para las harinas de coproductos no molidos: W al nivel de sustitución del 20% con $86,9 \pm 1,1 \text{ cm}^2$ y T al 20% con $76,9 \pm 0,7 \text{ cm}^2$. Todas las fórmulas sustituidas presentaron diferencias estadísticas en comparación con el control, no siendo significativo el efecto molienda (Wrp y Trp) para cada nivel de sustitución.

Para conocer la influencia de cada factor estudiado (nivel de sustitución, tipo de harina, tamaño de partícula) en la varianza total, los resultados se analizaron mediante un ANOVA múltiple, y luego la importancia de los efectos principales se determinó para el nivel de sustitución, tamaño de partícula y tipo de harina de coproducto. Los resultados mostraron como el efecto principal fue el nivel de sustitución seguido por el tamaño de partícula, en función de su relación F-ratio. Además, el tipo de harina de coproducto no tuvo un efecto significativo sobre el comportamiento de la masa en esta variable. También se observó una interacción significativa entre el tamaño de partícula - nivel de sustitución y el tipo de harina - nivel de sustitución. Por lo tanto, el tipo de harina tiene importancia en las harinas no molidas, no en cambio en las harinas con tamaño de partículas reducido.

El análisis de los resultados reológicos mostró diferencias en las masas que influyen en la fase de formación del producto. Este efecto se debió principalmente a la disminución de la cantidad de gluten disponible para generarla matriz, lo que redujo la capacidad de retracción de la masa después de la formación. La presencia de diferentes sólidos, como la fibra insoluble (lignina, celulosa principalmente) en este caso, también interrumpió la formación óptima de la red de gluten y provocó alteraciones en el comportamiento de la masa. Este debilitamiento de las masas de

trigo por los reemplazos con salvado, y compuestos ricos en fibra, es un fenómeno típico que ha sido reportado por otros autores (Sudha et al., 2007).

La Figura II.3B muestra el incremento del área de muestras en comparación con el control. El coproducto con el tamaño de partícula original presentó un mayor incremento del área, mientras que las harinas de tamaño de partícula reducido tuvieron menos impacto en la formación de la matriz de gluten, a pesar de haberse incorporado en el mismo nivel de sustitución.

De acuerdo con los resultados, la morfología se vio significativamente afectada. Es crucial tener en cuenta este hecho para comprender el comportamiento de las fórmulas en el análisis posterior.

Tabla II.2. Resultados de las propiedades fisicoquímicas de chips

Harina	%	Ps	A	ΔMf	Xwf	H	L*	a	b	ΔE
Control	0	99,4±5,6a	49,1±1,7a	32,5±1a	0,15±0,01b	1581±68c	73,4±0,9e	1,4±0,1a	15,8±0,7a	-
W	5	117,9±4,9d	55,4±1,7b	33,1±1,3b	0,14±0,01a	1601±81b	70,1±0,7d	2,9±0,2b	18,7±0,9b	4,7±1,3a
	10	136,5±3,8e	68,0±1e	33,6±1,3b	0,14±0,01a	983±71b	71,8±0,6d	3±0,2b	19±0,9b	3,9±1,4b
	20	173,6±6,2g	86,9±1,1h	33,8±0,9b	0,13±0,01a	701±35a	73,3±1,3e	2,7±0,3b	17,6±0,6b	2,2±1b
Wrp	5	106,7±5,3ab	57,3±0,7b	33,3±0,7b	0,15±0,01b	1380±39a	68±1,2c	3,6±0,2c	19,6±0,8bc	7±0,8bc
	10	114,1±4,9bcd	61,0±2,4c	35,1±0,8b	0,16±0,01b	1302±37b	67,4±1,3bc	4±0,3c	21,1±0,8c	8,4±1cd
	20	128,8±4,6e	71,7±2,3f	33,4±1b	0,15±0,01b	981±53b	65,8±0,8b	4,4±0,2c	21,3±0,7c	9,8±0,5cd
T	5	128,1±6,1e	62,9±2,9cd	32,5±0,9ab	0,14±0,01b	1650±38c	76,5±1,6e	1,9±0,4a	22,1±1,6c	7±1,2b
	10	156,8±4,8f	64,1±1,2d	32±1,6a	0,12±0,01ba	1228±39b	73,1±5,1e	4,1±1,6d	24±2,1d	8,6±1c
	20	214,2±7,2h	76,9±0,7g	32,3±0,8a	0,14±0,01ba	1050±44ab	71,8±1,3e	5,3±0,9e	27,7±2,3e	12,6±1,3d
Trp	5	107,9±4,2abc	57,7±2,3b	33,6±0,8b	0,14±0,01a	1556±52c	66,9±1,4bc	3,2±0,2c	18±0,5b	7±1,8bc
	10	116,5±4,2cd	61,0±2,5c	34±0,5b	0,13±0,01a	1385±46b	65,5±1,1b	4±0,3d	19,5±0,5b	9,1±0,3cd
	20	133,7±5,1e	71,8±1,7f	33,4±0,5b	0,14±0,01a	1295±63b	63,1±1,2a	4,3±0,3d	18±0,8b	10,9±1,8cd

W: fracción blanca de harina; Wrp: fracción blanca de harina con tamaño de partícula reducido; T: coproducto total; Trp: coproducto total con tamaño de partícula reducido; Ps: promedio del tamaño de partícula de la mezcla de harinas [D 4,3]; A: superficie de chips in cm²; ΔMf: variación de la masa al final del tiempo de temperado en %; Xwf: fracción de agua al final del tiempo de temperado; H: fuerza máxima en gramos; CIE Lab parámetros de color donde L es luminosidad, a coordenada amarillo-azul, b coordenada verde-rojo; ΔE: diferencia de color. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas P≤0,05

3.2.2. Análisis textural

La dureza de los chips (H) presentó una reducción regular con el nivel de sustitución. En ambos casos, las harinas de coproductos con partículas reducidas (Wrp y Trp) presentaron una menor reducción que las del tamaño original (W y T). Entre W y T, el primero presentó el máximo impacto en esta variable, generando los chips más suaves. Estos resultados son coherentes con las causas descritas previamente en los cambios morfológicos y están en la misma línea que los estudios reportados sobre el efecto de la celulosa, y otras fibras, en las sustituciones de la harina de trigo. En estos, el efecto de diferentes fibras de celulosa fue la reducción en la energía requerida para fracturar las masas de harina de trigo desde un nivel de sustitución del 5% (Goldstein et al., 2010). Concretamente, se describieron reducciones de alrededor del 10 y 20% en la energía requerida para rasgar muestras de gel de trigo puro en sustituciones de 5 y 10%, respectivamente. En nuestro caso, los rangos de reducción de la dureza fueron del 5 al 20% de las sustituciones: 5-55% para W, 12-37% para Wrp, 2-33% para T y 1,5-18% para Trp respectivamente.

La interrupción de la correcta formación del complejo almidón-proteína es igualmente interpretable; sin embargo, la matriz vítrea de

los chips genera diferencias más duras entre los niveles de sustitución que los sistemas viscoelásticos como los geles.

Por lo tanto, si estas interrupciones se producen debido a la presencia de materiales de harina no de trigo, deberían estar relacionados con el tamaño de partícula. Por lo tanto, el efecto del tamaño de partícula debería estar relacionado con la dureza, pero también con el área (A), ya que las diferencias en este parámetro morfológico producen diferencias en la configuración de la matriz de las muestras. Para explorar este hecho, se graficó la dureza (H), área (A) y el promedio de tamaño de partícula (P_s : D [4, 3]) (Figura II.4). Se observaron cuatro modelos diferentes en función del tipo de harina de coproducto, al iniciar dicha relación con la muestra de control. En todos los casos, H presentó una relación inversa con A y P_s , con mayor pendiente para las harinas W y T. Las diferencias en la dirección de los modelos en el espacio revelaron el efecto del tipo específico de harina, donde W y Wrp presentaron menos H en los chips con similares A y P_s .

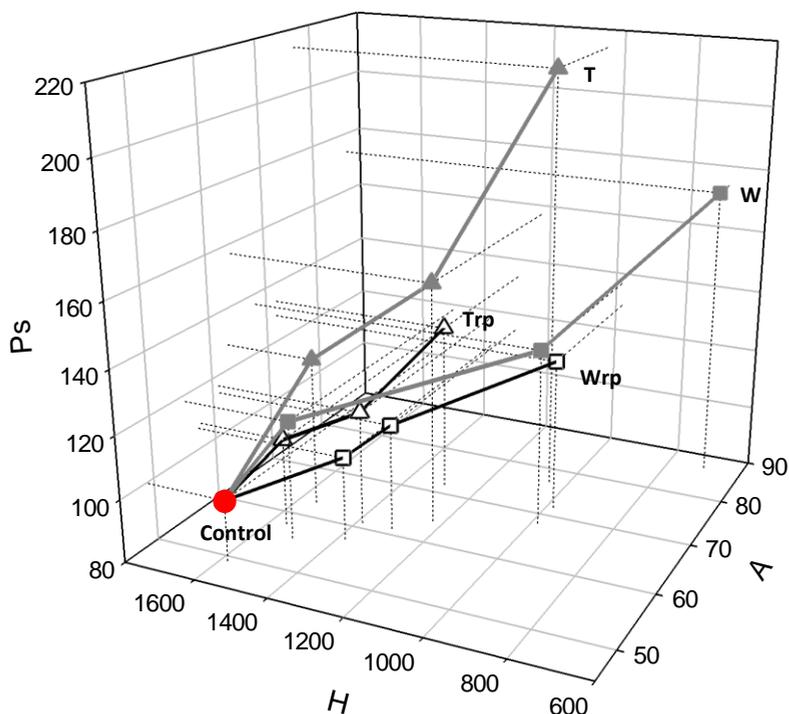


Figura II.4. Relación entre dureza (H) en gramos, área de chip en cm² (A) y promedio del tamaño de partícula (Ps: D [4, 3]) en µm. Cuadrado relleno: harina W; cuadrado vacío: harina Wrp; triángulo relleno: harina T; triángulo vacío: harina Trp.

3.2.3. Parámetros de Color

Los parámetros de color presentaron claras diferencias cuando el tamaño de partícula se modificó en la misma harina de coproducto. El parámetro L se redujo principalmente en muestras con Wrp y Trp. En todos ellos, aumentaron los parámetros a* y b*, lo que coincidió con el desplazamiento del color hacia las tonalidades marrones, entre

amarillo y rojo. La diferencia de color total (ΔE) presentó valores más altos para las muestras con T y Trp, lo que concuerda con el hecho de que esas harinas mantuvieron la cubierta original de fibra de las partes externas de la chufa (cáscara).

Respecto a la blancura (WI), la muestra control presentó el mayor valor de WI y los mínimos fueron para las muestras de ambas harinas de partículas reducidas (Trp y Wrp). Al evaluar la relación entre WI y el nivel de sustitución (Figura II.5), se observó la tendencia formada entre ellos, donde al incrementar el nivel de sustitución se produce una caída en los valores de WI, excepto para las muestras con W. Hay que remarcar que, para los mismos incrementos, en el nivel de sustitución, se generaron reducciones importantes para T y en cambio disminuciones para W. De hecho, W fue la harina que generó chips más similares al control cuando aumentó el nivel de sustitución.

El incremento en el nivel de adición de W podría compensar el efecto de la dispersión de la luz que genera la rugosidad de la superficie como consecuencia de la inclusión de partículas (Chung et al., 2013). Esta compensación podría deberse a la blancura de esta harina. En cambio, los chips con la harina con partícula reducida (Wrp) tuvieron una respuesta similar al resto, una reducción acentuada en blancura, con lo que la reducción de la partícula estaría alterando la dispersión de la luz independientemente del tipo de harina utilizada, T o W.

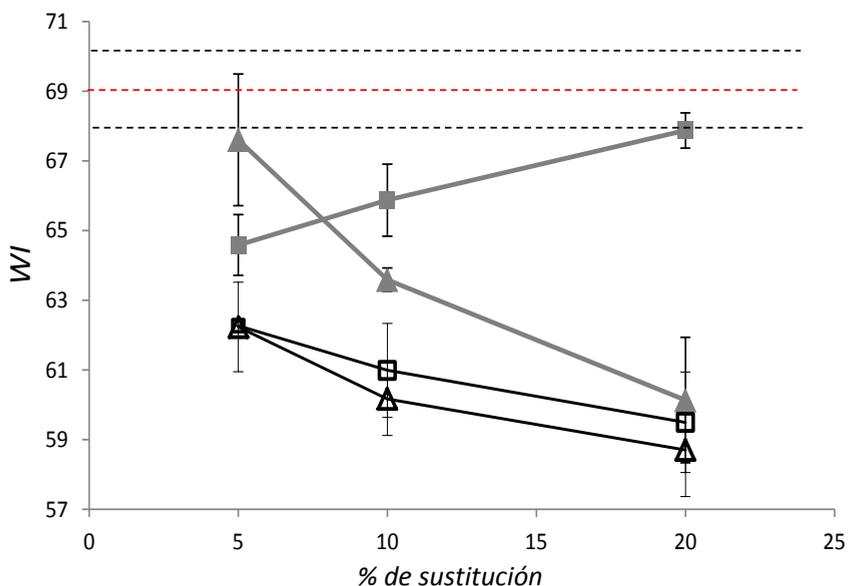


Figura II.5. Índice de blancura (WI) vs. % de sustitución. Cuadrado relleno: harina W; cuadrado vacío: harina Wrp; triángulo relleno: harina T; triángulo vacío: harina Trp. Barras marcan la desviación estándar. Línea roja marca el índice WI de las muestras de harina de trigo puro. Líneas horizontales discontinuas marcan \pm desviación estándar de muestras de harina de trigo puro.

3.2.4. Propiedades sensoriales

Los resultados de las puntuaciones y el análisis de varianza para el análisis sensorial se recogieron en la Tabla II.3. Todos los puntajes de todas las variables excedieron la categoría "aceptable" (> 4), por lo que la variabilidad capturada se relacionó con productos considerados aptos para consumir de acuerdo con el panel de evaluadores no entrenados. Algunas fórmulas alcanzaron puntuaciones sin diferencias al control (marcadas en letra cursiva).

Los chips con las harinas T y Trp obtuvieron la mayoría de estos casos, principalmente en aceptación global, olor, apariencia y sabor. En el caso de W y Wrp, este último presentó las mayores puntuaciones en los parámetros olor y sabor. En base a estos resultados, se puede afirmar que el coproducto Total de las harinas T y Trp, a pesar de un mayor tamaño de partícula e impacto visual, es mejor aceptado por los evaluadores que los coproductos W y Wrp que presentan una blancura inicial mayor.

Con el objetivo de evaluar las relaciones entre los resultados sensoriales y las propiedades fisicoquímicas, se realizó un estudio de correlación y se generó un mapa de significancia (Tabla II.4). Hubo correlaciones con alta significación ($\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,025$ y $\alpha = 0,01$) entre varias variables de los bloques de datos. Se destacó el caso del color, que se relacionó inversamente con A, ΔM_f y Ps en el caso de las harinas W y Wrp, sin embargo, la aceptación global indicó una relación positiva con WI y L, que revela el efecto de blancura cuando se redujo la partícula Wrp.

El color también fue inversamente proporcional a los parámetros a^* y b^* de la harina T, probablemente debido a la visualización excesiva de las partículas del coproducto a lo largo de la superficie del chip (Figura II.3). Esta relación estuvo en concordancia con los resultados de apariencia, que se correlacionaron con Ps de manera negativa. En este sentido, Ps también se relacionó negativamente con la textura y

la apreciación global en el caso de la harina T. Los resultados mostraron a Ps como el principal factor de agotamiento sensorial para T.

Tabla II.3. Resultados de las propiedades sensoriales de chips

Harina	%	Color	Olor	Apariencia	Sabor	Textura	Aceptación global
Control	0	6,2+1,1f	5,5+0,9cd	6,1+1,1e	5,4+1,5d	7,5+0,3f	6,1+1,6d
W	5	5,5+1,2cd	5,1+0,9b	5,5+1,0d	4,3+1,1ab	6,0+1,8b	5,5+0,9bc
	10	4,9+1,3b	4,8+0,7a	5,1+1,1bc	5,2+1,1cd	6,2+1,4bc	5,0+0,6ab
	20	4,7+1b	4,7+1,1a	4,5+1,4a	4,1+1,2a	4,8+1,9a	4,8+1,0a
Wrp	5	5,3+1,1c	5,2+1,0bc	5,4+0,9d	4,9+1,0c	6,6+0,3cd	5,5+1,1bc
	10	5,5+0,9cd	5,5+1,0cd	5,4+0,9cd	5,5+1,3d	6,4+0,8c	5,7+0,9c
	20	4,3+1,5a	4,7+1,0a	4,2+1,4a	5,2+1,2cd	6,4+1,0c	5,2+1,0b
T	5	5,9+0,9e	6,0+1,2f	6,1+1,0e	5,7+1,2d	6,9+0,8d	5,8+0,9cd
	10	5,6+0,9cd	5,4+0,8cd	6,0+0,6e	5,3+1,5cd	6,8+0,9d	5,8+1,1cd
	20	5,6+1,1cd	5,5+1,3cd	4,9+1,5b	4,5+1,5b	5,8+0,9b	4,8+1,1a
Trp	5	6,1+0,7ef	5,5+0,9de	5,8+1,1e	5,0+1,2c	6,9+0,6d	4,9+0,9a
	10	5,4+1,2d	6,3+0,6g	5,8+1,2e	5,5+1,6d	7,2+0,4e	5,8+1,2cd
	20	5,2+1,3c	5,8+0,9ef	5,5+1,4d	5,3+1,4cd	6,8+0,6d	5,7+1,2cd

W: fracción blanca de harina; Wrp: fracción blanca con tamaño de partícula reducida, T: coproducto total; Trp: coproducto total con tamaño de partícula reducida. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

Tabla II.4. Mapa de correlación entre propiedades fisicoquímicas y sensoriales

W	Color	Olor	Apariencia	Sabor	Textura	Aceptación
A	-		-			
ΔM_f	-	-	-		+	
Xwf	+		+		+	
H	+	+	+			
Ps	-		-			
ΔE						
Wi						
L*						
a						
b						

T	Color	Olor	Apariencia	Sabor	Textura	Aceptación
A					-	-
ΔM_f			+	+		+
Xwf	+				+	
H						
Ps			-		-	-
ΔE	-				-	-
Wi					+	+
L*		+				
a	-					
b	-					-

Wrp	Color	Olor	Apariencia	Sabor	Textura	Aceptación
A	-		-			
ΔM_f	-		-			
Xwf						
H						
Ps	-		-			
ΔE					-	-
Wi					+	+
L*					+	+
a					-	-
b					-	-

Trp	Color	Olor	Apariencia	Sabor	Textura	Aceptación
A	-		-			
ΔM_f						
Xwf						
H	+					
Ps			-			
ΔE						
Wi						
L*			+			
a						
b						

W: fracción blanca; Wrp: fracción blanca con tamaño de partícula reducido; T: coproducto total; Trp: coproducto total con tamaño de partícula reducido; Ps: promedio del tamaño de partícula de mezcla de harinas [D 4,3] ; A: superficie de chips en cm²; ΔM_f : variación de la masa al final del tiempo de temperado en %; Xwf: fracción de agua al final del tiempo de temperado; H: fuerza máxima en gramos (g); L , a y b: CIE Lab parámetros de color donde L es luminosidad, a coordenada amarillo-azul, b coordenada verde-rojo; ΔE : diferencia de color. Colores indican los niveles de significancia α : 0,05 (gris claro) , 0,025 (gris oscuro) , y 0,01 (negro) . Símbolos indican correlaciones positivas o negativas.

4. Conclusiones

El impacto de la adición del coproducto de la elaboración de horchata fue significativo tanto en la producción de chips como en el producto final. La reducción de harina de trigo debido a la sustitución parcial, y la interrupción de la red de gluten por partículas de fibra, generaron

una disminución en la retracción de la masa. Este efecto generó chips con una superficie más grande, que aumentó la pérdida de masa durante la fase de horneado, aunque se compensó a lo largo del tiempo de temperado, reduciéndose las diferenciaciones entre fórmulas. Como resultado de esas modificaciones, las propiedades fisicoquímicas de los productos resultantes presentaron diferencias significativas, que estaban altamente relacionadas con el tipo de harina de coproducto y el nivel de sustitución, lo que revela la importancia del tamaño de partícula del coproducto. El principal impacto se observó en propiedades de color y dureza, las cuales fueron reducidas.

Las propiedades sensoriales aumentaron los valores aceptables para todas las fórmulas y algunas de ellas sin diferencias con los chips de trigo puro. Siendo así, la fracción blanca del coproducto no produjo ninguna ventaja sobre la percepción del consumidor.

La inclusión del coproducto de horchata como fuente de fibra generó alteraciones en el procesamiento de chips que deben tenerse en cuenta para optimizar las operaciones, sin embargo, tuvo un impacto positivo sobre la aceptación sensorial, lo que hace loable obtener unos chips aceptables catalogados como "producto fuente de fibra" y "producto con alto contenido de fibra".

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por el Ministerio de Cultura, Educación y Deporte de Política Regional y Científica de Valencia, con el proyecto "Uso de harinas no de trigo, de coproductos de la industria alimentaria, para producir pan, pasteles y aperitivos (AICO / 2015/107)"

5. Referencias bibliográficas

AENOR. UNE-ISO 4121:2006. Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas. (ISO 4121:2003)

Ayeh-Kumi, P. F., Tetteh-Quarcoo, P. B., Duedu, K. O., Obeng, A. S., Addo-Osafo, K., Mortu, S., & Asmah, R. H. (2014). A survey of pathogens associated with *Cyperus esculentus* L (tiger nuts) tubers sold in a Ghanaian city. *BMC Research Notes*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-343>

Bortnowska, G., Krudos, A., Schube, V., Krawczyńska, W., Krzemińska, N., & Mojka, K. (2016). Effects of waxy rice and tapioca starches on the physicochemical and sensory properties of white sauces enriched with functional fibre. *Food Chemistry*, 202, 31–39.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.077>

Chung, C., Degner, B., & McClements, D. J. (2013). Physicochemical characteristics of mixed colloidal dispersions: Models for foods containing fat and starch. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 281–291.

<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.06.008>

Donaldson, L. A. (2001). Lignification and lignin topochemistry - An ultrastructural view. *Phytochemistry*, 57(6), 859–873.

[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00049-8)

Goldstein, A., Ashrafi, L., & Seetharaman, K. (2010). Effects of cellulosic fibre on physical and rheological properties of starch, gluten and wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1641–1646.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02323.x>

ICC Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology (ICC)

Habibi, Y., Mahrouz, M., & Vignon, M. R. (2009). Microfibrillated cellulose from the peel of prickly pear fruits. *Food Chemistry*,

115(2), 423–429.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.034>

Islas-Rubio, A. R., de la Barca, A. M. C., Molina-Jacott, L. E., del Carmen Granados-Nevárez, M., & Vasquez-Lara, F. (2014).

Development and Evaluation of a Nutritionally Enhanced Multigrain Tortilla Snack. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(2), 128–133. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0408-y>

Maetens, E., Hettiarachchy, N., Dewettinck, K., Horax, R., Moens, K., & Moseley, D. O. (2017). Physicochemical and nutritional properties of a healthy snack chip developed from germinated soybeans. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 505–510. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2017.06.020>

Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre del 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 404, 9-25

Saguy, I. S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56(2–3), 143–152. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00243-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00243-1)

Senthil, A., Ravi, R., Bhat, K. K., & Seethalakshmi, M. K. (2002). Studies on the quality of fried snacks based on blends of wheat flour and soya flour. *Food Quality and Preference*, 13(5), 267–273. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00023-X)

Sudha, M. L., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of

- wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Törnqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4998–5006. <https://doi.org/10.1021/jf020302f>
- Thakur, S., & Saxena, D. C. (2000). Formulation of extruded snack food (gum based cereal–pulse blend): optimization of ingredients levels using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology*, 33(5), 354–361. <https://doi.org/10.1006/FSTL.2000.0668>
- Verdú, S., Barat, J. M., Alava, C., & Grau, R. (2017). Effect of tiger-nut (*Cyperus esculentus*) milk co-product on the surface and diffusional properties of a wheat-based matrix. *Food Chemistry*, 224, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.016>
- Yuksel, F., & Kayacier, A. (2016). Utilization of stale bread in fried wheat chips: Response surface methodology study for the characterization of textural, morphologic, sensory, some physicochemical and chemical properties of wheat chips. *LWT - Food Science and Technology*, 67, 89–98. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.11.029>

Zhang, Y., Zhang, G., & Zhang, Y. (2005). Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods: Review and recent developments. *Journal of Chromatography A*, 1075(1–2), 1–21.
<https://doi.org/10.1016/J.CHROMA.2005.03.123>

CAPÍTULO III

Desarrollo de bases de pizza congelada enriquecidas con fibra procedente del coproducto de la elaboración de horchata

Resumen

En este estudio se evaluó el efecto de incorporar el coproducto de horchata de chufa en el procesado durante las etapas principales, fermentación, congelación, horneado (sin y con adición de salsas), propiedades fisicoquímicas y sensoriales de bases de pizzas congeladas. Dos formatos de coproductos, a los cuales se les redujo el tamaño de partícula, se utilizaron para reemplazar la harina de trigo al 0% control, 10%, 20% en la formulación. Las muestras se desarrollaron con dos grosores de laminado, luego se hornearon a diferentes tiempos (150°C/15, 20, 25min), y adicionaron dos medios de salsas, acuosa (tomate) y aceitosa (nata) al producto final.

En la fase de fermentación, la masa aumentó el tamaño de las burbujas en la estructura interna siendo más heterogénea, así como el espesor y peso, sin sobrepasar al control. Este efecto se atribuye a la interrupción en la formación de la red óptima de gluten, lo cual disminuye la viscoelasticidad de la masa. En el horneado, la pérdida de masa aumentó, más aún al incrementar el tiempo de horneado, creando la presencia de tostado por deshidratación. Además, el menor grosor de laminado y el incremento de sustitución aumentaron los efectos, sin embargo, aquellas muestras con 20% soportaron 20 minutos de calor, sin efecto significativo. Estas muestras, indicaron gran rapidez en retener agua y aceite. El incremento de la acción de calor sobre la superficie de las salsas

causó aumento de la dureza y color, mayor en salsa de tomate. Como consecuencia general en las bases de pizzas, se originaron variaciones en los parámetros de textura, color, humedad y actividad de agua. La evaluación sensorial indicó que aquellas con salsa de tomate, coproducto total y horneadas a mayor tiempo, la aceptación global fue menor, mientras que con salsa de nata fue favorable en todas las muestras.

De acuerdo con los parámetros evaluados, el coproducto incorporado en las bases de pizzas podría ser usado en el campo industrial, teniendo en consideración los efectos que produce.

Palabras claves: pizza, coproducto de horchata, tiempo de horneado, laminado, salsa

1. Introducción

Las chufas (*Cyperus esculentus* L.) son falsos tubérculos que se consumen en España principalmente en forma de la bebida denominada “horchata”. La horchata se extrae durante el proceso de prensado de la chufa al separar el residuo sólido del líquido (Kizzie-Hayford et al., 2015; Sánchez-Zapata et al., 2010). El rendimiento promedio después de la separación del residuo líquido/sólido fue $47,12 \pm 1,97\%$ para residuo sólido. El residuo sólido o coproducto de horchata no tiene valor comercial y en la actualidad se utiliza fundamentalmente para alimentar el ganado. Sin embargo, estudios han mostrado que contiene gran cantidad de fibra dietética que se puede utilizar en el procesamiento de alimentos (Carbonell et al., 2015; Sánchez-Zapata et al., 2009) lo cual puede generar un interés comercial (Sánchez-Zapata et al., 2012).

El coproducto contiene gran cantidad de agua ($61,23 \pm 4,12/100\text{g}$ peso fresco), y $59,71\text{g}/100\text{g} \pm 0,03$ de fibra dietética total siendo el 99,8% fibra dietética insoluble (celulosa y lignina, así como algo de hemicelulosa), en una cantidad mayor que la contenida por la avena, el salvado, el arroz, la cebada, el trigo, la chía o las hojas exteriores de col (Prokopov et al., 2015; Sánchez-Zapata et al., 2009; Sudha et al., 2007; Vázquez-Ovando et al., 2010; Verdú et al., 2015; Vitali et al., 2009)

El consumo de fibra proporciona beneficios para la salud (Ogles & Ozgoz, 2014). Una correcta ingesta de fibra dietética en alimentos ricos en fibra o suplementos con fibra ayuda a reducir el riesgo de desarrollar enfermedades como la coronaria, hipertensión, diabetes, obesidad y otros trastornos de la salud (Anderson et al., 2009; Fernández-Miranda, 2010; Vázquez-Ovando et al., 2010). La ingesta aceptable recomendada para adultos son 28 g/día en mujeres y 36 g/día en hombres (Fernández-Miranda, 2010) de la cual el 70–80% debe ser fibra insoluble (Anderson et al., 2009). La fibra insoluble está relacionada con una sensación de saciedad ya que absorbe agua y ayuda a aumentar el espacio en el estómago y el volumen y el peso del bolo fecal, lo que mejora el funcionamiento de la digestión y reduce los trastornos de salud como el cáncer de colon (Sánchez-Zapata et al., 2009; Stojceska, 2011; Sudha et al., 2007).

La fibra se usa especialmente en productos para hornear como un sustituto de otros compuestos y también como un agente de sustitución y / o reducción de grasa, como potenciador de volumen, o como un aglutinante y estabilizador. Pero la fibra añadida como ingrediente influyen en las funciones fisiológicas de los alimentos y las propiedades tecnológicas y organolépticas del producto final (Sánchez-Zapata et al., 2009; Sudha et al., 2007).

Los alimentos con fibra de coproducto de horchata pueden ofrecer beneficios a nivel nutricional y contribuir a crear o mejorar los

productos existentes como alternativas de alimentos saludables. Por otro lado, puede ofrecer una ventaja industrial, ya que reduciría los costos del producto final en relación con la sustitución de la harina de trigo, lo que agrega un valor comercial al coproducto (Carbonell et al., 2015; Sánchez-Zapata et al., 2012). Sánchez-Zapata et al. (2009) reportaron que la fibra de chufa ha tenido resultados favorables al mejorar la textura de los productos cárnicos cocinados. Por otra parte, Estepa et al. (2015) informó que es factible aplicar la harina de coproducto de horchata en las propiedades fisicoquímicas de chips, y señaló que tales propiedades no varían significativamente, incluso cuando están horneadas (Estepa et al., 2015; Sánchez-Zapata et al., 2009), pero estos estudios no son suficientes como para garantizar el comportamiento del coproducto en productos horneados, más cuando en el procesado existe una etapa de fermentación. Hasta el momento, no se han encontrado estudios específicos que demuestren esta relación, lo que crea la necesidad de estudiar los efectos del coproducto en los productos de panadería, como las bases de pizza para hornear.

La pizza es un alimento de consumo global y es objeto de constante innovación debido a las demandas de la sociedad moderna. En países como Estados Unidos, se considera un Key Food en el National Food and Nutrient Analysis Program (NFNAP) del USDA, ya que contiene más de 14 nutrientes importantes para la salud pública en la dieta

estadounidense (Nickle & Pehrsson, 2013). El consumo de pizzas siempre está aumentando, así como su producción. Por lo tanto, bases de pizza congelada se crearon para sostener el mercado. Las bases de pizza congeladas son más fáciles de llevar, ahorran tiempo y dinero y no requieren un horno de pizza especial (Pacheco de Delahaye et al., 2005), considerando la base de pizza sin o con ingredientes como las salsas. Sin embargo, el consumidor final necesita hornear este producto adecuadamente, por lo que es importante definir parámetros como las temperaturas y los tiempos durante los procesos de fermentación, y horneados principalmente. La pizza tiene propiedades importantes como textura, resistencia a la deformación cuando se aplica una fuerza cortante y cohesión durante los ciclos de congelación y descongelación (Clarke & Farrell, 2000; Pacheco de Delahaye et al., 2005), además de los cambios físicos y químicos que sufre durante la fermentación y los horneados.

El propósito de este trabajo fue estudiar los efectos que genera la incorporación del coproducto procedente de la elaboración de la horchata en bases de pizza congelada, evaluando las características de estas y la influencia del coproducto sobre el producto que finalmente consume el consumidor.

2. Materiales y Métodos

2.1. Harinas

Las pizzas se elaboraron mezclando harina de trigo y harina de coproducto de horchata en diferentes sustituciones, 10% y 20% p/p en base seca (b.s.). Los niveles de sustitución se seleccionaron de acuerdo con parámetros para ser catalogadas como “Fuente de alimentos con fibra” y “alimentos con alto contenido de fibra” donde se requiere 3 g de fibra / 100 g de producto y 6 g de fibra / 100 g de producto respectivamente, de conformidad al Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y el Consejo Europeo del 20 de diciembre de 2006. Siendo así, la fórmula sustituida al 10% cumpliría como un “alimento con alto contenido en fibra” y la del 20% para estudiar el comportamiento al incrementar la sustitución. Todos los niveles de sustitución se calcularon en relación con la fracción seca de la harina de trigo.

La harina de trigo refinada comercial de gran fuerza utilizada para las pizzas se obtuvo de un productor local (Molí del Picó-Harinas Segura S.L. Valencia, España) y sus principales componentes químicos eran: $14,5 \pm 0,5\%$ de agua, $14,7 \pm 0,6\%$ de proteínas, $1,1 \pm 0,03\%$ grasa, y $0,32 \pm 0,1$ de cenizas (b.h.). Los parámetros alveográficos también fueron facilitados por el productor: $P = 94 \pm 2$ (presión máxima (mm)), $L = 128 \pm 5$ (extensibilidad (mm)), $W = 392 \pm 11$ (fuerza (J^4)) y 0,73 de P/L .

El coproducto de horchata se obtuvo de una planta local de fabricación de horchata (Horchata de chufa). El coproducto presentado como torta o residuo sólido o harina fibrosa húmeda molida (residuo sólido de la elaboración de horchata o horchata) contiene dos tejidos muy diferenciados, tejidos de colores marrón y blanco. El tejido marrón tiene un tamaño de partícula más grande ($>600 \mu\text{m}$), similar al salvado de cualquier grano (cariópside), correspondiente al peridermo (capa más externa-piel) del tubérculo. Es una fracción leñosa típica caracterizada por un alto contenido de lignina y otros polímeros insolubles (Donaldson, 2001). El tejido blanco tiene un tamaño de partícula más pequeño ($<600 \mu\text{m}$), corresponde a los tejidos internos del tubérculo, constituida por la médula y perimédula. Es de apariencia algodonosa, compuesto de varios carbohidratos insolubles, celulosa, hemicelulosa y almidones no digeribles (Habibi et al., 2009).

De este coproducto se obtuvieron las cuatro harinas de coproducto sustitutorias. La primera fue el propio coproducto tal como se obtiene del proceso de elaboración de la horchata, el cual se denominó T. La segunda se obtuvo tras el tamizado de este con un tamiz de 0,8mm, obteniéndose una harina blanquecina que se denominó W. Finalmente las dos últimas se obtuvieron tras el molturado de las dos anteriores con un molino-triturador de acero inoxidable (Retsch GmbH, ZM 200, Haan, Alemania). Estas dos últimas se denominaron Trp y Wrp respectivamente.

Las cuatro harinas fueron caracterizadas desde un punto de vista de tamaño de partícula, el cual se midió 6 veces mediante dispersión láser en un Mastersizer 2000 (Malvern, instruments, Reino Unido), usando polvo seco Scirocco. Los resultados indicaron un tamaño máximo al 10% (d (0,1)), 50% (d (0,5)) y 90% (d (0,9)) del volumen total de las partículas analizadas, incluidos los promedios D [4, 3].

La distribución del tamaño de partícula en la harina de trigo fue d (0,1) = 25,5 ± 1,1, d (0,5) = 92,0 ± 0,6, d (0,9) = 180,6 ± 0,8, D [4, 3] = 99,4 ± 1,2. Para los cuatro formatos de harina de coproducto fueron: formato total T, d (0,1) = 166,2 ± 26, d (0,5) = 587,6 ± 51, d (0,9) = 1326 ± 33,6, D [4, 3] = 673,5 ± 38,8; formato total triturado Trp, d (0,1) = 24,3 ± 0,9, d (0,5) = 182,7 ± 7,1, d (0,9) = 663,6 ± 20,6, D [4, 3] = 271,1 ± 8,1; formato blanco W, d (0,1) = 225,5 ± 4,5, d (0,5) = 433 ± 8,2, d (0,9) = 777,9 ± 14,7, D [4, 3] = 470,4 ± 9,1; formato blanco triturado Wrp, d (0,1) = 31,9 ± 0,7, d (0,5) = 197,4 ± 7,7, d (0,9) = 516,5 ± 32,4, D [4, 3] = 246,7 ± 14,5.

Los principales componentes químicos del coproducto fueron: proteínas 4,19 ± 0,6%, grasa 0,3 ± 0,03%, agua 50,8 ± 0,05%, 44,61 ± 0,04% fibra dietética total y 0,1 ± 0,1% ceniza (b.h.).

La composición aproximada se analizó en base a los estándares 110/1, 156, 136, 105/2 and 104/1 de la ICC (International Association for Cereal Science and Technology) para agua, fibra dietética, grasa, proteína y ceniza, respectivamente.

2.2. Procesado de la base de pizza

Las masas de pizza fueron elaboradas para estudiar las diferentes etapas de su procesado: antes y después de la fermentación, primer horneado, congelado y el segundo horneado sin y con la adición de salsas. Las formulaciones y el proceso usados se basó en estudios realizados por Mueller et al. (2016) con ligeras modificaciones.

Las formulaciones para las masas de harina de trigo pura y la mezcla con coproducto variaron para cada caso. La formulación para la masa de harina de trigo puro (control) fue 59,7g harina de trigo refinada, 28,4g de agua, 1,9g levadura (*Saccharomyces cerevisiae*, Levital, Lesafre Ibérica S.A., Valladolid, España), 0,9g sal (sal marina refinada $\geq 97\%$ NaCl, Salinera Salinas del Odiel S.L., España), 0,5g de azúcar blanca ($\geq 99,8\%$ sacarosa, Azucarera Ebro S.L., España) y 8,6g aceite girasol (acidez máxima 0,2° La Masía-Masiasol, Sevilla, España). La humedad de la masa control fue de 23,85%.

Para las formulaciones de la masa con coproducto, se utilizaron sus cuatro formatos de harinas, y dos niveles de sustitución (10% - 20%) p/p en base seca (b.s.), obteniendo 8 formulaciones. Debido a la alta humedad del coproducto, para mantener una relación estable entre la materia seca (trigo-coproducto) y la humedad (trigo, coproducto y agua añadida), se añadió agua y se volvió a calcular la mezcla para

mantener los g de solutos / g de agua equivalente al control (1,44 g de solutos / g de agua).

El procedimiento para elaborar la masa de pizza simuló un proceso continuo industrial para estudiar el comportamiento de las harinas de coproducto con la harina de trigo. El proceso se inició mezclando todos los ingredientes en un mezclador de alimentos (Thermomix® TM31, Vorwerk, Alemania) como a continuación se describe:

1. Los componentes líquidos (agua y aceite), azúcar y sal (NaCl) se mezclaron durante 2 minutos a 500 rpm.
2. Levadura fresca biológica prensada se agregó y mezcló por 30 segundos a 500 rpm.
3. Luego, las harinas se añadieron y mezclaron por 2 minutos a 200 rpm y luego por 2 minutos a 500 rpm.
4. Finalmente, la función espiga del equipo (550 rpm) se pone en marcha por 5 minutos, para mezclar los ingredientes con giros aleatorios de la hélice del mezclador en ambas direcciones, obteniendo una masa homogénea.

Conformado de las bases de pizza

Una vez obtenidas las masas, estas se bolearon en porciones las cuales se pasaron a través de un rodillo (IMPERIA SM/220, FIMAR, Italia) a dos niveles de paso (1,8 y 2,5 mm) con la finalidad de evaluar su efecto en el procesado. Una vez conseguida las láminas, sobre

estas, mediante un molde circular de acero inoxidable de 10 cm de diámetro se cortaron las láminas y obtuvieron las muestras.

2.3. Fase de fermentación

Las muestras se fermentaron en una cámara con humedad y temperatura controlada (KBF720 Binder Tuttlingen, Alemania) durante 30 minutos a 38°C y 80% de humedad relativa (HR) hasta alcanzar el espesor de las bases de pizzas congeladas el cual está entre 5 y 8 milímetros.

Una vez fermentadas, las bases fueron perforadas ligeramente con un instrumento manual con puntas para liberar el gas retenido (Mueller et al., 2016).

2.4. Primer horneado

El primer horneado se llevó a cabo después de la fermentación, en un horno convencional (Whirlpool, St. Joseph, MI), previamente precalentado a 200°C. Las muestras se hornearon durante 10 minutos a 150°C. Habiendo terminado esta operación, las muestras se atemperaron durante 20 minutos en condiciones ambientales (25°C/70% de humedad relativa).

2.5. Congelado

Finalmente, las muestras se envolvieron y congelaron a -18°C durante un periodo no inferior a siete días y superior a un mes.

2.6. Segundo horneado

Para el estudio de las características de la base de pizza congeladas después del segundo horneado (horneado que los consumidores realizan en sus casas), éstas se hornearon por segunda vez en horno convencional (Whirlpool, St. Joseph, MI) a 200°C a diferentes tiempos, teniendo en cuenta que los tiempos definidos para bases comerciales es de 10 a 15 minutos. Así, y teniendo en cuenta ensayos previos que no se muestran en la presente tesis, los tiempos utilizados para las muestras control fueron de 10, 15, 20, y 25 minutos, y para las de coproducto de 15, 20, y 25 minutos. Una vez terminado el horneado, las muestras se atemperaron durante 15 minutos a temperatura ambiente para su posterior análisis.

2.7. Adición de salsas

Para el estudio de la influencia del coproducto sobre las bases congeladas de pizza, en función de tipo de salsa añadida y el tiempo de cocción, se seleccionaron aquellas bases que después del primer horneado presentaron más similitudes con las control y comerciales.

El propósito consistió en simular la interacción del ingrediente más directo con la base de pizza que es la salsa. Para ello se utilizó dos tipos de salsa, acuosa y aceitosa, representadas por tomate triturado y nata líquida respectivamente, que son los dos tipos de salsas más comunes en las pizzas. Las salsas se adquirieron de supermercados.

A cada muestra se le agregó 7g de salsa acuosa o aceitosa (expandingo de forma circular), para posteriormente hornearse durante 15 o 20 minutos (tiempo de las muestras seleccionadas). Tras el horneado y temperado las muestras fueron analizadas.

2.8. Determinaciones analíticas

2.8.1. Estudio de la etapa de fermentación y primer horneado

Antes de la congelación, que comprende las fases de fermentación y primer horneado, las muestras fueron caracterizadas en peso y espesor, evaluándose la pérdida de masa e incremento de espesor, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta M (\%) = \frac{\text{Peso después 1er horneado} - \text{Peso antes de fermentar}}{\text{Peso antes de fermentar}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$Th (\%) = \frac{\text{Espesor después 1er horneado} - \text{Espesor antes de fermentar}}{\text{Espesor antes de fermentar}} \cdot 100 \quad (2)$$

Además, las muestras también fueron caracterizadas según su humedad final y color.

Humedad

El contenido de humedad (X_w) de las muestras se determinó en referencia al método AACCI 44-15.02 Moisture—Air-Oven Methods (AACC, 2000), para lo cual se usó una estufa en condiciones controladas a 130°C durante 48h.

Los ensayos se realizaron tomando las muestras en la zona centro de las pizzas, evitando los bordes. Todas las pruebas se realizaron por triplicado.

Color

El color fue definido en base a parámetros de blancura, pardeamiento y diferencias de color con respecto a la muestra control.

Para determinar el color se usó un Espectrofotómetro CM-700d Konica-Minolta. El componente especular SCE+SCI, área de medición/iluminación fueron MAV 8mm/ 11mm respectivamente, un iluminante de D65, y el programa Spectra Magic NX. Las medidas de los valores del colorímetro son: luminosidad L (lightness, negro - 0 a blanco - 100), coordenada a* (rojo-verde), y coordenada b* (amarillo-azul). A partir de estas coordenadas se determinaron los parámetros de blancura (whiteness - WI) y pardeamiento (browning - BI) (Pathare et al., 2013) siguiendo las ecuaciones siguientes.

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + (a)^2 + (b)^2} \quad (3)$$

$$BI = \frac{100 \frac{(a+1,75L)a}{(5,645L+a-3,012b)-0,31}}{0,172} \quad (4)$$

La diferencia de color se calculó a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta E = \sqrt{(L_X - L_{HT})^2 + (a_X - a_{HT})^2 + (b_X - b_{HT})^2} \quad (5)$$

Donde ΔE es la diferencia de color de la masa congelada, L_X representa la luminosidad de la masa con coproducto, L_{HT} es la luminosidad de la muestra control; a_X es la coordenada rojo-verde de la muestra con coproducto y a_{HT} es la coordenada rojo-verde de la muestra control; b_X es la coordenada amarillo-azul de la muestra con coproducto y b_{HT} es la coordenada amarillo-azul de la muestra control.

2.8.2. Estudio del segundo horneado

Para evaluar la incidencia del coproducto sobre el tiempo de horneado de las bases congeladas de pizzas, se evaluó la variación de masa y espesor, la actividad de agua (a_w), humedad (X^w), color (L, WI, BI) y textura (fuerza máxima (F), área (A)), a tres tiempos diferentes de horneado. Para su cálculo se emplearon las siguientes ecuaciones y metodologías:

Variación de Masa

$$\Delta M (\%) = \frac{\text{Peso después 2do horneado} - \text{Peso muestra congelada}}{\text{Peso muestra congelada}} \cdot 100 \quad (6)$$

% Retención de humedad =

$$\frac{\text{Peso después 2do horneado} \times \text{humedad muestra 2do horneado}}{\text{Peso muestra congelada} \times \text{humedad de muestra congelada}} \cdot 100 \quad (7)$$

Parámetros de Color

El color se midió sobre la superficie de la pizza, realizándose 10 lecturas aleatorias sobre cada una de ellas. El equipo y la metodología seguida son los mismos que en el punto anterior.

Análisis de Textura

La textura se midió usando el Analizador de Textura TA.XT plus (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Reino Unido) con una sonda de acero inoxidable de 2mm. Los ensayos se realizaron en el centro y alrededores de las pizzas, evitando los bordes. Todas las mediciones se realizaron a través de análisis de datos con el software Texture Exponent (version 6.1.5.0, Stable Micro Systems Ltd.) (Mueller et al., 2016). Los parámetros estudiados fueron Fuerza de penetración F, y Área A.

Actividad de agua

Las muestras se cortaron con un sacabocados circular de 30mm de diámetro desde el centro evitando los bordes de cada muestra. La actividad de agua se midió con un equipo llamado Aqualab® (DECAGÓN Aqualab CX-2, Pullman, WA, EE.UU.) medidor de actividad de agua (a_w) de punto de rocío, con una precisión de $\pm 0,003$, pre-calibrado con carbón activo a 22°C.

Humedad

La terminación de la humedad se realizó tal y como se detalla en el apartado anterior.

2.8.3. Adición de salsas

Para evaluar el comportamiento de las salsas con el coproducto se realizaron análisis de difusividad, a_w , humedad, textura, variación de masa, rendimiento en el horneado y retención de agua. Además, se determinó el color mediante dos metodologías: 1. la base de pizza mediante colorímetro, al considerar la masa de un color uniforme; 2. mediante análisis de imagen la parte de la pizza con salsa. Este último se realizó dada la heterogeneidad del color en la superficie con salsa.

Difusividad

Con la finalidad de evaluar como difunden las posibles salsas que se añaden a una pizza, se estudió la difusión de los solventes, acuoso (tomate) y aceitoso (nata). La experiencia se realizó sumergiendo las piezas completas en la salsa de tomate o nata. Para ello se midieron las áreas y el peso de cada una de las muestras.

Las piezas de pizza, tras su descongelado, se fijaron con pinzas de punta fina a un soporte universal y se sumergieron completamente en un vaso que contenía el disolvente (salsa de tomate o nata), que se colocó en una balanza de precisión (FV120, Anapesing, España). Con un cronómetro se registró el tiempo en intervalos de 10 segundos durante 5 minutos, registrando la variación de la masa. La difusividad se calculó con la siguiente ecuación.

$$J = \frac{g}{(A \cdot 2) \cdot S} \quad (8)$$

Donde J es el flujo del solvente en gramos por cm^2 y segundo, g es la masa del solvente en cualquier instante, A es el área de la pieza en cm^2 duplicada debido a los dos lados de contacto de la pieza, y S es el tiempo en segundos.

Se usaron varias réplicas en condiciones controladas de $20^\circ\text{C}/50\%$ R.H.

Actividad de agua y contenido de humedad

El procedimiento para determinar la actividad de agua (a_w) y la humedad fue el mismo que el descrito para el primer apartado (2.8.1 Estudio de la etapa de fermentación y primer horneado).

Adicionalmente, para calcular la cantidad de agua en las muestras de pizza con salsa, se realizó un balance de materia con los datos de humedad y peso agregado de la salsa sobre la muestra antes del segundo horneado, y la humedad y peso de la muestra sin salsa de la masa congelada (antes de adicionar la salsa). De forma similar para el cálculo de la cantidad de agua después del segundo horneado, pero esta vez con la diferencia entre antes y después de este segundo horneado.

Textura

El análisis de textura se realizó a tres muestras de 3,5 cm de diámetro obtenidas del centro de cada muestra de pizza. El análisis de perfil de textura (TPA) se midió usando el texturómetro TA.XT Texture

Analyzer (Stable Micro Systems Ltd., Godalming, Reino Unido) equipada con una célula de carga de 50 kg (P/75) y una sonda cilíndrica de aluminio de 75 mm de diámetro. La velocidad del ensayo se ajustó a 5 mm/s para comprimir las muestras al 50% de su altura anterior. El tiempo entre las compresiones fue de 5 s.

Todas las mediciones se realizaron mediante análisis de datos con el software Texture Exponent (versión 6.1.5.0, Stable Micro Systems Ltd.) (Mueller et al., 2016). Los parámetros estudiados fueron dureza (D), elasticidad (S), cohesividad (C), gomosidad (G), masticabilidad (Ch) y resiliencia (R).

Parámetros de Color y análisis de imagen en RGB (red-green-blue)

Dado que la incorporación de la salsa a las pizzas y tras su horneado el color de éstas es irregular, el color se midió mediante dos técnicas.

Parámetros de color:

Las bases de las pizzas se midieron mediante un colorímetro CM-700d Konica-Minolta, componente especular SCE+SCI, área de medición / iluminación MAV 8mm/ 11mm respectivamente e iluminante de D65. Para tal fin se realizaron 10 mediciones aleatorias al área inversa a la de la salsa. Ello se realizó colocando las muestras sobre un soporte alto circular evitando que se maltrate el lado de la salsa.

Los parámetros estudiados fueron luminosidad L, blancura WI, pardeamiento o marrón BI, y Tono Hue h* (pureza de color en el espacio CIELAB), (Caivano & Buera, 2012; Pathare, Opara, & Al-Said, 2013).

Análisis de imagen:

Para la toma de imágenes del área de las pizzas con salsa se capturaron imágenes a escala completa de 1200 píxeles por pulgada utilizando una cámara web Logitech C920 HD y un iluminador compuesto por dos lámparas LED. Para tal fin la muestra se colocó a 15 cm de la cámara con el iluminante fijado a 45° hacia ésta. El posterior tratamiento de las imágenes se realizó mediante el programa libre de procesamiento de imágenes fiji (64 bits). A tal fin, las imágenes obtenidas en formato RGB fueron descompuestas en cuatro canales monocromos de 255 tonos. Tres de ellos fueron el canal rojo, verde y azul, siendo el cuarto la conversión de la imagen original a tonos de gris.

Análisis sensorial

Para evaluar la aceptación de las bases de pizza elaboradas con sustitución del subproducto de la elaboración de horchata se realizó un análisis sensorial.

Con la finalidad de no influir sobre la opinión de los catadores, en la cata no se incluyeron las muestras control, dado que lo que se pretende en la cata es obtener información sobre la aceptabilidad y no sobre la semejanza con el control. La cata se llevó a cabo sobre aquellas muestras seleccionadas por los estudios realizados hasta este momento, como más idóneas, empleando salsa de tomate o de nata.

Para la realización de la cata se elaboraron minipizzas de 5 cm de diámetro (Figura III.1) que fueron codificadas con números aleatorios en función de la formulación, salsa y tiempo de segundo horneado. Las minipizzas fueron presentadas a los catadores templadas, tras ser introducidas en un horno durante 2 minutos a 80°C. Los catadores evaluaron las muestras en base a seis atributos sobre el producto: aspecto global, color, textura al tacto, textura en boca, sabor y aceptación global; y en una escala hedónica (AENOR, 2006) del 1 al 10, siendo 1 "No me gusta nada" y 10 " Me gusta mucho". El número de encuestados en ambos días de cata fue de 24 personas, evaluando un tipo de salsa por día.



Figura III.1. Muestras de pizza (mini pizzas) elaboradas para la cata con salsa de nata (izquierda) y tomate (derecha).

2.9. Análisis estadístico

El análisis estadístico de la influencia del coproducto, espesor de la masa antes de fermentación, tiempos de horneado y salsas utilizadas sobre las etapas de fermentación, primer horneado, segundo horneado y producto final se realizó mediante un análisis de varianza one-way (ANOVA), usando el programa estadístico Statgraphics (Inc. Centurion XVI.I version, StatPoint Technologies, Inc., Chicago, EE.UU.). En aquellos casos cuando el efecto es 95% significativo (valor $P < 0,05$), el promedio se comparó con la diferencia mínima significativa Fisher (LSD).

Al finalizar el segundo horneado, con la finalidad de tener una visión global de las muestras y poderlas comparar con las muestras de control, y a la vez poder reducir el número de muestras que pasan a

la tercera fase (efecto de las salsas), se evaluaron todos los factores de estudio en conjunto mediante el análisis de principales componentes (*PCA*). Este mismo procesado se realizó también al final del estudio del efecto de la adición de las salsas, así como para el estudio de imagen. *PCA* es un método estadístico multivariante no supervisado que se utiliza para describir y reducir la dimensionalidad de un gran conjunto de variables cuantitativas a un pequeño número de variables nuevas, denominadas componentes principales (*PCs*), que son el resultado de combinaciones lineales de las variables originales. *PCA* se usó para encontrar las muestras más cercanas a las comerciales y control, con el fin de estudiar dichas muestras adicionándoles salsas. Los procedimientos se realizaron con PLS Toolbox, 6.3 (Eigenvector Research Inc., Wenatchee, Washington, EE. UU.), una extensión de caja de herramientas en el entorno de cómputo Matlab 7.6 (The Mathworks, Natick, Massachusetts, EE. UU.).

3. Resultados y discusión

3.1. Antes de la Fase de Fermentación

El efecto del coproducto sobre las masas antes de la fase de fermentación se estudió evaluando la evolución de las masas en peso y espesores en referencia al tamaño de partícula (molida o no), al

formato del coproducto (total (T) o tamizado (W)), al nivel de sustitución (10 o 20%) y los grosores del laminado (1,8 o 2,5 mm).

El comportamiento de las bases respecto al control, en peso y espesor se muestran en la Figura III.2. Las muestras con coproducto tuvieron una agrupación marcada en pesos para ambos laminados respecto al control, siendo para ambos menores al de su respectivo control. Así estos oscilaron entre 47-35 g para las masas laminadas a 2,5 mm y de 38-27 g para las laminadas a 1,8 mm. Esta disminución del peso para ambos grosores fue disminuyendo con el incremento del nivel de sustitución. La disminución en el peso estaría ligada al coproducto, posiblemente relacionando a su densidad. Las relaciones entre peso y densidad, mostrados en la Figura III.3, dan una tendencia lineal y paralela entre ambos grosores de masas de pizzas. Como se observa, las masas con mayor nivel de sustitución fueron las que tuvieron menores densidades y pesos, pero además las muestras con el coproducto tamizado (W), para ambos espesores, fueron las que menor densidad y peso mostraron debido a su estructura de celulosa esponjosa y no leñosa contrario al caso del coproducto total (T). Por otro lado, el tamaño de partícula no pareció tener una influencia clara sobre esta relación.

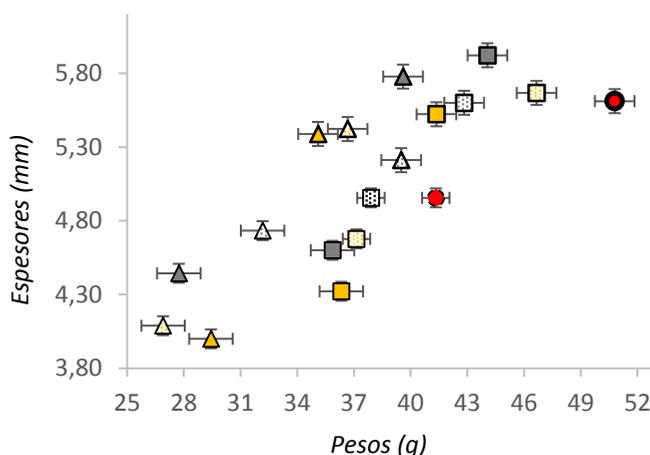


Figura III.2. Relación entre espesores y pesos de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Barras en negro: error estándar.

Respecto a los espesores medidos para ambos grosores de masas estos oscilaron entre 5-6 mm para las bases laminadas a 2,5 mm y de 4-5 mm para las laminadas a 1,8 mm. Observando en las pizzas gruesas un ligero aumento de espesor que superó al espesor de la muestra control (5,61 mm), lo que no ocurrió con las pizzas finas.

El efecto del espesor del laminado también resultó significativo respecto al espesor de las bases. Como se observa en la Figura III.2, las muestras laminadas a 1,8 mm en general tuvieron una disminución de éste con respecto al control, en cambio cuando el

laminado fue de 2,5 mm el espesor fue más similar al control, si bien también fue menor, a excepción de la masa con coproducto sin tamizar (T). Esta disminución del espesor también sería atribuible al coproducto siendo el espesor más reducido cuanto mayor es el grado de sustitución.

La menor disminución del espesor de las muestras de mayor grosor de laminado podría ser debido a la cantidad de masa, ya que al ser mayor la presencia de gluten podría incrementar la interacción de la red con el coproducto. Investigadores han atribuido a que con mayor tamaño de partícula existe una mejor interacción entre la red de gluten (Wang et al., 2016; Ma et al., 2016). Sin embargo, otros estudios indican que la reducción del tamaño de partícula minimiza especialmente los efectos negativos sobre la calidad del pan (Noort et al., 2010).

El nivel de sustitución también resultó significativo, siendo el espesor menor para aquellas con mayor nivel de sustitución. Como se comentó en el capítulo II, al sustituir el trigo se reduce la cantidad de gluten lo cual afecta a las propiedades reológicas, debido a la menor disponibilidad de gluten para generar la matriz de gluten, esto disminuye la capacidad de retracción de la masa después de la fase de formación (Kaur et al., 2015).

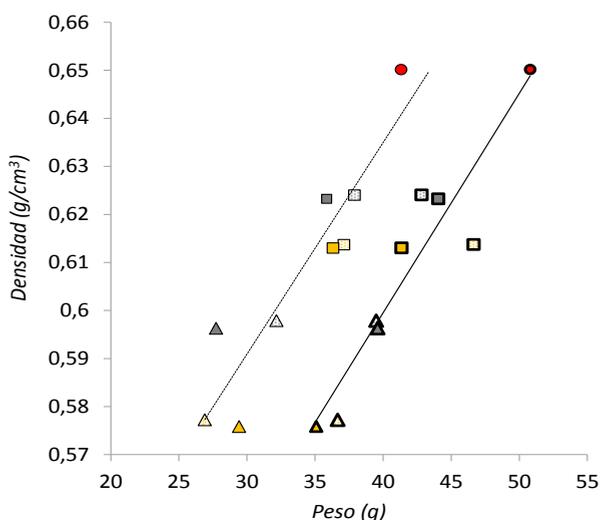


Figura III.3. Relación entre densidades y pesos de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente).

3.2. Después del primer horneado

Variación de masa y espesor

Después del primer horneado, la pérdida de peso como consecuencia de la deshidratación sufrida durante éste quedó influenciada por el nivel de sustitución, el tipo de coproducto, su tamaño de partícula, así como el espesor de laminado. Como se observa en la Figura III.4, en la que se muestra la relación entre el peso inicial (antes de horneado) y el final, esta pérdida de peso se produjo de forma lineal

en función de estas variables, si bien la linealidad se desglosó en dos en función del nivel de sustitución. Así, como se mencionó anteriormente, la menor densidad de la harina de coproducto hizo que el peso de las bases fuese menor y por tanto menor a mayor nivel de sustitución. Es por lo que en la Figura III.4 se observa la misma tendencia para los dos niveles. En este sentido, las muestras con un laminado de 1,8mm tuvieron menores pesos finales que las laminadas a 2,5mm, como consecuencia de un menor peso inicial, tanto para el nivel de sustitución del 20% como para el 10%, si bien para este último nivel de sustitución, la variación de masa de las muestras laminadas a 1,8 mm fue menor (Figura III.6), como consecuencia de una menor cantidad de agua que evaporar. Finalmente, si bien el tipo de coproducto tuvo influencia sobre la pérdida de peso durante el horneado (Figura III.4 y III.6) esta no fue clara.

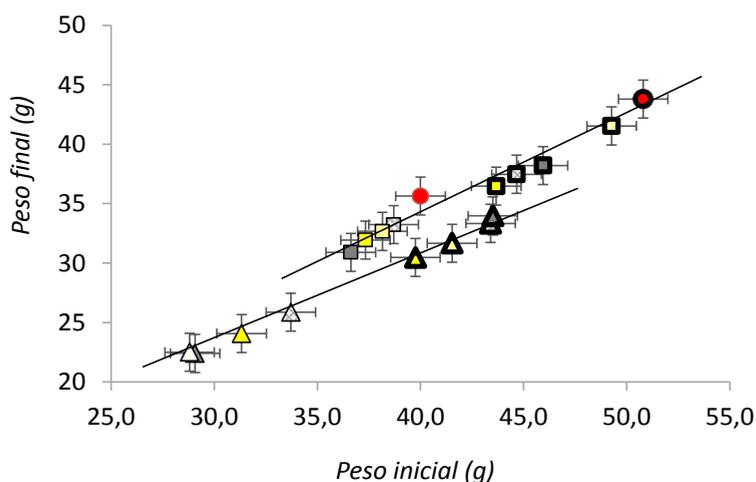


Figura III.4. Relación entre el peso inicial y el peso final (tras primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. Barras en negro: error estándar.

La misma tendencia observada para la variación de peso se evidenció para el espesor. Como se observa en la Figura III.5, en la que se muestra la relación entre el espesor inicial (antes de horneado) y el final (después de fermentación y horneado), la influencia del nivel de sustitución fue evidente, siendo menor el espesor final para las muestras con mayor nivel de sustitución como consecuencia de la menor disponibilidad de gluten para generar la matriz de gluten, lo que reduce su capacidad de retención de gas y por tanto el

incremento de espesor (Zhang & Moore, 1999; Pomeranz et al., 1977). Por otro lado, las muestras laminadas a 2,5mm tuvieron un mayor espesor que las laminadas a 1,8mm, lo que implicaría una mayor presencia de coproducto y por tanto un menor espesor. Pero en cambio el resultado fue contrario, tal vez porque al incrementar la cantidad de masa, también lo hace el de gluten, lo que mejoraría la red de gluten y por tanto la retención de gas. Finalmente, al igual que para la variación de masa, si bien el tipo de coproducto tuvo influencia sobre el espesor final (Figura III.5 y III.6) esta no fue tan clara, aunque para todas las series, las pizzas elaboradas con el coproducto W o Wrp fueron las que menor espesor mostraron. Sería su estructura de celulosa esponjosa y no leñosa, la que sería más permeable al gas, reteniendo menos gas durante la fermentación, diferente al caso del coproducto total (T) y total triturado (Trp).

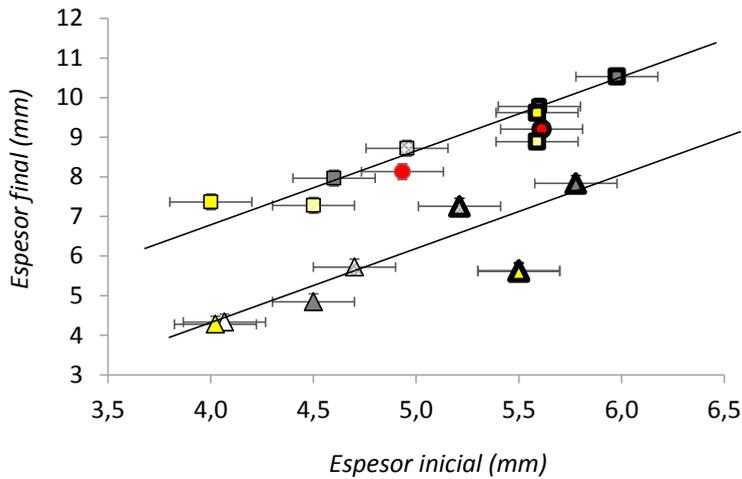


Figura III.5. Relación entre el espesor inicial y el espesor final (tras primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control. Barras en negro: error estándar.

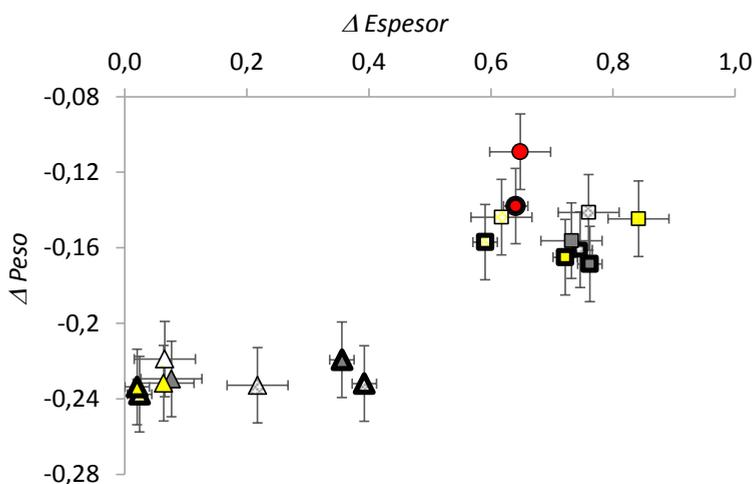


Figura III.6. Relación entre el incremento de espesor y de peso (antes y después del primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

Así pues, como se observa en la Figura III.7, en la que se muestra la relación entre el espesor final y el peso final, es la cantidad de masa (dada por laminado) y la de gluten (dada por el nivel de sustitución), los que influyen fundamentalmente sobre la variación de ambos, siendo el tipo de coproducto y el grado de molturado (triturado o no) de estos factores menos influyentes.

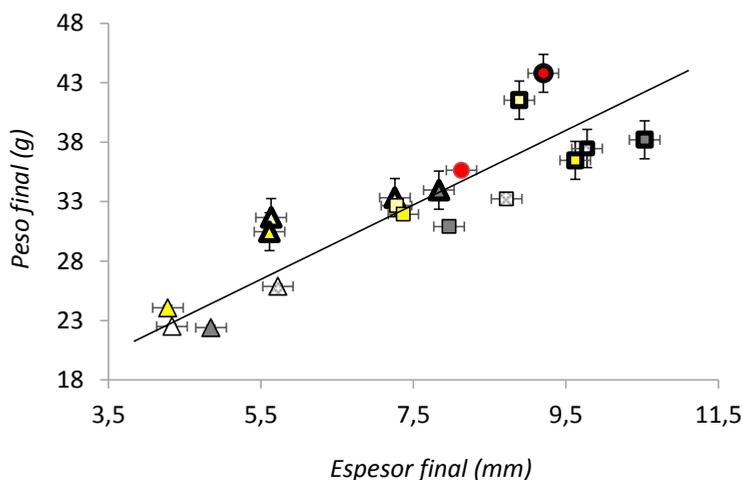


Figura III.7. Relación entre el espesor y de peso final (después del primer horneado) de las masas con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

Color

El efecto del coproducto sobre el color de las pizzas tras el primer horneado se muestra en la Tabla III.1.

Los resultados de luminosidad indicaron diferencias estadísticamente significativas entre las muestras. Las muestras controles mostraron mayor luminosidad que las pizzas con coproducto independientemente del espesor del laminado inicial. El efecto tipo de coproducto, si bien no fue del todo influyente, si mostró en

general como las pizzas elaboradas con coproducto total (T y Trp), independientemente del tamaño de partícula, tuvieron menor luminosidad que las elaboradas con el coproducto tamizado (W y Wrp). En cambio, el tamaño de partícula sí tuvo influencia para un mismo tipo de coproducto observándose que al disminuir el tamaño de partícula, la luminosidad disminuye. Este efecto también se observó con el nivel de sustitución, disminuyendo los valores de L con el incremento de la sustitución. Estos resultados fueron contrarios a los observados por Pomeranz et al. en 1977 en los que la luminosidad es mayor en productos con salvado de trigo y otras fibras. En cambio son similares a los obtenidos por Medina et al. (2016) y Estepa et al. (2015), en los que la luminosidad disminuye cuando el tamaño de partícula es menor. Por otro lado, en general, las pizzas elaboradas con un laminado inicial de 1,8 mm tuvieron ligeramente valores de luminosidad menores que los elaborados con un espesor de 2,5 mm.

Estos resultados podrían estar ligados, en parte, a la capacidad de la masa para retener agua durante el horneado dada la relación observada por otros autores entre la cantidad de agua y los valores de L. En base a estos estudios, la disminución de L está ligada a la pérdida de agua (Caviano & López, 2010; Huang et al., 2005; Nkhabutlane et al., 2014; Pathare et al., 2013; Verdú et al., 2017). Así,

las muestras con un peso final menor (Figura III.4) son aquellas que presentan un menor valor de L.

Los resultados del índice de blancura (WI) fueron muy similares a los observados para la luminosidad, disminuyendo los valores con el incremento del nivel de sustitución, reducción del tamaño de partícula y espesor del laminado.

El comportamiento de los valores obtenidos para el índice de marrón (BI) fue, en términos generales, inverso al observado para el índice de blancura, siendo los valores para las muestras control más bajos. En este caso, los valores disminuyeron cuando disminuyó el nivel de sustitución, incremento del tamaño de partícula y el espesor del laminado. Es importante remarcar que las pizzas elaboradas con el coproducto total (T y Trp), que inicialmente es más pardo, no presentaron una coloración marrón, en general, mayor a las elaboradas con el coproducto tamizado (W y Wrp), que inicialmente es más blanquecino, pudiendo ser debido a un mayor tostado de este último por el tipo de celulosa que lo conforma.

Respecto a la diferencia de color ΔE , el análisis indicó que al incrementar el nivel de sustitución, la diferencia de color aumenta también, no evidenciándose un efecto significativo claro del tamaño de partícula aunque pareciera incrementar la diferencia de color a menor tamaño de partícula. En cambio, en general, las pizzas

elaboradas con el coproducto total presentaron una mayor diferencia de color que los elaborados con el tamizado.

Tabla III.1. Resultados de índices de color en pizzas después del primer horneado

Muestras	L	BI	WI	ΔE
<i>Gruesa</i>				
HT	73,02±0,7f	235,71±15,98a	66,52±0,5e	
W 10%	71,65±0,52e	513,41±28,18bc	65,22±0,44d	1,88±0,44a
W 20%	70,23±0,87d	557,31±64,23c	65,4±0,9de	4,06±0,6bc
Wrp 10%	68,55±0,7c	666,58±42,9d	62,32±0,55bc	4,9±0,69cd
Wrp 20%	68,43±0,03c	756,14±16,24e	62,98±0,21c	5,23±0,03d
T 10%	72,02±0,42ef	460,14±19,17b	65,48±0,34de	1,47±0,34a
T 20%	63,62±0,34a	764,6±47,19e	59,12±0,13a	9,83±0,38f
Trp 10%	70,03±0,51d	571±28,18c	63,37±0,48c	3,5±0,51b
Trp 20%	66,35±1,18b	758,34±73,27e	61,23±1,4b	7,17±1,12e
<i>Fina</i>				
HT	73,35±0,14f	103,11±12,69a	66,84±0,1h	
W 10%	69,51±0,74d	566,57±37,11c	63,34±0,66f	4,39±0,73b
W 20%	68,09±0,34c	693,6±29,54de	62,04±0,39e	5,91±0,37cd
Wrp 10%	68,73±0,33c	645,19±25,34d	62,64±0,17e	5,24±0,31c
Wrp 20%	64,91±0,11b	910,92±7,21f	58,59±0,08b	9,3±0,1e
T 10%	70,68±0,25e	452,13±27,34b	65,14±0,28g	3,31±0,21a
T 20%	64,55±0,28b	743,1±16,65e	59,66±0,26c	9,3±0,27e
Trp 10%	68,27±0,45c	654,61±55,37d	61,21±0,47d	6,07±0,5d
Trp 20%	62,01±0,42a	1006,9±26,66g	56,46±0,37a	12,02±0,43f

Color: L es luminosidad, WI índice de blancura, BI es índice marrón. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

Una vez evaluadas las bases de pizza, y con la finalidad de tener un solo control con el que comparar las muestras en las sucesivas experiencias, se decidió que este debía ser el laminado a 1,8 mm, dado que el laminado a 2,5 mm había presentado un espesor superior al máximo observado en pizzas comerciales.

3.3. Segundo horneado

En este segundo horneado (el que realizaría el consumidor en su casa) se evalúa la incidencia del tiempo de horneado sobre las bases de pizza en función del coproducto que las componen. Dado que el número de muestras diferentes aumenta por tres, ya que son tres los tiempos de horneado estudiados (15, 20 y 25 minutos), en las gráficas que se muestran en las figuras no se representan las barras de error estándar a fin de mejorar su visualización. Por lo que al final del capítulo se presentan anexadas las tablas de estadística (2 y 3) para esta parte del estudio.

Variación de masa, y contenido de agua

La variación de masa incrementó con el tiempo de horneado, para ambos tipos de espesores, como consecuencia de la relación lineal existente con la pérdida de agua que se produce durante este (Figura III.8). Sin embargo, dicha linealidad presentó mayor dispersión cuando el espesor fue de 2,5mm. El mayor espesor, y por tanto la mayor dificultad para perder agua, hizo que el efecto matriz tuviese mayor incidencia. Así, en general las muestras con coproducto blanco (símbolos amarillos) tuvieron mayor pérdida de peso que las muestras con coproducto total (símbolos grises).

Cuando el espesor fue de 1,8mm, se evidenció en gran medida la influencia del nivel de sustitución, siendo las muestras sustituidas al 20% (símbolos con forma de triángulo) las que presentaron una mayor pérdida de peso, por tanto, menor cantidad final de agua. Para este espesor también fue influyente el tipo de coproducto empleado. Así, cuando la sustitución fue del 10%, las muestras elaboradas con coproducto total (T y Trp) tuvieron la menor variación de peso (mayor cantidad de agua final), incluso menor que el de las muestras control.

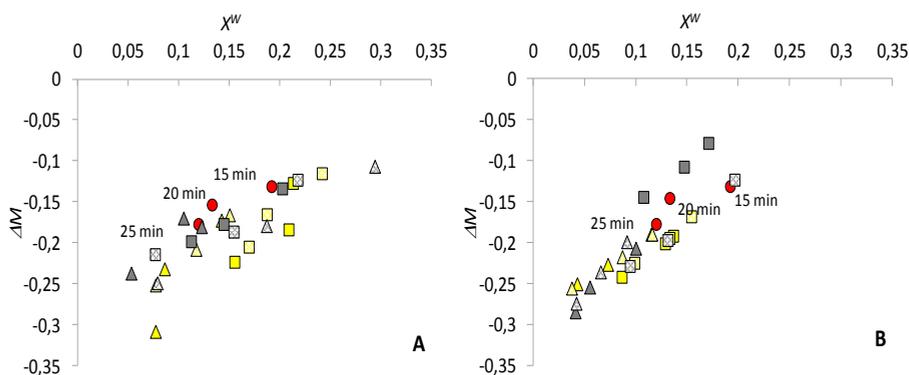


Figura III.8. Relación entre la variación de masa y la humedad para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

Los valores de actividad de agua (Figura III.9) mostraron la misma tendencia para ambos espesores de laminado con dependencia del contenido de humedad. Al incrementar el tiempo de horneado, la actividad de agua decreció en todas las muestras, y especialmente en aquellas muestras con un laminado 1,8mm, al presentar una menor cantidad de agua dada su mayor facilidad para secarse.

Para ambos espesores, las muestras con mayor nivel de sustitución fueron las que tuvieron menores valores de a_w , siendo estas la que también tuvieron una menor humedad, lo que refleja menor capacidad de retención de agua de la fibra añadida con el coproducto.

En cuanto al tipo de coproducto y el grado de molturación no se vio un efecto claro para ninguno de los dos espesores.

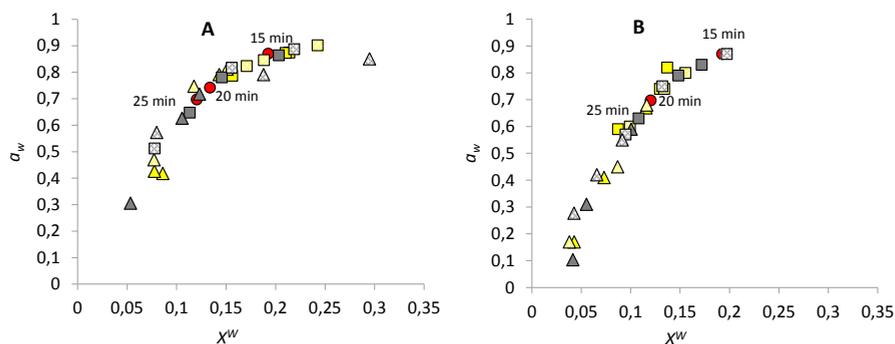


Figura III.9. Relación entre la actividad de agua y la humedad para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

Análisis textural

El parámetro fuerza se vio afectado especialmente por la incorporación del coproducto y el tiempo de horneado, para ambos laminados, por ello se relacionó la fuerza con el contenido de humedad (Figura III.10, A-B). Así la fuerza incremento a medida que disminuyo el contenido de agua y aumento el tiempo de horneado.

Las muestras con espesores de laminado 2,5mm tuvieron en general menores valores de dureza que las laminadas a 1,8mm, dado su mayor contenido de humedad. Además, para este espesor se evidenció una marcada separación lineal entre aquellas muestras con coproducto tamizado (W y Wrp) y las totales (T, Trp). La mayor presencia de tejido celulósico, con menor tamaño de partícula que el

existente para el coproducto total el cual tiene mayor presencia de lignina, generaría una mayor compactación de la masa que incrementaría la dureza para un mismo valor de humedad. En cambio, para el espesor de laminado 1,8mm las muestras que presentaron una mayor dureza fueron las obtenidas con coproducto total, pero en este caso por la menor humedad que presentaron.

Para ambos espesores se evidenció como las muestras con mayor nivel de sustitución fueron las que presentaron una mayor dureza, la cual en general fue mayor cuando el coproducto fue incorporado triturado (Wrp yTrp), tal vez por su mayor facilidad a la compactación.

La fuerza está relacionada de manera inversa con el contenido de humedad, y el trabajo que es proporcional a la fuerza, guarda similar comportamiento con la humedad (Figura III.10, C-D). Las pizzas que tienen el mayor contenido de humedad son las de textura más suave, reflejan una menor fuerza y un área de trabajo más pequeña.

Wang et al. (2016) reportó que, al reducir los tamaños de partícula de la harina de trigo entera, la fuerza de ruptura en las galletas aumenta, al tener menor interferencia con la formación de gluten (alta estabilidad, horneado), que afecta al peso de las galletas, la geometría y el aumento de la humedad. Estos mismos resultados fueron también obtenidos por Bressiani et al. (2017) en pan y en este sentido, Stanyon & Costello (1990) determinaron un menor

contenido de humedad en galletas con un aumento del contenido de salvado en la harina que incidió en la dureza de estas. En este mismo sentido, Sudha et al. (2007) reportaron en sus investigaciones sobre bizcochos y galletas, que la incorporación de fibra de diferentes cereales (arroz, avena y cebada) superior al 30% para salvado de arroz produce un color más oscuro en la miga y una textura más dura.

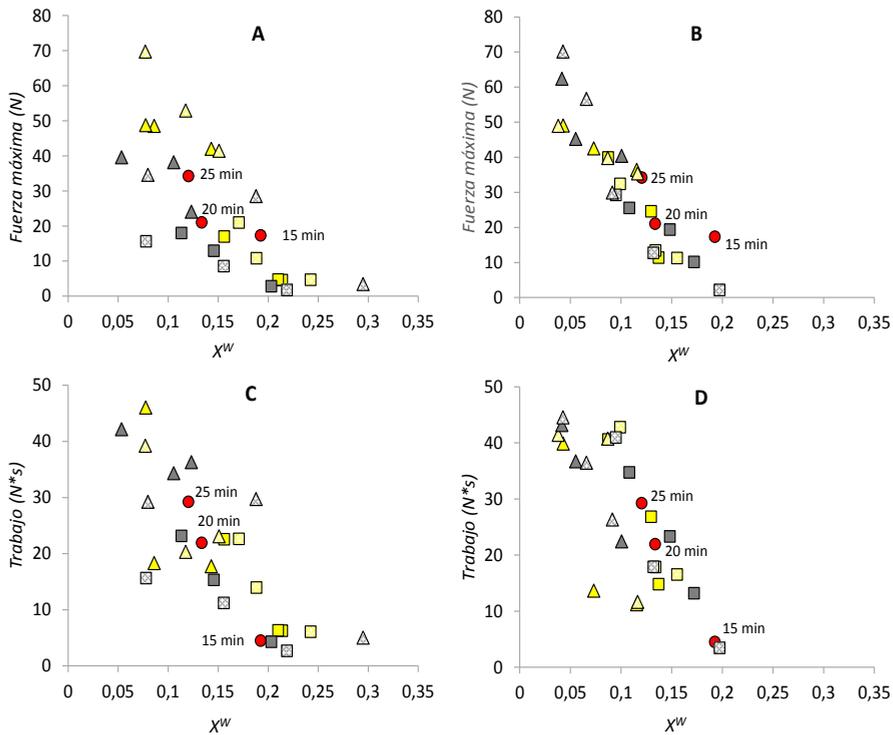


Figura III.10. Relación entre la Fuerza máxima y la humedad (A, B) y entre el trabajo y la humedad (C, D) para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A, C) o de 1,8 mm (B, D) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

Color

Los parámetros de color de las pizzas resultaron influenciados por el proceso de horneado, de modo que, al aumentar el tiempo de horneado, el valor de luminosidad L^* disminuyó. Como se mencionó en el apartado 3.2-Color, existen autores que relacionan la variación

de luminosidad con el contenido de humedad para productos horneados (Caviano & López, 2010; Huang et al., 2005; Nkhabutlane et al., 2014; Pathare et al., 2013; Verdú et al., 2017). En la figura III.11 se muestra la relación existente entre L^* y la humedad de las pizzas tras los tres tiempos de horneado.

A medida que incrementó el tiempo de horneado, todas las muestras disminuyeron su contenido de humedad (Figura III.11) e incrementaron la luminosidad. Las muestras control, para ambos espesores de laminado, fueron las que presentaron una mayor luminosidad, para un mismo valor de humedad, en comparación con las muestras con coproducto. En general para ambos espesores, las muestras que contienen coproducto tamizado W fueron las que más se asemejaron en luminosidad a la muestra control como consecuencia del color más blanquecino de su estructura. Pero independientemente del tipo de coproducto, cuando este se añadió triturado (Wrp y Trp), los valores de luminosidad disminuyeron, si bien fue más acusado para el coproducto total. Este mismo comportamiento se observó para el nivel de sustitución el cual disminuyó los valores de L^* con su incremento.

Es importante remarcar que, al ir incorporando el coproducto, y en mayor medida el total, y más aún cuando se incorpora triturado y a un nivel de sustitución del 20%, el efecto del tratamiento térmico va disminuyendo, mostrando que estos factores son más influyentes

sobre la luminosidad que la propia pérdida de agua efecto del tratamiento térmico.

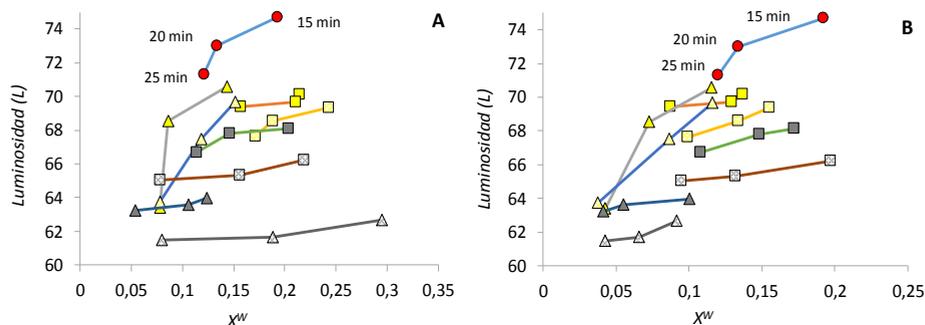


Figura III.11. Relación entre la luminosidad y la humedad para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

El índice de blancura WI, y el de marrón BI, también se vieron modificados con el incremento del tiempo de horneado, disminuyendo el índice de blancura WI e incrementando el de marrón BI (Figura III.13), cambios relacionados con el incremento de las coordenadas de color a* y b* (Figura III.12).

El índice de marrón BI es inversamente proporcional a WI y L*. La presencia del horneado y el aumento del tiempo de horneado incrementa el índice BI (Figura III.13) especialmente en las muestras

de coproductos en referencia al control, comportamiento observado para ambos espesores de laminado. El color marrón del coproducto (lignina) también influyó en este aumento de BI, como se observó en los productos congelados, atribuyéndose al contenido de fibra de la parte externa e interna de la chufa que por su color marrón característico acentúa el BI en la pizza (Medina et al., 2016). Además, al incrementar la sustitución y el tiempo de horneado, el BI aumenta para ambos espesores de laminado, especialmente en aquellas muestras de coproducto total T y menor grado de partícula Trp.

Sin embargo, en aquellas muestras con espesor de laminado de 1,8mm, por ser más finas, el calor logró penetrar más fácilmente, por lo que la presencia de tostado fue más evidente. Esto explicaría que entre los tres tiempos de horneado exista una mayor variación de las coordenadas a^* y b^* , alcanzando una menor variación en aquellas con grosor de laminado 2,5mm. Adicionalmente, en las de espesor fino, en el tiempo inicial de 15 minutos de horneado, tanto las muestras control como las de coproducto al 20% de sustitución, tienen semejanza en las coordenadas b^* , lo que indicaría el efecto del proceso de horneado y la influencia de la presencia del coproducto.

El horneado es responsable de las reacciones de pardeamiento y pérdida de agua en los productos horneados (Fennema, 1996). Este efecto es aún más visible al aumentar el tiempo de horneado.

Durante este proceso se producen las reacciones de pardeamiento no enzimático entre la reducción de azúcares y compuestos de aminoácidos, o posiblemente por dextrinización del almidón y la caramelización del azúcar, o por el contenido de proteína (Chevallier et al., 2000; Zucco et al., 2011).

Pero como se ha mencionado, a este incremento del color pardo también se une la incorporación del coproducto, así estudios con salvado en galletas (Sudha et al., 2007) han indicado que la medición del color WI se volvió más oscura al aumentar el nivel de salvado de arroz, avena y cebada, o con harina de linaza.

En cuanto al tamaño de partícula, para el presente estudio, se puede observar una disminución en muestras con tamaño de partícula más pequeño cuando el nivel de sustitución y el tiempo de horneado aumenta (Kaur et al., 2017). Estepa et al. (2015) en sus estudios sobre snacks con coproducto de horchata reportó resultados similares, indicando que las muestras con menor tamaño de partícula tienen los valores más bajos de L y WI, y disminuyendo mientras aumenta el grado de sustitución.

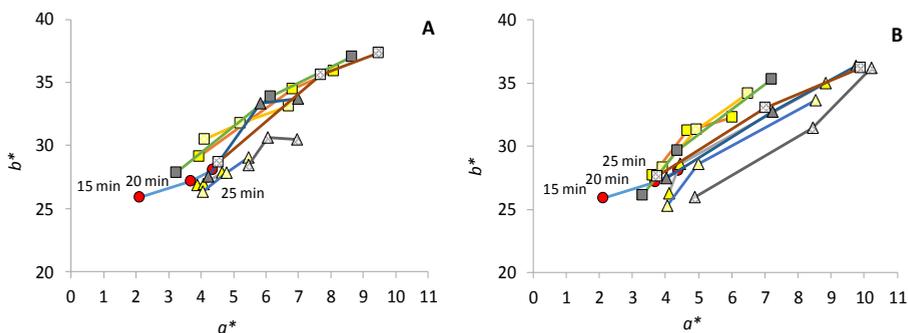


Figura III.12. Relación entre la coordenada de color b^* y a^* para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

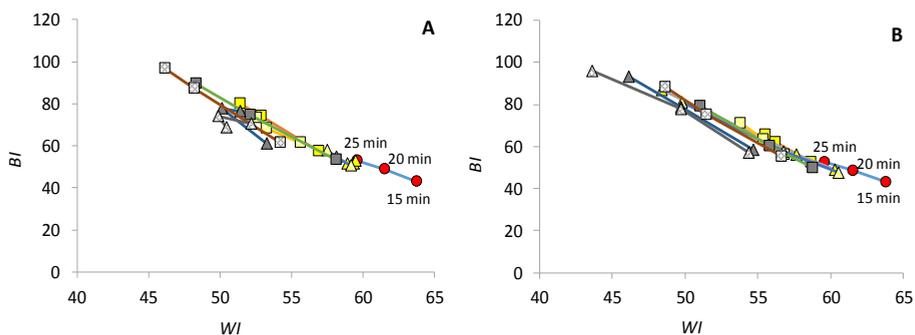


Figura III.13. Relación entre el índice de marrón (BI) y el de blancura (WI) para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (A) o de 1,8 mm (B) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos rojos representan las muestras control.

Estudio en conjunto de los análisis fisicoquímicos

Una vez evaluados los parámetros fisicoquímicos para cada una de las pizzas, se procedió al estudio de estos en su conjunto, con la finalidad de evaluarlos y a la vez compararlos con los controles (HT). Mediante esta comparación se pretende ver que pizzas son las que presentan un comportamiento más similar a estos y de esta forma hacer un cribado que permita reducir el número de pizzas para los estudios finales. Para la realización de este estudio se utilizó el análisis multifactorial PCA. La Figura III.14 muestra el biplot en la que se representa la proyección de las muestras en las dos primeras componentes, las cuales explican el 81,93% de la varianza, así como los factores que han generado dicha proyección (puntos verdes en la Figura III.14). Como se puede observar, las muestras control, así como otras, se situaron en el cuadrante descrito por la componente negativa PC1 y la positiva PC2, en el que tanto la luminosidad (L^*) como el índice de blancura (WI) influyeron positivamente. En cambio, en el lado opuesto se situaron las coordenadas de color a^* y b^* , así como el índice de pardeamiento (BI). De esta forma, para todos los tipos de pizza, el incremento en el tiempo de horneado ha generado la disposición de las muestras hacia la parte positiva del PC1, en el que los valores de marrón influyen positivamente.

Dado que el propósito es comparar los resultados con los controles, con el fin de seleccionar aquellas más parecidas a estos, en la Figura III.15 se ha realizado una ampliación del área comprendida por la componente negativa PC1. Además, para facilitar la comprensión se ha añadido numéricamente el tiempo de horneado (15, 20 o 25 minutos). Como se observa, la disposición de las muestras va de izquierda a derecha con el incremento del tiempo de horneado. De esta forma las muestras van disminuyendo su valor de blancura, L^* y contenido en agua, a la vez que aumenta la pérdida de masa (al ser un valor negativo). Así las pizzas que mostraron una mayor similitud con las control fueron las compuestas por el coproducto blanco (símbolo amarillo), con un nivel de sustitución del 20% (triángulo) e independientemente del tipo de laminado 2,5 o 1,8 (símbolo con reborde grueso o fino) y del tipo de partícula, triturado o no (símbolo con trama amarilla o relleno amarillo), con un tratamiento térmico de 15 o 20 minutos.

En base a estos resultados y con la finalidad de reducir el número de muestras para el siguiente estudio, se procedió a seleccionar las pizzas elaboradas con coproducto blanco (W), no triturado (dado que implica una menor manipulación del coproducto), con un nivel de sustitución del 20% y un laminado del 2,5. A la vez, y con el fin de comparar y evaluar resultados, también se seleccionaron las mismas muestras, pero elaboradas con el coproducto total (T).

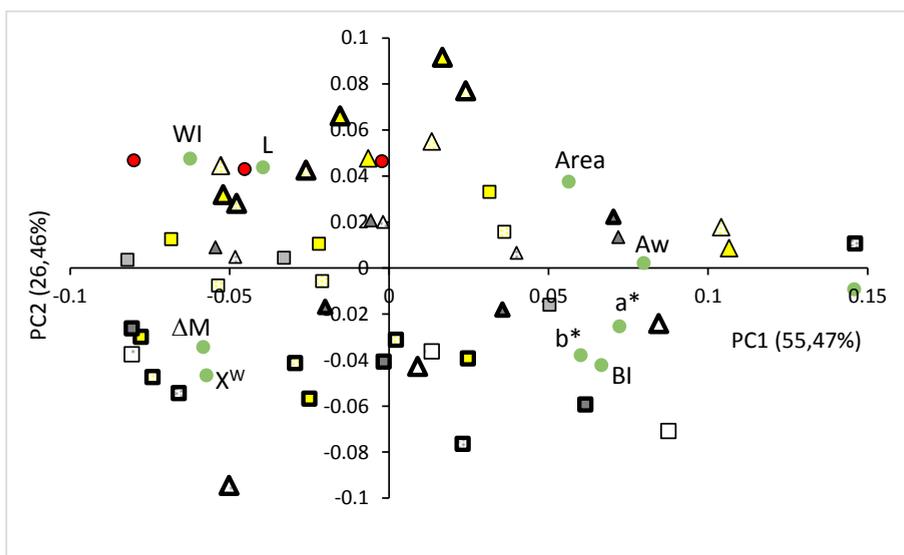


Figura III.14. PC1 vs PC2 para cada tiempo de horneado de las muestras con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos verdes son los factores de estudio. Puntos rojos representan las muestras control.

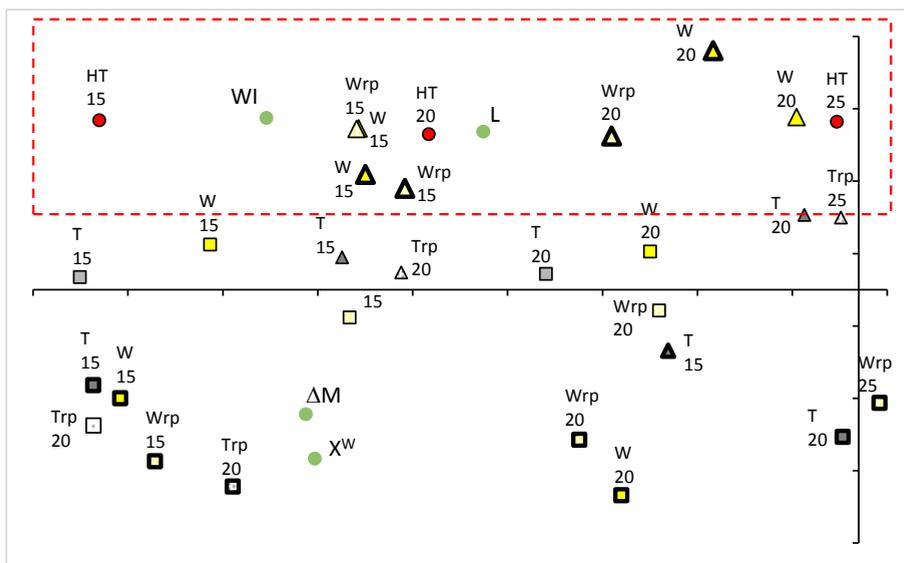


Figura III.15. Ampliación del gráfico PC1 vs PC2 en el área de la componente PC1 en la que se encuentran las pizzas control (HT). Muestras con un laminado de 2,5 mm (símbolos con reborde grueso) o de 1,8 mm (símbolos con reborde fino) para los dos niveles de sustitución 10% (cuadros) y 20% (triángulos) de las harinas totales T (símbolos relleno gris) o tamizadas W (símbolos relleno amarillo) y sus correspondiente trituradas (símbolos con trama gris Trp y amarilla Wrp respectivamente). Puntos verdes = factores de estudio (WI = índice de blancura; L = luminosidad; ΔM = pérdida de peso durante el horneado; X^w = fracción de agua final). Los números expresan el tiempo de horneado. Puntos rojos representan las muestras control.

3.4. Adición de Salsas

Este último estudio se abarcó desde dos puntos de vista, por un lado, mediante estudios difusionales, sumergiendo las pizzas en las salsas, y por otro, mediante el análisis fisicoquímico y sensorial de las pizzas tras la adición de las salsas y posterior horneado.

Difusión de salsas

La Figura III.16 muestra las curvas características de flujo de los dos solventes (salsa de tomate y salsa de nata) en las diferentes pizzas. Como se observa independientemente del tipo coproducto utilizado, los flujos son menores cuando las pizzas son introducidas en la salsa de nata. Como se ha comentado en el capítulo I de la tesis, al evaluar el ángulo de contacto de estas salsas sobre las superficies de chips elaborados con las mismas combinaciones de harina de trigo – coproducto, este fue mayor para la salsa de nata y por ello su menor capacidad de difusión.

Cuando se comparó los flujos, en función del coproducto presente en las pizzas, se observó que, para ambas salsas los controles presentaron un menor flujo, el cual se igualó al del resto de muestras a partir de los 130 segundos, tiempo en el que ya no existieron diferencias estadísticas entre las muestras y que evidenció la desaceleración. Por otro lado, las muestras con coproducto presentaron un comportamiento inverso en función de la salsa en la que fueron sumergidos. Las muestras que contenían coproducto blanco (celulosa) presentaron menos flujo con la salsa aceitosa que con la salsa acuosa, sin embargo, las de coproducto total (lignina-celulosa) tuvieron menor flujo en medio acuoso que en aceitoso. Este comportamiento también fue observado por otros autores (Rodríguez-Gutiérrez et al., 2014), donde una mezcla de lignina y

celulosa extraída de huesos de aceitunas tuvieron mayor capacidad de retención de agua y menor capacidad de retención de aceite que la celulosa pura.

Este resultado fue inverso a los obtenidos en el primer capítulo, en el que el coproducto blanco (W), por contener básicamente celulosa, tenía más dificultades para absorber agua (Verdú et al., 2017). Una posible explicación a este comportamiento contrario podría estar en la diferencia de procesado de las muestras entre las dos experiencias. En el primer capítulo, las muestras no fueron fermentadas, mientras que en este, si lo son. Además, sería la fermentación, junto a las posteriores perforaciones realizadas en la superficie de las pizzas para liberar el gas retenido, lo que explicaría la menor difusión observada por las muestras control en comparación con las que llevan coproducto.

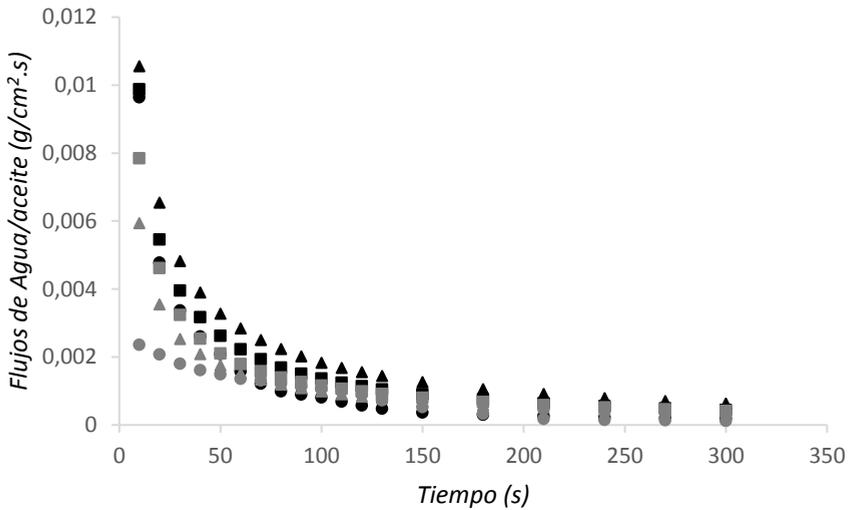


Figura III.16. Flujo de solventes ($\text{g}/\text{cm}^2\cdot\text{s}$). Las figuras representan: coproducto total (cuadrado); coproducto blanco (triángulo); control (círculo). Los colores representan: salsa tomate (negro); salsa nata (gris).

Durante la etapa de fermentación, la fibra presente en el coproducto, que dificulta la formación correcta de red de gluten, impediría la formación y distribución homogénea de burbujas, generando burbujas heterogéneas muchas de ellas de gran tamaño. Como se observa en la Figura III.17, en la que se muestran imágenes de cortes transversales de pizza control y con coproducto total (T) o blanco (W), las burbujas para estas últimas fueron mayores, lo que facilitaría la difusión en ellas. Por otro lado, las perforaciones realizadas tras la fermentación, aun habiendo sido realizadas con el mismo instrumento y bajo el mismo protocolo, generaron diferentes diámetros y profundidades como consecuencia de la presencia del

coproducto y del tipo de este. Así las muestras controles, con masas más viscoelásticas, presentaron perforaciones con menor diámetro y profundidad como consecuencia de la retracción de la masa tras la perforación (Figura III.17). En cambio, en las muestras con coproducto, dicha retracción no fue tan acentuada, dada la presencia de la fibra, generándose agujeros con mayor diámetro y profundidad, que fueron más acusados cuando se empleó el coproducto total (Figura III.18 A).

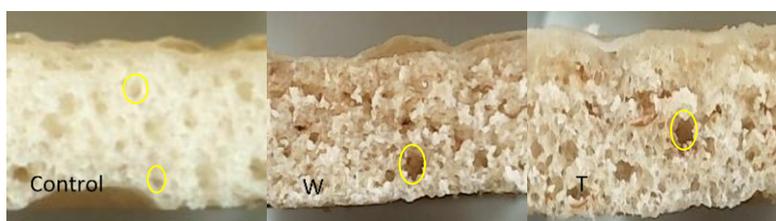


Figura III.17. Sección transversal de muestras de pizzas. El círculo representa el tamaño de burbuja.

La Figura III.18 muestra el efecto de la retracción de la masa sobre el diámetro y profundidad de la masa, así como un análisis de imagen en el que se cuantifican estos (Figura III.18 B). Para la cuantificación se seleccionó una línea de píxeles en la que estuvieran presentes las perforaciones (líneas roja, morada y negra en Figura III.18 A) y se cuantificó, tras transformar las imágenes a escala de gris, los tonos de grises que es lo que se muestra en la Figura III.18 B. Como se observa,

las muestras con coproducto tuvieron tonos más cercanos a cero, lo que implica tonos más oscuros (0=negro y 255 = blanco) y por tanto más profundos, mientras que el control tuvo mayor cantidad de tonos hacia el blanco, no mostrando tonos por debajo del tono 100, mientras que las muestras con coproducto total llegaron al tono 27.

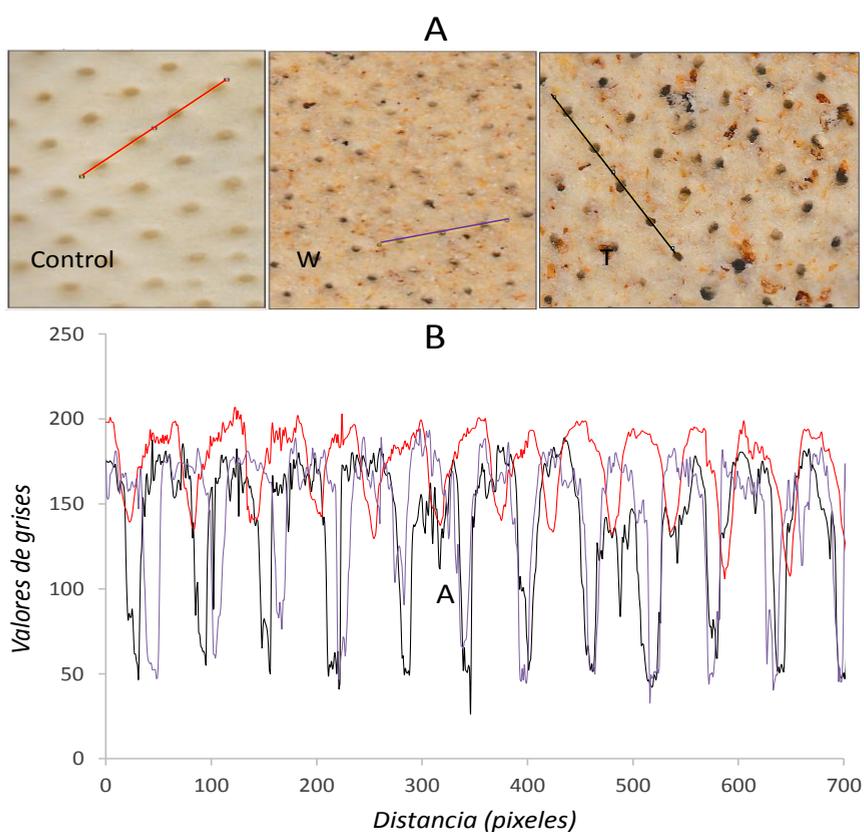


Figura III.18. A. Superficie de las pizzas con las líneas de píxeles seleccionadas para el estudio de las perforaciones. B. Análisis de los tonos de grises de las líneas de píxeles seleccionadas en las imágenes de A. Coproducto total, negro; coproducto blanco, violeta; control, rojo.

Tras el estudio de difusión, se pasó al último de los estudios en los que a las pizzas se les añadió uno de los dos tipos de salsa evaluándose tanto parámetros fisicoquímicos como sensoriales

Análisis fisicoquímicos

Pérdida de masa, humedad y actividad de agua

Los resultados de pérdida de masa ΔM y humedad se muestran en las Figuras III.19 y III.20, respectivamente. Todas las muestras presentaron pérdidas de masa, aumentando ésta cuanto mayor fue el tiempo de horneado. La reducción de masa también fue mayor en muestras que contenían salsa de tomate con respecto a aquellas con salsa de nata. No se determinaron diferencias entre las muestras control y las de coproducto blanco para la salsa de nata, en los dos diferentes tiempos de horneado, si en cambio para la salsa de tomate en la que las muestras con coproducto perdieron más peso. Sin embargo, las muestras con coproducto total perdieron más peso que la muestra control para ambas salsas, los cuales oscilaron entre 1,18%-2,36% para la salsa aceitosa a 15 y 20 minutos de horneado respectivamente y 3% para la salsa acuosa en ambos tiempos de horneado, siendo estas últimas las que perdieron mayor cantidad de masa final (Figura III.19).

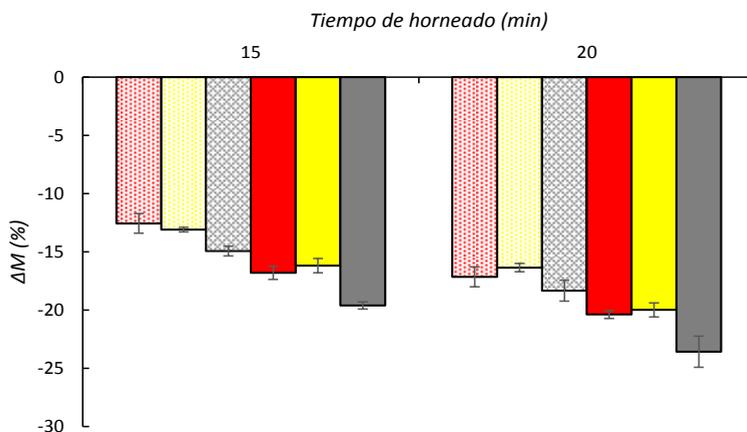


Figura III.19. Variación de masa de pizzas con salsas horneadas a 15 y 20 minutos. Columna con trama: pizza con salsa de nata; Columnas sólidas: pizzas con salsa de tomate. Color rojo: control; Color amarillo: coproducto blanco; Color gris: coproducto total. Barras marcan desviación estándar.

El análisis de humedad (Figura III.20) mostró como independientemente del tiempo, si bien más acusado para los 15 minutos de horneado, las pizzas con salsa de nata presentaron mayor cantidad de agua que aquellas con salsa de tomate. Inicialmente, dada la mayor cantidad de agua de la salsa de tomate, cabría esperar lo contrario, pero una posible explicación la encontraríamos en el efecto barrera de la grasa al flujo de agua. En este sentido, durante el horneado, en el caso de las pizzas con salsa de tomate, el agua tanto de la salsa que la propia de la pizza se evaporaría, en cambio, con la salsa de nata, dicha evaporación no se produciría con tanta

intensidad ya que esta generaría una capa aceitosa que impediría la salida del agua del interior de la pizza.

El efecto del coproducto también quedó de manifiesto. Así las muestras con coproducto tuvieron una mayor humedad respecto al control, para ambas salsas y tiempos de horneado. Si bien las muestras control fueron las que sufrieron una menor variación de masa durante el horneado (Figura III.19), y por tanto cabría esperar que hubieran sido las que finalmente presentaran una mayor humedad, sería la menor cantidad de agua de sus bases congeladas (líneas horizontales rojas, Figura III.20) la que justificaría dicha menor humedad final, más cuando la cantidad de salsa añadida fue común a todas ellas.

Entre ambos tipos de coproducto, se siguió evidenciando lo observado en las bases de pizza congeladas (líneas horizontales de color amarillo y negro), en las que la cantidad de agua de las pizzas con coproducto total fue mayor que en las formadas con coproducto blanco, independientemente del tipo de salsa y tiempo de horneado, si bien a los 20 minutos, en el caso de las pizzas con salsa de tomate, dicha diferencias desaparecen.

El tiempo de horneado también fue influyente. Así, si para todas las pizzas, independientemente del tipo de salsa y de la presencia o no de coproducto, la cantidad de agua al final del 2º horneado de 15 minutos fue mayor que la de sus respectivas bases congeladas, a los

20 minutos de este horneado, esta fue similar o inferior (Figura III.20).

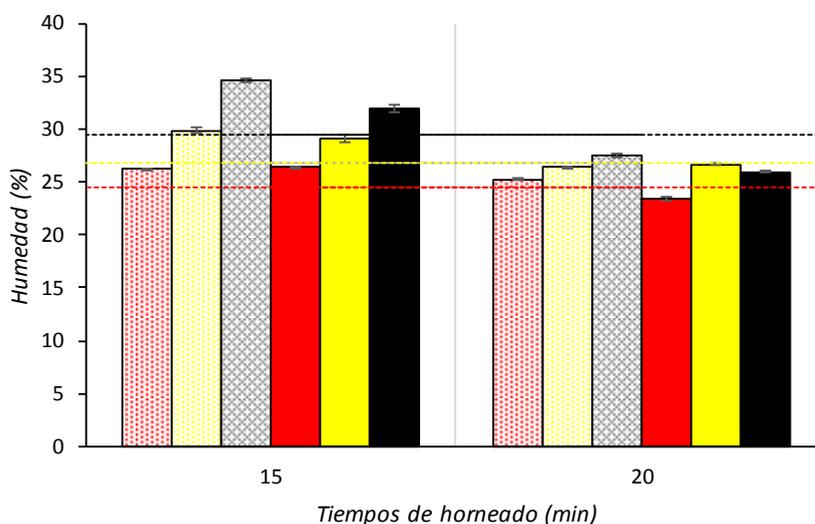


Figura III.20. Humedad de las pizzas con salsas horneadas a 15 y 20 minutos. Columna con trama: pizza con salsa de nata; Columnas sólidas: pizzas con salsa de tomate. Color rojo: control; Color amarillo: coproducto blanco; Color gris: coproducto total. Las líneas horizontales discontinuas representan la humedad promedio de las muestras sin salsas antes del segundo horneado (congelada). Barras representan desviación estándar.

Los valores de actividad de agua (Figura III.21) mostraron la misma tendencia que la observada en el estudio anterior (Figura III.9), evidenciándose la dependencia entre esta y la cantidad de agua de

las muestras, no siendo influyente sobre sus valores de la presencia o no de coproducto ni del tipo de este.

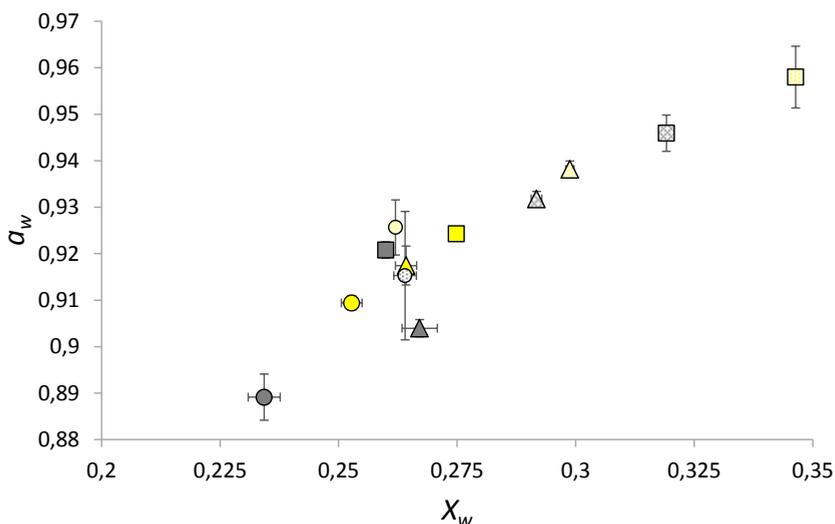


Figura III.21. Relación entre la actividad de agua y la humedad para los tiempos de horneado 15 minutos (símbolos con trama) y 20 minutos (símbolos rellenos) de las pizzas control (símbolo redondo), con coproducto total T (símbolos cuadrados) o blanca W (símbolos triangulares) en salsa de tomate (símbolos grises) o de nata (símbolos amarillos). Barras describen la desviación estándar.

Mediciones de color

El análisis de los parámetros de color de las bases mostró diferencias entre las muestras con coproducto y el control. Los valores de luminosidad L y de blancura WI tuvieron una relación similar e inversamente proporcional al índice marrón BI (Figura III.22), tal

como se había apreciado en las muestras congeladas y horneadas sin salsas. Mientras los valores de L y WI fueron menores para las muestras con coproducto con respecto al control, los del índice de marrón fueron inversos. En este sentido, en general también el tipo de coproducto influyó, siendo los valores de L y WI mayores para las bases con coproducto blanco que con coproducto total, lo cual es lógico dada la mayor coloración marrón de la lignina presente en este coproducto. En cambio, el tiempo de horneado disminuyó los valores de L y WI con su incremento, lo que se tradujo en un incremento de los valores BI como consecuencia de un mayor tostado.

El efecto salsa también tuvo influencia sobre el color de las bases, siendo los valores de WI, y por tanto de L, mayores para las pizzas con salsa de tomate que para aquellas con salsa de nata, obteniéndose un comportamiento inverso de los valores de BI. Esto pudo deberse a que parte del calor del horno es utilizado para evaporar el líquido de la salsa, mayoritario en la salsa de tomate, lo que generaría un menor tostado en estas, respecto a las de salsa de nata con menor cantidad de agua. Esto también explicarían que las pizzas con salsa de tomate tuvieran, entre los dos tiempos de horneado, una menor variación de los parámetros a^* y b^* (Figura III.22), alcanzando las pizzas con salsa de nata los mayores valores de a^* y b^* , como consecuencia del mayor tostado de estas. Las pizzas control tuvieron valores de a^* y b^* mucho más bajos que las que

contienen coproducto, lo que mostraría la influencia de la incorporación de este en dichos parámetros, como ya se vio en el estudio anterior (Figura III.12).

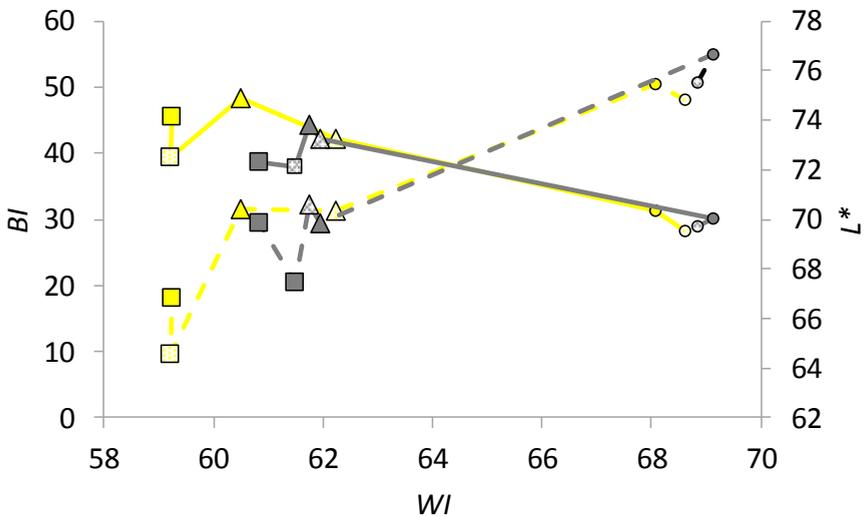


Figura III.22. Relación entre los parámetros de color luminosidad (L), índice de blancura (WI) e índice de marrón (BI) de pizzas horneadas con salsa. Líneas discontinuas, BI; líneas continuas, L. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.

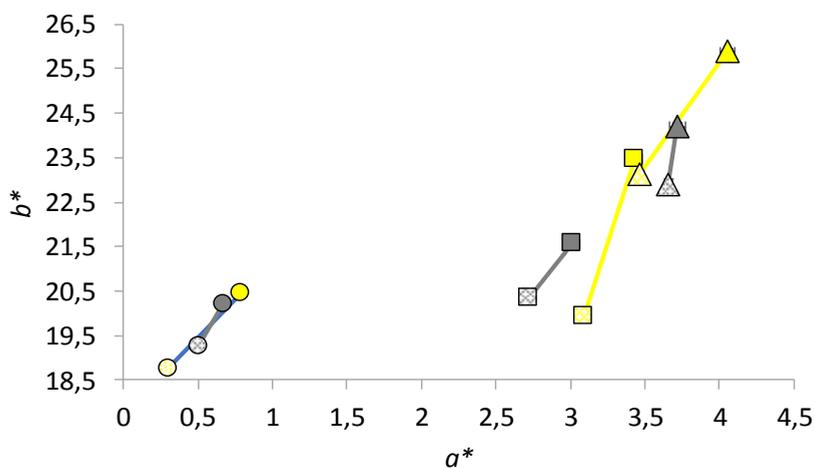


Figura III.23. Relación entre los parámetros de color a^* y b^* de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.

Análisis textural

El estudio de la dureza mostró una gran influencia por el tipo de coproducto utilizado (Figura III.24). Las muestras control fueron las que presentaron la menor dureza, incrementando esta con la incorporación del coproducto, aun teniendo una mayor humedad, siendo el incremento mayor cuando el coproducto incorporado fue el total como consecuencia de la presencia de la lignina en él.

El efecto salsa también fue influyente, siendo los valores de dureza mayores para las pizzas con salsa de tomate como consecuencia de su menor humedad. Finalmente, el tiempo de horneado también

influyó sobre la dureza, incrementando ésta con el tiempo a consecuencia de la deshidratación de las pizzas.

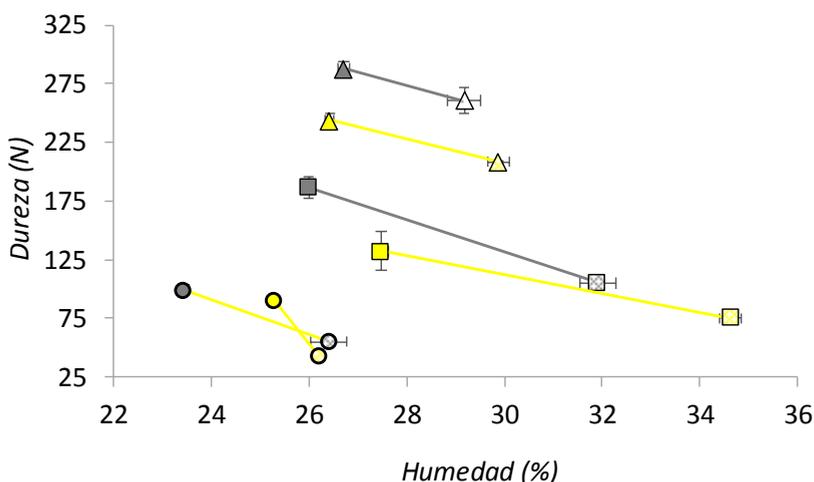


Figura III.24. Relación entre la humedad y la dureza de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.

Cuando se relacionó el trabajo realizado con la dureza (Figura III.25) se encontró que existió una linealidad del 95% para las muestras controles con sus diferentes salsas y tiempos de horneado. Con la incorporación del coproducto, se observó un incremento en la pendiente con respecto a la control pero conservando también una linealidad con 97% de correlación. Este comportamiento determinó

que para realizar un mismo trabajo, se necesita aplicar una mayor fuerza cuando se incorpora el coproducto, se usa salsa de tomate o se incrementa el tiempo de horneado, en los términos que anteriormente se han comentado (Figura III.24).

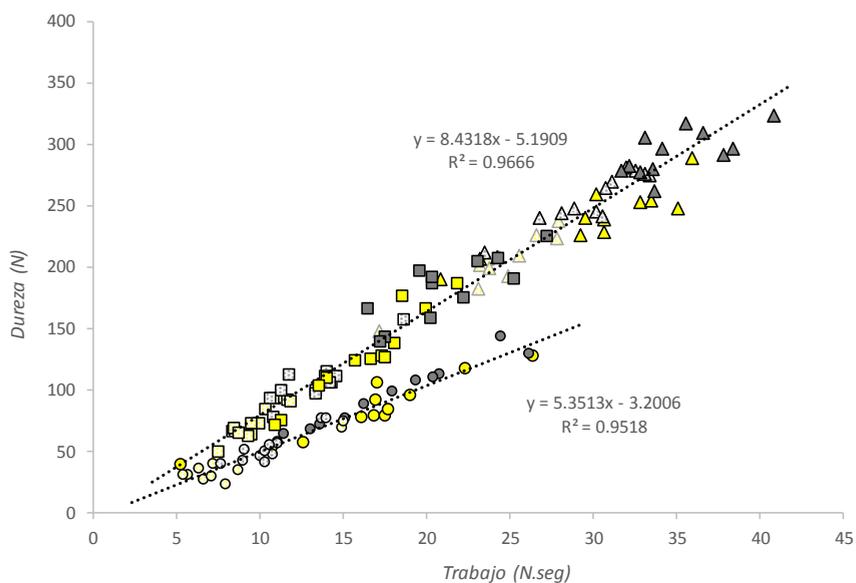


Figura III.25. Relación entre trabajo y la dureza de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.

En la Figura III.26 se muestra la relación entre la cohesividad y la gomosidad (Figura III.26 A) y la de la masticabilidad con la resiliencia (Figura III.26 B). Como se observa, existió una relación exponencial entre la cohesividad y la gomosidad. En cambio, la relación en el caso de la masticabilidad y la resiliencia fue lineal, si bien en este caso la linealidad se obtuvo sin las muestras control lo que mostraría una mayor incidencia de la presencia de coproducto. Aun así, para ambas relaciones el comportamiento fue el mismo. En este sentido, ambas relaciones incrementaron dependiendo del tipo de coproducto incorporado, siendo mayor cuando se utilizó el total. El tipo de salsa adicionada también presentó influencia, siendo los valores de las relaciones mayores para aquellas pizzas con salsa de tomate. Finalmente, el tiempo de horneado hizo incrementar los valores de las relaciones al incrementarse. Todos estos resultados son coherentes con los observados en el parámetro dureza y estarían justificados por el mayor tostado de las pizzas con salsa de tomate y el tiempo de deshidratación en el horneado, así como por la presencia de lignina en el coproducto total.

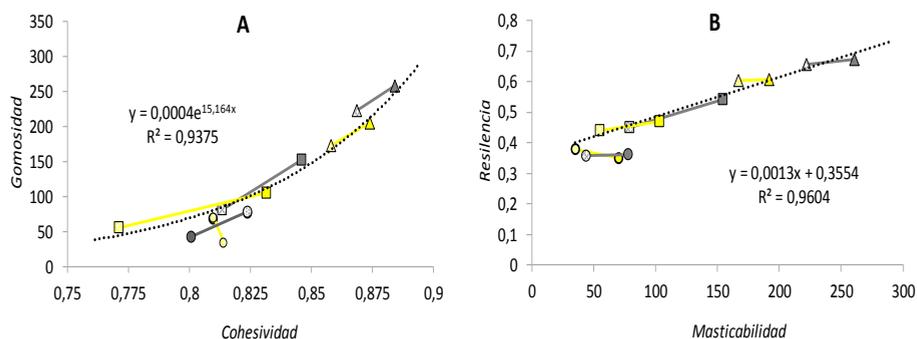


Figura III.26. Relación entre la cohesividad y la gomosidad (A) y entre la masticabilidad y la resiliencia (B) de pizzas horneadas con salsa. Círculo, patrón; Triángulos, coproducto blanco; Cuadrado, coproducto total; Color gris, salsa de tomate; Color amarillo, salsa de nata; Símbolos con trama, 15 minutos horneado; Símbolos rellenos, 20 minutos horneado. Barras describen la desviación estándar.

Análisis de imagen

El análisis global de las pizzas mediante análisis de imagen de los tonos de los canales RGB (red-green-blue) (Figura III.27) nos indicó la existencia de diferencias entre las muestras en función de la presencia de coproducto, del tipo de salsa adicionada y del tiempo de horneado. Así, en el caso de las pizzas con salsa de nata, la presencia de coproducto produjo un ensanchamiento de la campana gaussiana formada, decreciendo al valor máximo de ésta, lo cual fue más acusado cuando el coproducto usado fue el total. La presencia de coproducto genera la dispersión de tonos como consecuencia de su presencia, la cual es más notable en el formato total, en el que la lignina aporta su color generando mayor dispersión (Figura III.28). El

tiempo de horneado generó un desplazamiento de la campana hacia los tonos más oscuros (valores más cercanos a 0) indicando la presencia de un mayor tostado para estas pizzas, pero a la vez también se produjo una disminución del ancho de la campana que reflejó un color más uniforme. La explicación a los cambios observados en la campana gaussiana se evidencia en la Figura III.28. Como se observa, a los 15 minutos existe la presencia de un color blanquecino de la nata sobre las pizzas, el cual desaparece a los 20 minutos de horneado, dejando un color más uniforme y una mayor cantidad de tonalidades oscuras como consecuencia de su tostado. En el caso de las pizzas con coproducto total, la presencia de la coloración blanquecina de la nata fue más acusada, sobre todo a los 15 minutos, lo que se tradujo en una mayor cantidad de píxeles blancos, como se observa con la línea discontinua gris en la Figura III.27.A.

En el caso de las pizzas con salsa de tomate, las diferencias fueron mucho menores, tal vez porque la presencia de los pigmentos rojos de la salsa enmascara, en parte, la presencia del coproducto y del tiempo de horneado. Aun así, para el canal rojo, se observó como el tiempo de horneado hizo que el pico de la campana disminuyese con su incremento, al mismo tiempo que aumentó el ancho de esta hacia tonos más oscuros como consecuencia del mayor tostado. Por otro lado, la presencia del coproducto hizo que en el caso del canal rojo

las muestras control quedasen desplazadas hacia la derecha (tonos más claros) y en el del canal verde disminuyese desplazándose también hacia la derecha. Esto estaría remarcando la idea de que la presencia del coproducto incrementa los tonos más oscuros, si bien a diferencia de las pizzas con salsa de nata, en este caso no habría diferencias entre el tipo de coproducto.

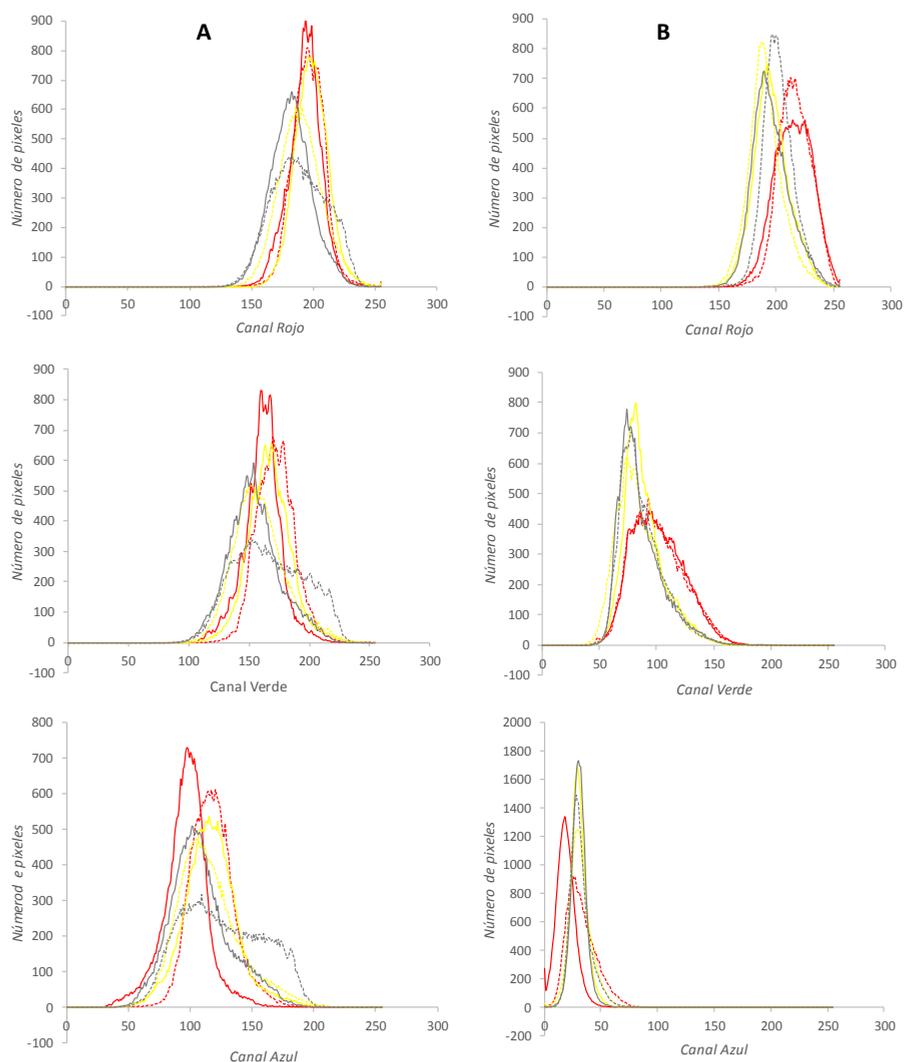


Figura III.27. Número de tonos de píxeles para cada uno de los canales (rojo, verde y azul) de pizzas con salsa de nata (A) o de tomate (B). Líneas rojas, muestras control, líneas amarillas, coproducto blanco, líneas grises, coproducto total. Líneas discontinuas, 15 minutos de horneado. Líneas continuas, 20 minutos de horneado.



Figura III.28. Imágenes de pizzas con salsas horneadas a 15 minutos (primera fila) y 20 minutos (segunda fila). Las letras representan: harina de trigo puro, HT; coproducto blanco, W; coproducto total, T.

Con la finalidad de reducir los espectros a dos variables que posteriormente nos ayuden en la comparación global de las pizzas, se realizó un análisis de PCA. La Figura III.29 muestra los valores para cada tipo de pizza de las dos variables PC1 y PC2, tanto con salsa de tomate (A) como con salsa de nata (B). Como se observa, en el caso de las pizzas con salsa de tomate, las diferencias entre las pizzas fueron muy escasas, siendo la que se posicionó más cerca de los controles la elaborada con coproducto total y 15 minutos de horneado. En el caso de las pizzas con salsa de nata, las pizzas que se posicionaron más cerca de las muestras control fueron las elaboradas con coproducto blanco al presentar un color más parecido al de la harina de trigo y con menos diferencia con la salsa que el coproducto total.

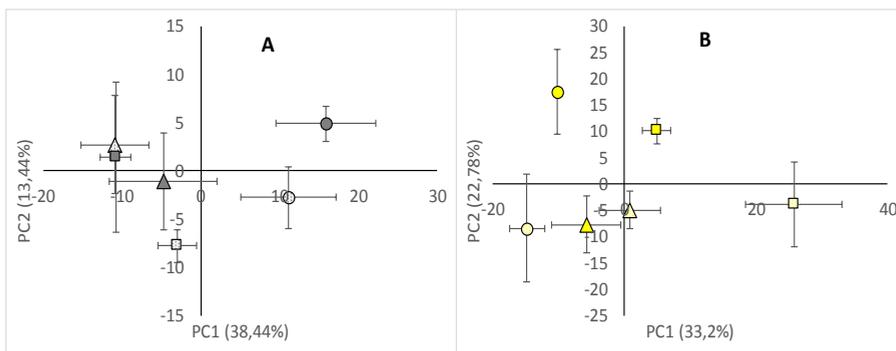


Figura III.29. Resultados de la componente PC1 vs PC2 del estudio de PCA realizado a partir de la información de los espectros de las pizzas con salsa de tomate (A) o de nata (B). Círculo, control; Cuadrado, coproducto total; Triángulo, coproducto blanco. Símbolo con trama, 15 minutos de horneado. Símbolo relleno, 20 minutos de horneado.

Análisis global de las variables

Una vez estudiadas todas las variables por individual y con la finalidad de tener una visión más global que evidencie la similitud entre las pizzas, se realizó un estudio de PCA con todas las variables (a_w , X^w , ΔM , L , a^* , b^* , WI , BI , dureza, elasticidad, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y las componentes principales de imagen PC1 y PC2) para cada una de las salsas añadidas. En la Figura III.30 se muestran los resultados de las dos primeras componentes para las pizzas con salsa de tomate (A) y de nata (B). Para ambas salsas, las muestras control quedaron situadas en valores negativos de PC1, muy marcadas por los valores de luminosidad (L) e índice de blancura (WI), mientras que en sentido opuesto se situaron las muestras

elaboradas con coproducto blanco, muy marcadas por las coordenadas de color a^* , b^* , índice de marrón y por los parámetros textura, dureza, masticabilidad, gomosidad y cohesividad. Las muestras elaboradas con el coproducto total se situaron en la zona intermedia de este componente PC1, si bien las pizzas elaboradas con el coproducto total y horneadas 15 min, tuvieron un valor muy elevado de la componente positiva 2, muy influido por lo valores de humedad y actividad de agua.

Estos resultados muestran claramente la existencia de diferencias importantes entre las pizzas control (solo elaboradas con harina de trigo) y las elaboradas con coproducto.

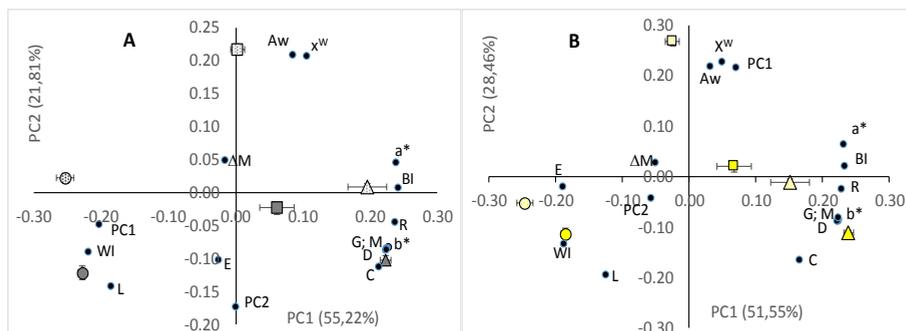


Figura III.30. Resultados de la componente PC1 vs PC2 del estudio de PCA realizado a partir de la información de todas las variables para las pizzas con salsa de tomate (A) o de nata (B). Círculo, control; Cuadrado, coproducto total; Triangulo, coproducto blanco. Símbolo con trama, 15 minutos de horneado. Símbolo relleno, 20 minutos de horneado. Puntos negros, variables: a_w , actividad de agua; X^w , humedad; ΔM , variación de masa, L , luminosidad; a^* coordenada rojo-verde; b^* , coordenada amarillo-azul; BI , índice de marrón; WI , índice de blancura; D , dureza; E , elasticidad; G , gomosisidad; C , cohesividad; R , resiliencia; M , masticabilidad; PC1 y PC2, primeras componentes del estudio de imagen.

3.5. Análisis sensorial

Finalmente, para evaluar la aceptabilidad del producto, y dadas las diferencias observadas en el punto anterior con el control, y con la finalidad de que estas no influyesen con el estudio de aceptabilidad, se procedió a realizar este sólo con las pizzas con coproducto (Figura III.31). Como se observa, para ambas salsas, el coproducto mejor valorado fue el blanco, independientemente del tiempo de horneado, obteniendo una puntuación global entre 5 y 6, si bien el coproducto total en salsa de tomate, y con un tiempo de horneado de 15 minutos, fue muy bien valorado, con la mejor puntuación en el

punto aspecto global-vista-olfato. En cambio, el mismo horneado durante 20 minutos fue el peor valorado.

Así pues, en general, los catadores puntuaron bastante alto todas las muestras, evaluando de manera más uniforme las muestras con salsa de nata que las de tomate. Esto pudo deberse en parte a la componente subjetiva del catador puesto está más familiarizado con la salsa tomate, y por tanto juzgarla con mayor discriminación, pero también podría deberse al efecto lubricante de la grasa sobre los componentes de la matriz, dando lugar con ello a una textura más suave en el producto final (Bennion & Bamford, 1997).

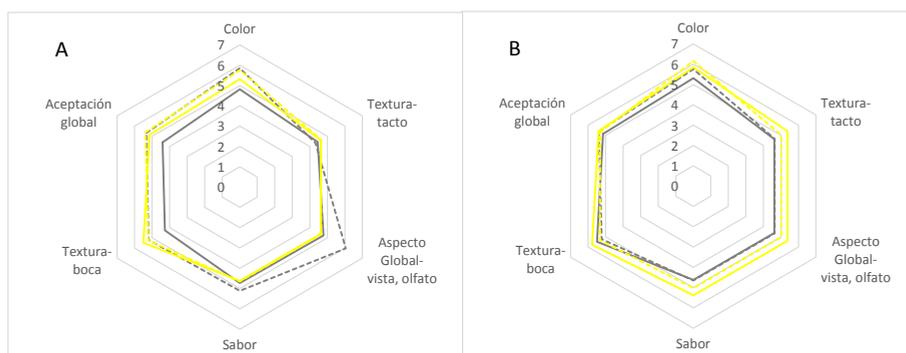


Figura III.31. Resultado del análisis sensorial de las bases de pizza elaboradas con salsa de tomate (A) o nata (B). Línea amarilla, coproducto blanco, línea gris, coproducto total. Línea discontinua 15 minutos de horneado. Línea continua 20 minutos de horneado.

4. Conclusiones

El coproducto incorporado generó cambios en las propiedades morfológicas de las masas para pizzas hasta la fase de congelado, y en el producto final una vez horneado con y sin la adición de salsas.

La presencia de coproducto causa disminución de la masa durante la fase de fermentación debido a la interrupción de la formación de la red de gluten-almidón, por la estructura celulosa-lignina. Esto conlleva la creación de burbujas grandes heterogéneas en el interior de la masa. Adicionalmente, esta inclusión también reduce la viscoelasticidad de la masa, por lo que, al realizar su perforación para liberar el gas retenido después de la fermentación se generan agujeros con mayores diámetros y profundidades que, junto con los mayores tamaños de burbujas, facilitan la difusividad de las salsas. Aun siendo clara la capacidad de retención de agua del coproducto, especialmente por la presencia de lignina, lo cual ayuda a rehidratar rápidamente la masa, también facilita su deshidratación durante el horneado, como consecuencia de la estructura que genera, la cual tiene un gran impacto en los parámetros de textura y color.

La incorporación del coproducto produce diferencias de color y textura en las pizzas tras el horneado con las salsas, con menores valores de luminosidad (L) e índice de blancura (WI) y por tanto mayor índice de marrón, así como mayores valores de dureza, siendo el coproducto total el que menores cambios genera. Aun así, los

catadores evalúan bastante alto todas las muestras, y de manera más uniforme las muestras con salsa de nata que de tomate, siendo las pizzas con coproducto blanco las mejor evaluadas para ambas salsas.

Es por esto, si bien el coproducto de la elaboración de horchata podría ser utilizado en el proceso de elaboración de bases de pizza pre-congeladas o pizzas congeladas, es necesario tener un buen control de la etapa de fermentación, no exceder del 10% el nivel de incorporación y recomendar, en caso de las bases de pizza, la adición de una salsa con parte de materia grasa (tomate-aceite, nata, etc.) y un horneado de aproximadamente 15 a 20 minutos.

5. Referencias bibliográficas

AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 44-15.02. Moisture Air-Oven Methods. Approved, 1999. AACC International, St. Paul, Minnesota, U.S.A.
<http://dx.doi.org/10.1094/AACCIntMethod-44-15.02>

AENOR. UNE-ISO 4121:2006. Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas. (ISO 4121:2003)

Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary

- fiber. *Nutrition Reviews*, 67(4), 188–205.
<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Bennion, E.B, Bamford, G.S.T. (1997). The Technology of Cake Making. 6th Edition, Blacking Academic and Professional, Chapman & Hall, London, 48-81.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4757-6690-5>
- Bressiani, J., Oro, T., Santetti, G. S., Almeida, J. L., Bertolin, T. E., Gómez, M., & Gutkoski, L. C. (2017). Properties of whole grain wheat flour and performance in bakery products as a function of particle size. *Journal of Cereal Science*, 75, 269–277.
<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.05.001>
- Carbonell, A., Boronat, T., Fages, E., Girones, S., Sanchez-Zapata, E., Perez-Alvarez, J. A., Garcia-Sanoguera, D. (2015). Wet-laid technique with *Cyperus esculentus*: Development, manufacturing and characterization of a new composite. *Materials & Design*, 86, 887–893.
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.08.013>
- Caviano, J. L., & López, M. A. (2010). *Color and Food. PhD Proposal* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chevallier, S., Colonna, P., Della Valle, G., & Lourdin, D. (2000). Contribution of Major Ingredients during Baking of Biscuit Dough Systems. *Journal of Cereal Science*, 31, 241–252.

<https://doi.org/10.1006>

Clarke, C. I., & Farrell, G. M. (2000). The effects of recipe formulation on the textural characteristics of microwave-reheated pizza bases, *1244*(November 1999), 1237–1244.

Donaldson, L. A. (2001). Lignification and lignin topochemistry - An ultrastructural view. *Phytochemistry*, 57(6), 859–873. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00049-8)

Estepa, N., Grau, R., & Verdú, S. (2015). ESTUDIO DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL SUBPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA AL PROCESADO DE SNACKS. Retrieved from [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73412/ESTEPA - ESTUDIO DEL EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL SUBPRODUCTO DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA ALpdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73412/ESTEPA_ESTUDIO_DEL_EFECTO_DE_LA_INCORPORACION_DEL_SUBPRODUCTO_DE_LA_ELABORACION_DE_HORCHATA_AL_....pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fennema, O. (1996). Food chemistry. 3rd Edition, Marcel Dekker, Inc., Madison, Wisconsin.

Fernández-Miranda, C. (2010). Dietary fiber in the prevention of cardiovascular risk. *Nutr. Clín. Diet. Hosp*, 30(2), 4–12. Retrieved from http://nutricion.org/publicaciones/revista_2010_02/Fibra-dietetica.pdf

Habibi, Y., Mahrouz, M., & Vignon, M. R. (2009). Microfibrillated

cellulose from the peel of prickly pear fruits. *Food Chemistry*, 115(2), 423–429.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.034>

Huang, S. C., Shiau, C. Y., Liu, T. E., Chu, C. L., & Hwang, D. F. (2005). Effects of rice bran on sensory and physico-chemical properties of emulsified pork meatballs. *Meat Science*, 70(4), 613–619. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.02.009>

ICC Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology (ICC)

Kaur, M., Singh, V., & Kaur, R. (2017). Effect of partial replacement of wheat flour with varying levels of flaxseed flour on physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of cookies. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 9(December 2016), 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2016.12.002>

Kizzie-Hayford, N., Jaros, D., Schneider, Y., & Rohm, H. (2015). Physico-chemical properties of globular tiger nut proteins. *European Food Research and Technology*, 241(6), 835–841. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2508-9>

Ma, S., Li, L., Wang, X., Zheng, X., Bian, K., & Bao, Q. (2016). Effect of mechanically damaged starch from wheat flour on the quality of frozen dough and steamed bread. *Food Chemistry*, 202, 120–124. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.075>

- Medina, J., Albors, A., & Martín, E. (2016). Características Reológicas, Estructurales Y Sensoriales De Panes Elaborados a Base De Harina De Chufa Resumen. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/69217/JULIÁ - Características reológicas%2C estructurales y sensoriales de panes elaborados a base de har....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mueller, E., Koehler, P., & Scherf, K. A. (2016). Applicability of salt reduction strategies in pizza crust. *Food Chemistry*, *192*, 1116–1123. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.066>
- Nickle, M., & Pehrsson, P. (2013). USDA Updates Nutrient Values for Fast Food Pizza. *Procedia Food Science*, *2*, 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2013.04.014>
- Nkhabutlane, P., du Rand, G. E., & De Kock, H. L. (2014). Quality characterization of wheat, maize and sorghum steamed breads from Lesotho. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *94*(10), 2104–2117. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6531>
- Noort, M. W. J., van Haaster, D., Hemery, Y., Schols, H. A., & Hamer, R. J. (2010). The effect of particle size of wheat bran fractions on bread quality - Evidence for fibre-protein interactions. *Journal of Cereal Science*, *52*(1), 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.003>
- Otles, S., & Ozgoz, S. (2014). Health effects of dietary fiber. *Acta*

Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria, 13(2), 191–202. Retrieved from

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24876314>

Pacheco de Delahaye, E., Jiménez, P., & Pérez, E. (2005). Effect of enrichment with high content dietary fiber stabilized rice bran flour on chemical and functional properties of storage frozen pizzas. *Journal of Food Engineering*, 68(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.048>

Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>

Pomeranz, Y., Shogran, M. D., Finney, K. F., & Bechtel, D. B. (1977). Fiber in breadmaking- effects on functional properties. *Cereal Chemistry*.

Prokopov, T., Goranova, Z., Baeva, M., Slavov, A., & Galanakis, C. M. (2015). Effects of powder from white cabbage outer leaves on sponge cake quality. *International Agrophysics*, 29(4), 493–500. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0055>

Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre del 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos.

Diario Oficial de la Unión Europea L 404, 9-25

- Rodríguez-Gutiérrez, G., Rubio-Senent, F., Lama-Muñoz, A., García, A., & Fernández-Bolaños, J. (2014). Properties of Lignin, Cellulose, and Hemicelluloses Isolated from Olive Cake and Olive Stones: Binding of Water, Oil, Bile Acids, and Glucose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(36), 8973–8981. <https://doi.org/10.1021/jf502062b>
- Sánchez-Zapata, E., Fuentes-Zaragoza, E., Fernández-López, J., Esther Sendra, E. S., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2009). Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk (“horchata”) byproducts and its physicochemical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7719–7725. <https://doi.org/10.1021/jf901687r>
- Sánchez-Zapata, E., Fuentes-Zaragoza, E., Viuda-Martos, M., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., & Pérez-Alvarez, J. A. (2012). Reclaim of the By-Products from “Horchata” Elaboration Process. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 954–963. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0486-2>
- Sánchez-Zapata, E., Muñoz, C. M., Fuentes, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Pérez-Alvarez, J. A. (2010). Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*,

85(1), 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>

Stanyon, P., & Costello, C. (1990). Effects of Wheat Bran and Polydextrose on the Sensory Characteristics of Biscuits. *Cereal Chemistry*, 67(6), 545–547.

Stojceska, V. (2011). *Dietary Fiber From Brewer's Spent Grain as a Functional Ingredient in Bread Making Technology. Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380886-8.10016-9>

Sudha, M. L., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>

Vázquez-Ovando, J. A., Rosado-Rubio, J. G., Chel-Guerrero, L. A., & Betancur-Ancona, D. A. (2010). Dry processing of chía (*Salvia hispanica* L.) flour: chemical characterization of fiber and protein. *CyTA - Journal of Food*, 8(2), 117–127. <https://doi.org/10.1080/19476330903223580>

Verdú, S., Barat, J. M., Alava, C., & Grau, R. (2017). Effect of tiger-nut (*Cyperus esculentus*) milk co-product on the surface and diffusional properties of a wheat-based matrix. *Food Chemistry*,

224, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.016>

Verdú, S., Vásquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A. J., Barat, J. M., & Grau, R. (2015). Physicochemical effects of chia (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science*, *65*, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.011>

Vitali, D., Dragojević, I. V., & Šebečić, B. (2009). Effects of incorporation of integral raw materials and dietary fibre on the selected nutritional and functional properties of biscuits. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.032>

Wang, N., Hou, G. G., Kweon, M., & Lee, B. (2016). Effects of particle size on the properties of whole-grain soft wheat flour and its cracker baking performance. *Journal of Cereal Science*, *69*, 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.010>

Zhang, D., & Moore, W. (1999). Wheat bran particle size effect on bread baking performance and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *79*(6), 805–809.

Zucco, F., Borsuk, Y., & Arntfield, S. D. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.007>

ANEXO

Tabla III.2. Propiedades fisicoquímicas de pizzas horneadas a diferentes tiempos con grosor de laminado 2,5mm

Harinas	Tiempo horneado	ΔM	Xw	Aw	Textura			Color			
					Fuerza	Area	L	a	b	WI	BI
HT	15	-0,15±0,13jkl	0,13±0,01h	0,77±0,04l	17,35±0,6defg	22,2±0,27efgh	74,7±0,23q	3,63±0,05a	26,83±0,33a	62,95±0,22r	46,51±0,64a
	20	-0,18±0,01fghi	0,12±0,01fg	0,69±0,05i	21,06±0,8fg	29,68±0,71ij	73,01±0,39p	4,67±0,26d	28,32±0,23efg	60,6±0,47q	52,05±1,1bc
	25	-0,19±0defghij	0,08±0b	0,61±0f	34,23±0ij	39,13±0klm	71,29±0o	6,08±0fg	29,79±0j	58,9±0op	60,53±0g
10% T	15	-0,14±0klmn	0,2±0n	0,86±0no	2,81±0,43a	4,31±1ab	67,83±0,97i	3,61±0,34a	28,14±0,26def	57,1±0,9lm	55,45±1,92e
	20	-0,18±0fghij	0,15±0i	0,78±0l	12,96±6,7cde	15,32±6,88cde	66,79±0,56h	6,28±0,12g	34±0,17n	52,06±0,29fg	74,7±0,55jk
	25	-0,2±0cdefghi	0,11±0e	0,65±0h	18,01±2,95efg	23,15±5ghi	65,11±0,12g	8,86±0,18k	37,81±0,66p	47,79±0,45b	91,75±2,1o
Trp	15	-0,12±0mn	0,22±0p	0,89±0pq	1,78±0,41a	2,68±0,51a	64,7±0,13g	4,52±0,13d	28,8±0,23ghi	54,21±0,06j	61,68±0,56g
	20	-0,19±0efghij	0,16±0k	0,82±0m	8,54±3,91abc	11,22±3,49bc	63,71±0,59f	7,61±0,07i	35,72±0,2o	48,51±0,29c	86,44±0,6n
	25	-0,21±0bcdef	0,08±0b	0,51±0d	15,65±5,65def	15,63±7cdef	62,2±0,36d	9,75±0,28l	37,78±0,51p	45,67±0,41a	98,85±1,98p
W	15	-0,13±0lmn	0,21±0o	0,87±0op	4,58±0,44ab	6,28±0,54ab	68,6±0,18kl	3,83±0,11a	29,27±0,17i	56,9±0,19l	57,55±0,49f
	20	-0,19±0efghij	0,21±0o	0,87±0op	4,72±0,86ab	6,33±1,37ab	68,52±0,15jkl	6,68±0,16h	34,19±0,27n	53,05±0,18hi	73,12±0,75ij
	25	-0,22±0bcde	0,16±0k	0,79±0l	17±5,07def	22,55±7,57efghi	68,23±0,11ijk	8,13±0,04j	35,82±0,14o	51,43±0,04e	79,57±0,24m
Wrp	15	-0,12±0mno	0,24±0q	0,9±0q	4,68±0,32ab	6,09±1,09ab	67,88±0,19ij	4,16±0,04b	30,42±0,08k	55,56±0,09k	61,5±0,1g
	20	-0,17±0ijkl	0,19±0m	0,85±0n	10,8±1,91bcd	13,94±2,78cd	66,4±0,33h	5,27±0,07e	31,98±0,2l	53,31±0,21i	68,63±0,56h
	25	-0,21±0cdefgh	0,17±0l	0,82±0m	20,97±4,37fg	22,64±6,17fghi	66,65±0,04h	6,74±0,05h	32,99±0,15m	52,61±0,09gh	72,69±0,39i
20% T	15	-0,08±0o	0,12±0g	0,72±0j	24,09±4,09gh	36,33±5,39jkl	61,54±0,79c	4,49±0,25cd	27,38±0,14bc	52,57±0,58gh	61,87±0,95g
	20	-0,17±0ghijk	0,11±0d	0,63±0g	38,17±3,27jk	34,33±4,88jk	62,9±0,78e	5,85±0,13f	32,83±0,55m	50,11±0,31d	76,98±0,75l
	25	-0,24±0bc	0,05±0a	0,31±0a	39,62±7,09jk	42,19±3,01lm	65,32±0,31g	6,89±0,3h	33,18±0,46m	51,51±0,23ef	75,37±1,24kl
Trp	15	-0,11±0no	0,29±0r	0,85±0n	3,46±0,58a	5,02±0,84ab	59,52±0,41a	5,53±0,09e	28,52±0,09fgh	50,18±0,39d	69,25±1,01h
	20	-0,18±0fghij	0,19±0m	0,79±0l	28,52±2,68hi	29,74±4,02ij	60,64±0,19b	5,91±0,18f	30,37±0,23k	49,94±0,16d	73,45±0,82ij
	25	-0,25±0b	0,08±0b	0,57±0e	34,61±5,28ij	29,25±4,21hij	63,71±0,16f	6,84±0,24h	30,49±0,52k	52,11±0,46g	70,29±1,88h
W	15	-0,17±0ghijk	0,14±0i	0,79±0l	42,01±4,11kl	17,75±6,07cdefg	69,03±0,17lm	3,85±0,11a	26,68±0,24a	58,93±0,23op	51,21±0,71b
	20	-0,23±0bcd	0,09±0c	0,42±0b	48,56±7,63lm	18,34±9,56cdefg	69,83±0,36n	4,13±0,09b	27,14±0,26ab	59,21±0,17p	51,78±0,4bc
	25	-0,31±0a	0,08±0b	0,43±0b	48,78±6,17lm	46,03±6,52m	70,77±0,21o	4,71±0,15d	27,85±0,08cde	59,35±0,19p	53,11±0,47cd
Wrp	15	-0,17±0hijkl	0,15±0j	0,81±0m	41,46±5,69k	23,1±1,59ghi	68,71±0,35kl	4,23±0,18bc	26,86±0,48a	58,54±0,58no	52,32±1,57bc
	20	-0,21±0cdefgh	0,12±0def	0,75±0k	52,94±5,28m	20,32±2,16defg	69,06±0,44lm	4,67±0,13d	27,64±0,22bcd	58,25±0,43n	54,24±0,93de
	25	-0,25±0b	0,08±0b	0,47±0c	69,75±5,24n	39,24±4,27klm	69,46±0,2mn	5,45±0,04e	28,85±0,2hi	57,64±0,21m	57,45±0,55f

Valores de propiedades fisicoquímicas de pizzas obtenidos después del proceso de horneado a diferentes tiempos; Aw actividad de agua; ΔM variación de masa; Xw humedad; L luminosidad; a y b coordenadas de color; WI índice de blancura; BI índice marrón. Todos los valores son promedio de grupos de datos. Los valores seguidos por letras distintas en columnas fueron significativamente diferentes P ≤ 0,05

Tabla III.3. Propiedades fisicoquímicas de pizzas horneadas a diferentes tiempos con grosor de laminado 1,8mm

Harinas	Tiempo horneado	ΔM	Xw	Aw	Textura			Color				
					Fuerza	Area	L	a	b	WI	BI	
HT	15	-0,15±0,13ijk	0,13±0,01op	0,77±0,04n	17,35±0,6bcde	22,2±0,27cdefg	74,7±0,23o	3,63±0,05b	26,83±0,33c	62,95±0,22o	46,51±0,64a	
	20	-0,18±0,01ghij	0,12±0,01n	0,69±0,05l	21,06±0,8def	29,68±0,71ghij	73,01±0,39n	4,67±0,26gh	28,32±0,23f	60,6±0,47n	52,05±1,1c	
	25	-0,19±0fghi	0,08±of	0,61±oi	34,23±0hijk	39,13±0jk	71,29±0m	6,08±oj	29,79±0g	58,9±0m	60,53±0fg	
10%	T	15	-0,14±0kl	0,17±0s	0,83±0p	10,15±5,8ab	13,2±6,85abc	68,11±0,2hi	3,09±0,19a	25,86±0,28b	58,83±0,27m	49,35±0,85b
		20	-0,2±0fg	0,15±0q	0,79±0no	19,35±6,44cde	23,32±8,02defg	67,82±0,61gh	4,25±0,13de	29,43±0,31g	56,18±0,66k	59,27±1,55f
		25	-0,24±0bcd	0,11±0l	0,63±0j	25,55±8,9efgh	34,74±11,22hijk	66,69±0,39f	7,42±0,2n	35,46±0,16m	50,79±0,38e	80,22±1,21m
Trp	15	-0,1±0l	0,2±0t	0,87±0q	2,17±0,51a	3,45±1,19a	66,22±0,63f	3,93±0,21c	27,65±0,06d	56,17±0,49k	56,33±0,88d	
	20	-0,21±0bcdefg	0,13±0o	0,75±0m	12,72±4,55bcd	17,89±4,56bcdef	65,3±0,3e	7±0,02m	33±0,23j	51,6±0,11f	75,03±0,33k	
	25	-0,25±0b	0,09±0ij	0,57±0h	29,25±4,81fghi	40,96±18,08k	65,01±0,12e	9,68±0,27p	35,91±0,56mn	48,94±0,52c	87,09±2,19o	
W	15	-0,19±0hijk	0,14±0p	0,82±0p	11,4004±4,38bc	14,81±5,37bcd	70,14±0,6kl	3,45±0,15b	27,8±0,25de	59,05±0,36m	52,22±0,62c	
	20	-0,18±0ghij	0,13±0o	0,74±0m	24,59±5,05efg	26,84±5,62fghi	69,7±0,37jk	4,63±0,1fg	31,26±0,18h	56,22±0,38k	61,96±0,92g	
	25	-0,25±0bcd	0,09±0gh	0,59±0i	39,97±4,76jkl	40,61±5,29k	69,75±0,3jk	6,35±0,3k	32,81±0,55ij	54,92±0,52ij	67,6±1,79i	
Wrp	15	-0,15±0jk	0,16±0r	0,8±0o	11,29±3,59bc	16,52±4,98bcde	67,61±0,15gh	3,97±0,12c	28,62±0,39f	56,6±0,34k	57,21±1,16d	
	20	-0,21±0defg	0,13±0op	0,74±0m	13,42±1,71bcd	17,86±2,33bcdef	68,57±0,11i	5,01±0,08i	31,4±0,24h	55,29±0,12j	64,05±0,55h	
	25	-0,23±0bcdef	0,1±0jk	0,6±0i	32,42±9,32ghij	42,77±8,89k	69,36±0,16j	6,62±0,13l	34,22±0,04kl	53,59±0,15g	71,96±0,46j	
20%	T	15	-0,2±0efg	0,1±0k	0,59±0i	40,41±5,47jklm	22,43±5,65cdefg	63,97±0,2d	4,02±0,04cd	27,71±0,26d	54,37±0,24hi	59,15±0,73ef
		20	-0,22±0bcdefg	0,06±0c	0,31±0d	45,21±3,93lm	36,71±3,54ijk	63,6±0,94cd	7,33±0,11n	32,4±0,3i	50,72±0,88e	76,43±2,3k
		25	-0,3±0a	0,04±0ab	0,1±0a	62,4±0op	43,19±0k	63,22±0bc	9,74±0p	36,37±0n	46,09±0b	93,22±0p
Trp	15	-0,21±0cdefg	0,09±0hi	0,55±0q	29,96±7,86ghi	26,33±4,65efgh	62,64±0,17b	4,96±0,12i	25,82±0,32ab	54,32±0,09h	57,01±0,73d	
	20	-0,21±0bcdefg	0,07±0d	0,42±0e	56,65±7,49no	36,45±7,95388hijk	61,67±0,28a	8,58±0,23o	31,67±0,35h	49,54±0,45d	78,98±1,75i	
	25	-0,25±0b	0,04±0b	0,28±0c	70,15±0p	44,54±0k	61,46±0a	10,21±0q	36,16±0n	43,61±0a	96,02±0q	
W	15	-0,19±0ghij	0,12±0m	0,67±0k	36,43±6,3ijk	11,23±4,17ab	70,55±0,15l	4,07±0,04cd	26,23±0,06b	60,35±0,09n	49,1±0,12b	
	20	-0,22±0bcdefg	0,07±0e	0,41±0e	42,51±6,25klm	13,65±4,24bcd	68,52±0,41i	4,4±0,11ef	28,45±0,26f	57,34±0,25l	56,35±0,62d	
	25	-0,24±0bcde	0,04±0b	0,17±0b	49,08±4,79mn	39,86±5,06k	63,39±0,27cd	8,66±0,17o	34,63±0,46l	48,86±0,44c	84,97±1,82n	
Wrp	15	-0,2±0fgh	0,12±0mn	0,68±0kl	35,38±7,58ijk	11,64±4,83ab	69,68±0,23jk	4,12±0,06cd	25,39±0,12a	60,24±0,25n	48,09±0,5ab	
	20	-0,25±0bc	0,09±0g	0,45±0f	39,8±7,77jkl	40,73±4,8k	67,48±0,38g	4,9±0,07hi	28,2±0,32ef	56,68±0,12k	57,41±0,5de	
	25	-0,25±0b	0,04±0a	0,17±0b	48,92±3,4mn	41,42±3,44k	63,74±0,31cd	8,66±0,1o	33,85±0,21k	49,64±0,21d	82±0,7m	

Valores de propiedades fisicoquímicas de pizzas obtenidos después del proceso de horneado a diferentes tiempos; Aw actividad de agua; ΔM variación de masa; Xw humedad; L luminosidad; a y b coordenadas de color; WI índice de blancura; BI índice marrón. Todos los valores son promedio de grupos de datos. Los valores seguidos por letras distintas en columnas fueron significativamente diferentes $P \leq 0,05$

CAPÍTULO IV

Impacto de la incorporación del coproducto procedente de la elaboración de horchata sobre el procesado de pan y su almacenamiento

Food and Bioproducts Processing (en fase de revisión)

Samuel Verdú, Cecibel Alava, Raúl Grau, José M. Barat

Versión adaptada para la tesis doctoral

Resumen

Se estudió el efecto de incluir el coproducto de horchata de chufa en el proceso de elaboración del pan. El impacto de tres niveles de sustitución de harina de trigo por coproducto (5%, 10% y 20%) se probó comparando con un control (pan de harina de trigo puro) en cuanto a cinética de fermentación y fase de horneado, así como sus implicaciones en las características fisicoquímicas de los panes producidos (estructura interna de la miga, distribución de humedad y textura) justo después del proceso de elaboración del pan y durante el almacenamiento.

La cinética de fermentación de la masa mostró diferencias significativas, reducción de la altura máxima a los 60 min y en su máxima tasa de crecimiento cuanto mayor es la concentración de coproducto. Sin embargo, la retención de agua en la fase de horneado fue la misma para todos a pesar de sus diferencias en volumen. Estos hechos afectaron significativamente la estructura interna de las migas, que se caracterizaron y clasificaron con éxito mediante una técnica de análisis de imagen.

Las relaciones humedad-estructura-textura de la miga se analizaron en dos zonas diferentes de rodajas transversales de pan. Los resultados mostraron cómo un nivel creciente de coproducto mejoró

la homogeneización de la distribución de humedad y la dureza a través de ambas zonas de migas, así también redujo las diferencias estructurales entre ellos. La humedad y la dureza presentaron altos niveles de correlación con cambios en la estructura de las zonas durante el almacenamiento, lo cual permitió conocer el efecto significativo del coproducto en las relaciones entre la humedad, estructura y la textura, tanto en el proceso de panificación como durante el almacenamiento.

Palabras claves: coproducto de horchata de chufa, fermentación cinética, miga, almacenamiento

1. Introducción

El aumento de la ingesta de fibra dietética es recomendado por las autoridades sanitarias dado que los hábitos de la dieta de la población se han desplazado a productos con alto contenido de grasa y carbohidratos refinados (Dhingra et al., 2012) que, a su vez, aumentan el aporte de calorías y conduce a una contribución nutricional deficiente (López-Azpiazu et al., 2003). Estos hábitos dietéticos contribuyen al riesgo de sufrir varias enfermedades de la salud, como la diabetes mellitus tipo II, la hipertensión, la obesidad y el cáncer de colon (Dorner & Rieder, 2004; Retelny et al., 2008).

Enriquecer el contenido de fibra de productos alimenticios con bajo contenido de fibra es una práctica extendida en la industria (panadería, bebidas, productos lácteos y cárnicos) porque mejora el aporte nutricional, proporciona productos de alto valor y contribuye a la competitividad. Sin embargo, estos productos deben cumplir las normas de etiquetado especificadas en el Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo sobre declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. En base a estas, para etiquetar "fuente de alimentos con fibra", un producto determinado requiere 3 g de fibra / 100 g de producto, mientras que 6 g de fibra / 100 g de producto son necesarios para "alimentos con alto contenido de fibra". No obstante, la incorporación de fibra en

productos de matriz preestablecidos induce cambios en la cadena de proceso y propiedades sensoriales, y con frecuencia el enriquecimiento con fibra, sin cambios importantes, no es suficiente para etiquetar las denominaciones antes mencionadas. En el caso del pan, las características más afectadas son aquellas relacionadas con las propiedades fisicoquímicas, tales como la humedad, las propiedades estructurales, comportamiento reológico, la conductividad térmica, retención de agua, los parámetros de textura, color, entre otros (Bortnowska et al., 2016). Por lo tanto, estudiar el impacto de la incorporación de fuentes de fibra en productos específicos con considerables dificultades debidas a las propiedades morfológicas y sensoriales, o las operaciones del proceso, es un área de experimentación importante.

En la industria alimentaria existe una marcada tendencia a recuperar de los productos secundarios por los valiosos compuestos contenidos en los desechos de procesamiento de alimentos que, en muchos casos, representan una rica fuente de fibra dietética. Estos coproductos se pueden convertir en productos rentables como materias primas para procesos secundarios (compuestos intermedios), suministros operativos o como ingredientes de nuevos productos (Sánchez-Zapata et al., 2009). En esta línea, el proceso de coproducto de la horchata de chufa (*Cyperus esculentus*) es una

excelente fuente de fibra dietética, que tradicionalmente está destinada a la masa orgánica para la combustión, el compostaje y la producción de alimentos. El coproducto es obtenido del procesamiento de la horchata de chufa, siendo la chufa un tubérculo del género de *Corsia sedge*, hierba perenne miembro de la familia de las gramíneas *Cyperaceae* (Ayeh-Kumi et al., 2014). El interés en desarrollar aplicaciones para este coproducto también radica en el hecho de que varias zonas geográficas de España, uno de los principales productores mundiales de horchata de chufa, generan grandes volúmenes de este producto. Por lo que, la producción de horchata de chufa genera alrededor del 60% del material vegetal cosechado (5,3 millones de kg de chufas secas en 2016), cuya gestión es otro problema para los productores. En varios estudios se han publicado datos sobre el impacto de este coproducto en algunas propiedades de los alimentos, como en salchichas de cerdo, hamburguesas y matrices basadas en trigo (Sánchez-Zapata et al., 2010; Sánchez-Zapata et al., 2013; Verdú et al., 2017), pero hay muy poca información sobre su efecto en el proceso de elaboración del pan. Existen algunos estudios sobre la incorporación de la chufa en la elaboración de pan y bollería, pero con la harina integral de tubérculos (Aguilar et al., 2014; Chinma et al., 2010).

Así, este trabajo tuvo como objetivo estudiar el impacto de incluir el coproducto de horchata de chufa en las fases principales del proceso de elaboración del pan (fermentación y horneado), sus implicaciones en las estructuras internas del pan y su relación con la distribución de humedad y las propiedades texturales durante el almacenamiento.

2. Materiales y Métodos

2.1. Harinas usadas

Los panes se procesaron mezclando harina de trigo con la harina de coproducto de horchata de chufa en tres niveles de sustitución, 5%, 10% y 20% p/p, en base seca (b.s.). Estos niveles de sustitución se seleccionaron de conformidad con el Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y el Consejo Europeo, de 20 de diciembre de 2006, sobre declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. Indica parámetros para "fuente de alimentos con fibra" que requieren 3 g de fibra / 100 g de producto y "alimentos con alto contenido de fibra" que requieren 6 g de fibra / 100 g de producto. Por lo tanto, la fórmula sustituida al 5% estaba de acuerdo con la primera denominación, la fórmula sustituida al 10% estaba de acuerdo con la segunda y se incluyó la fórmula sustituida al 20% para evaluar el comportamiento y la viabilidad de una mayor cantidad de

fibra en el proceso. Los porcentajes de sustitución se calcularon sobre la fracción de materia seca de la harina de trigo usada.

La harina de trigo refinada comercial se obtuvo de un productor local (Molí del Picó-Harinas Segura S.L. Valencia, España), cuya composición química era: proteínas $14,7\pm 0,6\%$, grasa $1,1\pm 0,03\%$, agua $14,5\pm 0,5\%$, y cenizas $0,32\pm 0,1$ (b.h.). Los parámetros alveográficos también fueron facilitados por el productor, siendo: $P = 94\pm 2$ (presión máxima (mm)), $L = 128\pm 5$ (extensibilidad (mm)), $W = 392\pm 11$ (fuerza (J^{-4})) y $0,73$ de P/L .

El coproducto de horchata de chufa se obtuvo de una planta local de fabricación de horchata de chufa, presentado como harina fibrosa húmeda. Este está compuesto por dos tipos de tejidos fibrosos molidos que se pueden diferenciar desde un punto de vista microscópico (Figura IV.1). El primero tiene tamaño de partícula más grande ($>800\mu\text{m}$), color marrón, similar al salvado de grano, y es proporcionado por el peridermo (piel) y la corteza del tubérculo (Figura IV.1-A y 1-C). Es la fracción leñosa típica caracterizada por alto contenido de lignina, entre otros polímeros insolubles (Donaldson, 2001). El segundo tipo tiene tamaño de partícula más pequeño ($<800\mu\text{m}$), blanco (Figura IV.1-B) y es proporcionado por los tejidos internos del tubérculo, como perimédula y médula. De apariencia similar al algodón, su composición se basa en carbohidratos

insolubles como celulosa, hemicelulosa y almidones no digeribles (Habibi et al., 2009).

Para obtener harina, el coproducto total (Trp) se secó llegando al 14% de humedad (b.h.), se molió en una trituradora de acero inoxidable (Retsch GmbH, ZM 200, Haan, Alemania) hasta $271,1 \pm 8,1 \mu\text{m}$, expresada como el volumen total medio de partículas de harina analizada (D [4, 3]). Finalmente, la composición aproximada fue proteínas $1,9 \pm 0,7\%$, grasa $13,3 \pm 0,1\%$, agua $14,1 \pm 0,4\%$, ceniza $1,86 \pm 0,1$ y fibra dietética total $68,2 \pm 0,4\%$ (b.h.). La composición aproximada se analizó en base a los estándares 110/1, 156, 136, 105/2 y 104/1 de la ICC (International Association for Cereal Science and Technology) para agua, fibra dietética, grasa, proteína y ceniza, respectivamente.



Figura IV.1. Imágenes aumentadas de los tejidos contenidos en el coproducto de la horchata de chufa. **A:** fragmento del tejido externo del coproducto; **B:** fragmentos de los tejidos internos del coproducto; **C:** ambos tipos de tejidos.

2.2. Procesado de la masa de pan

La formulación utilizada para preparar la masa modelo se basó en Verdú et al. (2017), siendo la siguiente: 57% de harina (harina de trigo puro como control, o mezcla de harina de trigo con coproducto de horchata de chufa), 2% de aceite de girasol refinado (máxima acidez 0,2° Koipesol Semillas, SL, España), 2% levadura biológica comercial prensada (*Saccharomyces cerevisiae*, Lesafre Ibérica, S.A., España), 4% azúcar blanca ($\geq 99,8\%$ sacarosa, Azucarera Ebro, S.L., España), 1,5% sal (sal marina refinada $\geq 97\%$ NaCl, Salinera Española S.A., España) y agua añadida 33,5% (p/p). No fue necesario modificar el porcentaje de agua agregado porque ambas harinas presentaron la misma humedad en el momento en que se produjo la masa.

La masa de pan se hizo de acuerdo con un proceso cerrado, sin modificaciones entre las fórmulas. Este proceso fue seguido por la mezcla de todos los ingredientes en un mezclador de alimentos (Thermomix® TM31, Vorwerk, Alemania) según este método:

1. Los componentes líquidos (agua y aceite), azúcar y NaCl se mezclaron durante 4 minutos a 37°C.
2. La levadura prensada se añadió para mezclarla a la misma temperatura durante 30 segundos.

3. La harina se agregó a la mezcla previa con los otros ingredientes. La función espiga del equipo (550 rpm) se activó durante 4,5 minutos a 37°C, para mezclar los ingredientes con giros aleatorios de la hélice del mezclador en ambas direcciones, obteniendo una masa homogénea.
4. Finalmente, se colocaron 450 g de masa en el molde metálicos (8x8x30 cm) para la fermentación, siendo la altura de la masa dentro de este de aproximadamente $1\pm 0,1$ cm.

De cada formulación se realizaron 10 panes los cuales fueron analizados.

2.3. Fase de Fermentación

La fase de fermentación se llevó a cabo en una cámara con temperatura y humedad controlada (KBF720 Binder Tuttlingen, Alemania). Las condiciones utilizadas fueron 37°C y 90% de humedad relativa (HR) durante 60 minutos.

La cinética de crecimiento de las masas se controló mediante un dispositivo medidor de distancia láser (BOSCHGLM 50, 1,5 mm de precisión, un diodo láser de 635nm) ajustado y calibrado dentro de la

cámara. La altura fue medida en el centro de la masa tomando las dimensiones del molde de metal (base ancha y larga) como referencia. El comportamiento de la masa durante la fermentación se modeló usando el modelo de predicción Gompertz adaptado. Dicha función de Gompertz es una función de crecimiento sigmoide no lineal desarrollada por Gompertz (1825) para calcular la tasa de mortalidad de microorganismos. La ecuación es la siguiente:

$$H = \alpha \cdot \exp\left(-\exp\left(\frac{V}{\alpha} \cdot (Lt - t) + 1\right)\right) \quad (1)$$

Donde H es la altura calculada, t es un tiempo dado, α altura real durante el proceso en un momento dado, V tasa máxima de crecimiento, y Lt es tiempo de latencia antes que comience el desarrollo de la masa. Los parámetros del modelo se determinaron mediante un procedimiento de regresión no lineal y se obtuvieron al minimizar la suma de los cuadrados de los errores de predicción.

2.4. Fase de horneado

El proceso de horneado se llevó a cabo al final de la fermentación. Los moldes de metal se colocaron individualmente en el centro del horno (530x450x340, potencia de la parrilla 1200W, volumen interno 32L, asador, DeLonghi, Italia), previamente precalentado a 180°C. El

tiempo de horneado fue de 35 minutos. Una vez terminada esta operación, los panes se enfriaron durante 30 minutos en condiciones ambientales (25°C/ 70% HR).

En esta fase también se calculó la variación de masa. Para ello, el horno se situó sobre una báscula con un decimal de precisión. Las mediciones de la pérdida de masa de las muestras se registraron cada 5 minutos y por triplicado.

La pérdida de masa para cada muestra se calculó en base a la siguiente ecuación:

$$\Delta M = \frac{m_t - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (2)$$

Donde ΔM es la variación de masa en % en un momento dado, m_t es la masa de la muestra al final del tiempo de enfriamiento y m_0 es la masa inicial de la muestra antes de hornear.

2.5. Almacenamiento

Los panes refrigerados se empacaron en bolsas de polietileno de baja densidad, similar a la utilizada en presentaciones comerciales, y se almacenaron en condiciones ambientales (23°C y 72% de HR, aproximadamente) (Verdú et al., 2015). Se llevaron a cabo

determinaciones analíticas, como humedad, textura y capturas de imágenes de migas, durante 0, 3 y 6 días de almacenamiento, respectivamente. Se produjeron diez panes por fórmula y se analizaron cinco rebanadas de cada zona central de pan.

2.6. Determinaciones analíticas de los panes

2.6.1. Volumen específico

Los volúmenes específicos de las muestras de pan se midieron por el método de desplazamiento de semilla de mijo (Método AACC 10-05.01). El volumen específico (S_v) se calculó como la relación entre el volumen (ml) y el peso del pan (g) a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen específico} = \frac{m_D / \rho_P}{m_F} \quad (3)$$

Donde m_D es la masa de las partículas desplazadas, ρ_P es la densidad de dichas partículas, y m_F es la masa del pan frío. Los incrementos en el volumen específico en comparación con el control (ΔS_v) también se calcularon como %.

2.6.2. Humedad

El contenido de humedad (X_w) del pan entero y los cubos de migas de las zonas A y B (Figura IV.2) se determinaron de acuerdo con la

norma ICC 110 (International Association for Cereal Science and Technology).

2.6.3. Análisis de perfil de textura

Las propiedades de textura se analizaron en las zonas A y B, que corresponden en una rebanada de pan a las zonas superior e inferior respectivamente. Los análisis de perfil de textura (TPA) se realizaron tomando cubos de 1,5x1,5 cm de las zonas A y B. Los ensayos se realizaron en un analizador de textura TA-TX2 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido). Se usó una celda de carga de 25 kilogramos y una sonda de 35 mm de diámetro. La velocidad del ensayo se fijó en 1,7 mm/s para comprimir los cubos de migas al 50% de su altura anterior. El tiempo entre las compresiones fue de 5s. El parámetro estudiado fue la dureza (D) principalmente, incluyéndose el resto de los parámetros de TPA en la Tabla anexada IV.2 (cohesividad (Co), gomosidad (G), masticación (Ch), elasticidad (E) y resiliencia (R)). Para cada fórmula se analizaron cinco muestras de pan.

2.6.4. Análisis de imagen de la miga

Con el fin de estudiar los cambios producidos en las estructuras de las migas de pan debido a la inclusión del coproducto, se obtuvieron imágenes 2D de rebanadas de las muestras de 1,5 cm de espesor de la zona central del pan. El sistema de captura fue una cámara web HD

C615 (Logitech) fijada a una estructura rígida a 20 cm de la muestra, y una lámpara LED IP20 5W como sistema de iluminación. En la escena de captura de la cámara se colocó un material negro mate para reducir los reflejos en la cámara. Así, la cámara tomó imágenes RGB de alta calidad (3264×2448 píxeles) en formato JPEG (Figura IV.2A). Posteriormente, Las imágenes se procesaron mediante la adaptación del método descrito por Zheng et al. (2011). Este método aplica el análisis fractal para evaluar patrones de estructura complejos presentados en cada imagen y para obtener información sobre sus posibles modificaciones. El procedimiento básico fue:

1. Las imágenes se convirtieron a *escala de grises* (8 bits).
2. Cada imagen fue umbralizada y segmentada para cada valor de gris entre 0 (extremo negro) y 255 (extremo blanco) (Figura IV.2B).
3. La información fractal se basó en el parámetro de dimensión fractal (F_d), que se obtuvo mediante el método de conteo de cajas (Cross, 1997; Fan, Hatzikiriakos, & Avramidis, 1999; Russ & Sapoal, 1994). Este se calculó para cada valor gris de cada imagen. El cálculo consiste en dividir las imágenes en subcajas cuadradas con una longitud variable (ϵ). El número de ϵ de este estudio fue 10. ϵ se expresó en % del ancho de la imagen, siendo los diez porcentajes utilizados los siguientes: 0,5, 5, 10,

15, 20, 25, 30, 35, 40 y 50. Posteriormente, se calculó N_ϵ , el cual representa el número de cajas que contienen píxeles para cada ϵ . La relación entre ϵ y N_ϵ se describe mediante la siguiente ecuación:

$$\log N_\epsilon = -F_d \cdot \log \epsilon + a \quad (4)$$

Donde a es la constante, y F_d es la dimensión fractal de la imagen estudiada. Entonces F_d es la pendiente de la línea de regresión obtenida (De Melo & Conci, 2013).

Así pues, se obtuvo un espectro F_d de cada imagen (Figura IV.2C). Cinco rebanadas de cada zona central de cada uno de los 10 panes por formulación fueron analizadas.

Las imágenes también se usaron para extraer de las dos zonas de miga. Esas zonas fueron la zona superior (A) y la zona inferior (B), y cada una se seleccionó como el área recogida dentro del 50% de la altura de la rebanada. El análisis de imagen fractal se llevó a cabo utilizando la aplicación FracLac para ImageJ creado por Karperien (2013).

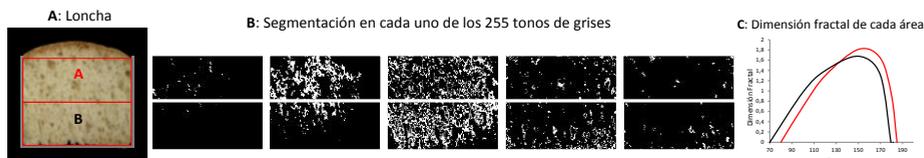


Figura IV.2. Un ejemplo de procesamiento de imágenes. **A:** imagen de una loncha control. **B:** imágenes segmentadas que muestran patrones de estructura de migas cubiertas en diferentes valores de gris. **C:** El diagrama muestra el espectro obtenido de una dimensión fractal de cada imagen.

2.7. Análisis estadístico

Los datos de propiedades de fermentación y horneado del pan fueron estudiados por un análisis estadístico de varianza de un factor (ANOVA) utilizando para ello el programa informático “Statgraphics Centurion” (versión Centurion XVI.I, StatPoint Technologies, Inc.). En aquellos casos con un efecto significativo (valor $P < 0,05$), el promedio se comparó con la diferencia mínima significativa Fisher LSD.

El estudio de las estructuras de las migas de pan se realizó con los datos del análisis fractal de las imágenes de las migas, utilizando el análisis de componentes principales (PCA) y máquinas de vectores de soporte (SVM) para la regresión (SVM-R). El PCA es un método estadístico multivariante no supervisado que se utiliza para describir y reducir la dimensionalidad de un gran conjunto de variables cuantitativas a un pequeño número de variables nuevas,

denominadas componentes principales (PC_s), que son el resultado de combinaciones lineales de las variables originales. SVM es una metodología de aprendizaje supervisado basada en la teoría del aprendizaje estadístico, que se utiliza comúnmente para el análisis de datos espectrales (Boser et al., 1992).

PCA se usó para estudiar las diferencias entre las estructuras de las migas de las rebanadas enteras (Figura IV.4) y sus zonas aisladas (Figura IV.7), mientras que SVM se aplicó para estudiar la relación entre la estructura de la miga, la humedad y las propiedades texturales de las dos zonas de corte durante el almacenamiento, evaluados mediante los coeficientes de calibración (R^2) y el error cuadrático medio (RMSE).

Los procedimientos se realizaron con PLS Toolbox, 6.3 (Eigenvector Research Inc., Wenatchee, Washington, EE.UU.), una extensión de caja de herramientas en el entorno de cómputo Matlab 7.6 (The Mathworks, Natick, Massachusetts, EE.UU.).

3. Resultados y discusión

3.1. Fase de fermentación

El impacto de la presencia del coproducto en la fase de fermentación se estudió en base al análisis de la cinética de evolución de la altura de la masa mientras duró esta operación. Los datos recopilados y los modelos ajustados se representan en la Figura IV.3, y los parámetros generados de Gompertz se presentan en la Tabla IV.1 (*fase de fermentación*). Las curvas incluidas en esta figura muestran la altura máxima a los 60 minutos para la fórmula de trigo puro, la cual va disminuyendo al incrementar el nivel de sustitución con el coproducto. No se encontraron diferencias en los niveles de sustitución del 5% y 10% que alcanzaron alrededor del 77,4% de la altura máxima (H_{max}) del control, mientras que para el 20% de sustitución fue significativamente menor (65,2%) (Tabla IV.1). Por otra parte, no se observaron diferencias de velocidad (V_H) para las fórmulas sustituidas, mientras que el control presentó la mayor diferencia. Respecto al tiempo latente ($L_{t H}$) fue máximo para 10% y 20%, seguido de 5% y el control sin diferencias.

La reducción observada en la capacidad de retención de gas de las masas se le atribuye principalmente a dos causas: 1. la falta de gluten debido a la sustitución de la materia seca de la harina de trigo; 2. las

interferencias producidas en la formación óptima de la red de gluten por las partículas del coproducto, causas observadas también en los capítulos anteriores.

La presencia de fibra insoluble en la masa limita el aire que se incorpora a la matriz durante el mezclado, seguida de la nucleación de las burbujas, así como de la retención de CO₂ producida por la levadura en la fase de fermentación (Martínez et al., 2014). Estas diferencias observadas deben tenerse en cuenta por la implicación en los cambios estructurales de las matrices de masa, lo que podría afectar a sus propiedades térmicas dadas las diferencias en la fracción de gas y por tanto en la fase de horneado y en el pan final.

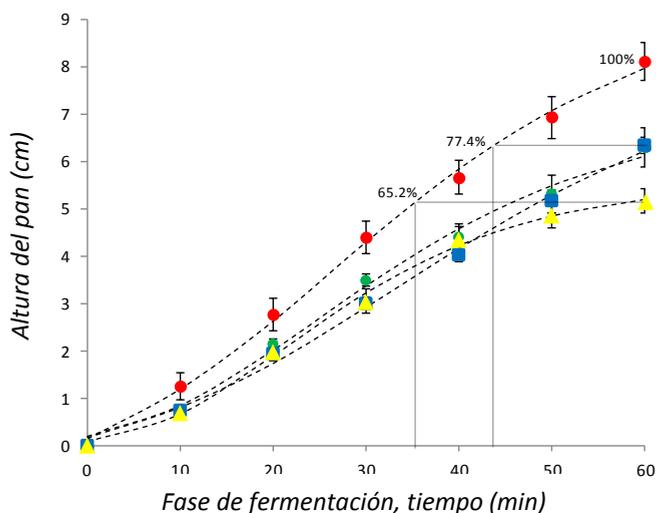


Figura IV.3. Cinética de evolución de la altura de la masa durante el tiempo de fermentación. Los puntos marcan los promedios de los datos observados y las barras indican desviación estándar. Las líneas discontinuas marcan el modelo ajustado por la ecuación de Gompertz. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo. Los valores en la curva del control indican el porcentaje de su altura máxima alcanzada por las fórmulas sustituidas.

Tabla IV.1. Resultados de la evolución de la masa durante las fases de fermentación, horneado y temperado

Sustitución (% b.s)	Fase de fermentación			Fase de horneado ΔM (%)	Determinaciones analíticas de panes				Coeficientes de correlación			
	H_{max} (cm)	V_H (cm/min)	L_{TH} (min)		S_v (cm ³ /g)	ΔS_v (%)	X_w (g/g)	X_w/S_v (g/cm ³)	Xw		D	
								R ²	RMSE	R ²	RMSE	
0	7,9±0,3c	0,45±0,01b	4,5±0,09a	0,13±0,01a	3,38±0,38c		0,35±0,008a	0,10±0,01a	0,982	0,002	0,984	0,45
5	6,1±0,4b	0,37±0a	5,3±0,1a	0,13±0,01a	2,97±0,16b	12,3	0,36±0,009a	0,12±0,01b	0,988	0,001	0,971	0,13
10	6,2±0,1b	0,34±0,01a	6,7±0,6b	0,12±0,01a	2,88±0,18b	14,9	0,36±0,001a	0,12±0,01b	0,971	0,002	0,971	0,69
20	5,1±0,2a	0,37±0a	6,2±0,5b	0,13±0,01a	2,06±0,4a	39	0,36±0,011a	0,17±0,02c	0,989	0,007	0,986	0,65

b.s.: base seca; Fase de fermentación: H_{max} : altura máxima (60 min), V_H : tasa de crecimiento máxima; L_{TH} : tiempo de latencia antes del desarrollo de la masa. Fase de horneado: ΔM : incremento de la masa al final de temperado del pan (30 min después de la fase de horneado). Determinaciones analíticas de panes: S_v : volumen específico de panes; ΔS_v : incremento del volumen específico comparado con el pan control; X_w : humedad de pan entero g agua/g de pan entero (corteza y miga); X_w/S_v : relación (ratio) de agua retenida por unidad de volumen específico. Coeficiente de correlación: coeficientes de calibración R²; error cuadrático medio RMSE. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas P≤0,05

3.2. Fase de horneado

Durante esta fase, la masa fermentada experimentó un aumento de la temperatura, por lo que el gas retenido se expandió y la masa varió principalmente debido a la pérdida de agua. Estos fenómenos generaron cambios en la matriz que transforma la masa fermentada en pan a través de la desnaturalización de proteínas y gelatinización de almidón, entre otros. Estos factores tienen un gran impacto en la estructura interna del producto, así como en su textura.

Por otra parte, la variación de la masa (ΔM) se calculó al final del tiempo de enfriamiento después de la fase de horneado (Tabla IV.1). A pesar de que el coproducto tuvo un impacto significativo en la cinética de fermentación en los términos de reducción de la altura del pan (H_{\max}), no se observaron diferencias en la variación de la masa. Los panes terminaron esta fase con la misma pérdida de masa y con la misma humedad (X_w) (Tabla IV.1). Ninguna formulación mostró diferencias en la variación de masa (ΔM_f), siendo esta de alrededor del 13% para todos los casos. Entonces, aunque el coproducto afectó directamente la capacidad de retención de gas de la masa en la fase de fermentación, la variación de la masa en la fase de horneado no se vio afectada por la modificación de la morfología de la masa (altura).

3.3. Determinaciones analíticas de panes

3.3.1. Volumen específico

Una vez que los panes se enfriaron, se midió el volumen específico (S_v), el incremento en el volumen específico en comparación con el control (ΔS_v) y la humedad (X_w). La Tabla IV.1 indica los resultados (*Determinaciones analíticas de panes*). Las diferencias en los volúmenes específicos estuvieron de acuerdo con las alturas de las masas medidas al final de la fase de fermentación. Cualquier cambio que tenga lugar durante el horneado no tuvo ningún efecto en este sentido. Las muestras control alcanzaron el S_v máximo, seguidos de valores iguales para los coproductos del 5% y 10%. Finalmente, el coproducto del 20% presentó agotamiento máximo y perdió el 39% del volumen respecto al control (ΔS_v).

Este comportamiento coincide con otros estudios (Noort et al., 2012; Curti et al., 2013) que han estudiado el efecto de la fibra insoluble y salvado en fórmulas de pan enriquecido con fibra dietética.

3.3.2. Humedad

La humedad (X_w) no presentó diferencias, pero siguió la misma tendencia que el incremento de la masa al final del horneado (ΔM). Sin embargo, el coproducto produjo un aumento significativo en la

retención de agua por unidad de volumen específico (X_w/S_v) (Tabla IV.1). La fracción menor de gas en las fórmulas sustituidas debería haber favorecido el transporte de calor y por tanto la pérdida de agua. Sin embargo, la retención de agua del coproducto pareció compensar este hecho. Como conclusión general, el coproducto afectó la capacidad de retención de gas, pero no la retención de agua, durante el procesamiento, a pesar de las implicaciones que tienen las características morfológicas de la masa durante el tratamiento térmico en el proceso de horneado.

3.3.3. Estructura de la miga

El efecto del coproducto en la estructura de la miga de los panes se evaluó mediante un análisis fractal de sus imágenes. La matriz de datos multivariable generada basada en espectros fractales se usó para evaluar diferencias entre fórmulas a través del método *PCA*.

El grado de diferenciación entre las fórmulas se estudió mediante la observación de las puntuaciones generadas a partir de los dos primeros componentes principales (PCs) y su distribución a través del espacio *PCA* (Figura IV.4). Las puntuaciones se distribuyeron en cuatro grupos distintos, que presentaron diferentes coordenadas según la fórmula. El control tuvo una posición separada del resto, incluso del 5% (cuadrante PC1 negativo). Sin embargo, 10% y 20%

aparecieron en una posición diferente para PC2, pero igual dirección en PC1 (cuadrante PC1 positivo).

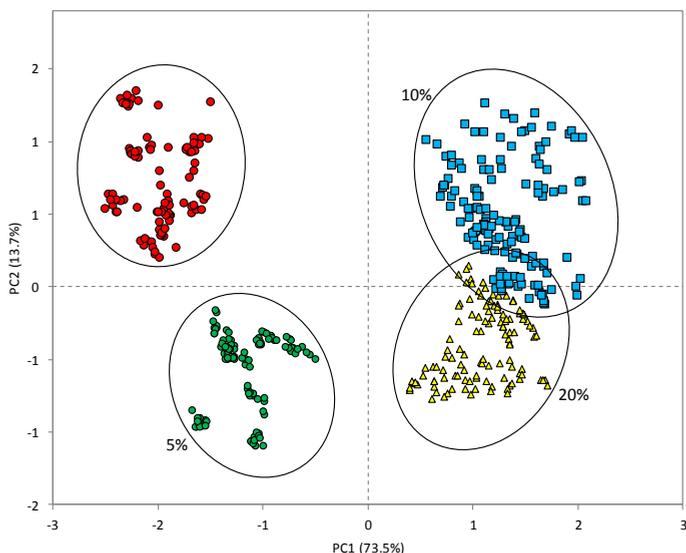


Figura IV.4. Espacio PCA generado a partir de los espectros fractales de migas. Las circunferencias incluyen cada fórmula. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo.

El posicionamiento de las fórmulas evidenció diferencias entre las estructuras de las migas, aunque tendieron a reducirse con un incremento o una proporción de coproducto. Para evaluar qué zona de la miga es responsable de estas diferenciaciones, se calcularon las cargas de cada variable original (valores de gris) en las cargas de PC

(PC-loadings) y se seleccionaron los picos principales. Los valores de gris seleccionados (PC1 = 120-130 tono gris, PC2 = 150 tono gris) se utilizaron para segmentar las imágenes originales y observar así las zonas de influencia para PC1 (área blanca) y PC2 (área roja) (Figura IV.5).

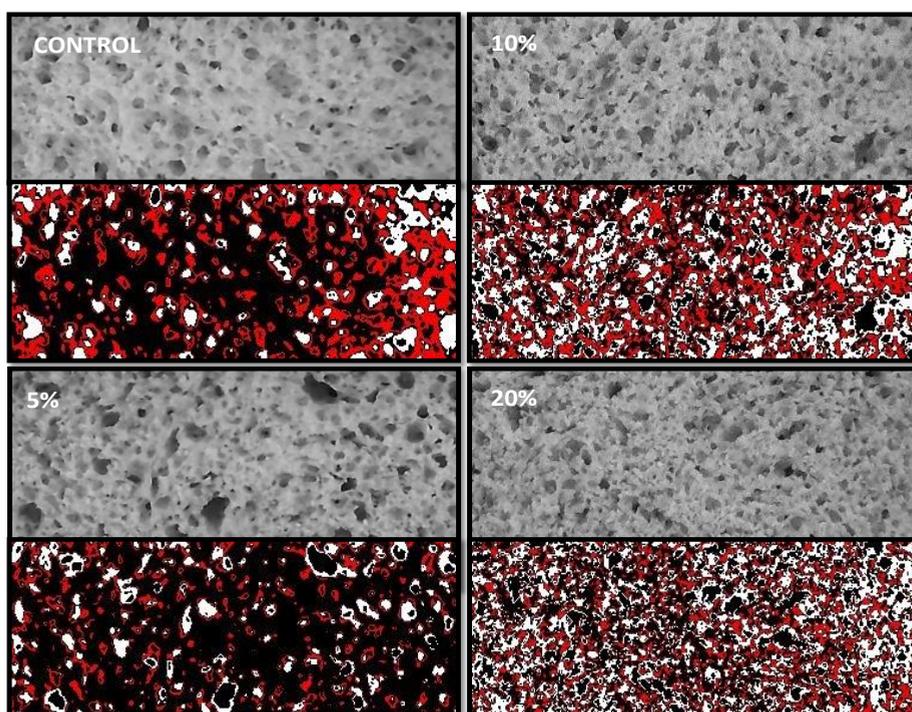


Figura IV.5. Ejemplos de las imágenes segmentadas de migas basadas en los valores grises con cargas máximas en la explicación de la varianza (loadings) de PCA en la Figura IV.4. Área blanca: valores grises de *PC1* seleccionado; Área roja: valores grises de *PC2* seleccionado.

Los diferentes tipos de panes en la Figura IV.5 se situaron siguiendo el espacio *PCA* (Figura IV.4). Entre la distribución de las áreas coloreadas, fue difícil notar visualmente la diferencia entre el control y el 5%, pero con las del 10% el cambio en las estructuras fue muy marcado. Además, 10 y 20% presentaron un fuerte incremento de la homogeneidad en la distribución de la estructura en comparación con el resto, para ambas áreas coloreadas. El coproducto pareció afectar la formación de burbujas debido a la interrupción de las paredes de burbujas y el tamaño de las burbujas. Estas observaciones coinciden y explican la reducción de la retención de gas previamente observada en la fase de fermentación.

La principal hipótesis sobre las diferencias observadas fue que las estructuras de las migas se vieron afectadas por la presencia del coproducto, lo que causó alteraciones en la formación de una red de gluten óptima. Estas interrupciones no fueron solo causas físicas, como los efectos fisicoquímicos previamente reportados de las fibras añadidas en las relaciones gluten-almidón-agua. La principal disrupción fue la competencia de la fibra por el agua, que causó alteraciones en la correcta dilución e hidratación de los componentes del trigo en la fase de mezclado, y por lo tanto generando estructuras anómalas (Wang et al., 2002).

Este fenómeno se observó mejor a través de las micrografías de las estructuras de matriz de migas. Algunos ejemplos se muestran en la Figura IV.6. Como se puede observar, las partículas de coproducto se solaparon en la estructura de la matriz, lo que afecta la continuidad de las paredes de las burbujas. Martínez et al. (2014) también publicó imágenes sobre el impacto de las fibras insolubles en las estructuras de la masa del pan, que parecían casi inalteradas en la matriz de la masa, llegando a ser más redondeadas dada la presencia de gránulos de almidón, que daban lugar a estructuras irregulares.

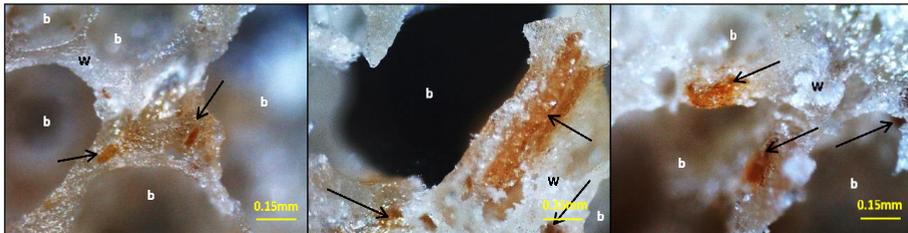


Figura IV.6. Micrografía de la estructura de migas de pan que contenían coproducto de la horchata de chufa. b: burbuja; w: paredes de matriz / burbujas; las flechas negras indican la presencia de partículas de coproducto.

El coproducto afectó al volumen y a las estructuras de las migas, pero no la pérdida de masa. Este hecho implica que la distribución del agua en la matriz de la miga también debería verse afectada ya que el

volumen específico presentaba diferencias significativas. Para estudiar la relación entre humedad y estructura de las migas con sus propiedades, se estudió la distribución de humedad en las migas del pan en las dos zonas, A y B, que corresponden a las zonas superior e inferior de las rebanadas de pan respectivamente.

Los resultados se presentan en la Figura IV.7 (líneas continuas, roja y negra). Las zonas de las migas (A y B) presentaron diferentes humedades para la fórmula control y 5% de coproducto. Estas diferencias fueron pequeñas después de incrementar el % del coproducto. El 20% del coproducto tuvo los valores de humedad más cercanos y más altos para ambas zonas. Los modelos de las zonas mostraron diferentes pendientes en función del nivel de sustitución de coproducto; la humedad de todas las zonas B fue de 0,39-0,40, mientras que las zonas A tuvieron diferentes valores que variaron de 0,36 para el control a 0,40 para el coproducto al 20%.

Después de observar estas diferencias en las humedades de las zonas de las migas, se estudió su relación con las estructuras de las migas probando las diferencias entre las estructuras de las zonas de migas A y B por separado. Con este fin, se realizaron estudios únicos de PCA (cuatro PCAs), pero tomando la información de las zonas A y B como categorías separadas dentro de cada fórmula.

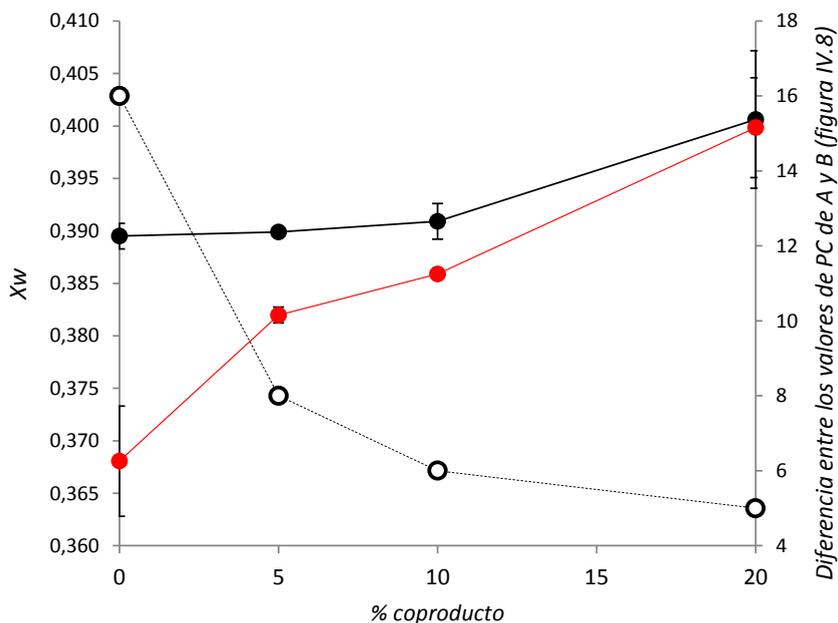


Figura IV.7. Comparación de las estructuras de migas de las zonas de corte A y B. Línea roja: humedad (X_w) de las zonas A; Línea negra: humedad de las zonas B; circunferencias y línea negra discontinua: diferencias entre los valores medios de PC1-score de las zonas de migas observadas en las PCAs individuales de la Figura IV.8, líneas de puntos verdes.

Los espacios de PCA generados son representados en la Figura IV.8. Este estudio revela cómo las zonas se separaron perfectamente en PC1 para la fórmula de control, reduciéndose la distancia entre ellas con el incremento del coproducto. Para cuantificar este fenómeno, se calculó la diferencia entre los valores promedio de las puntuaciones

de PC1 de la dimensión fractal por cada zona A y B (líneas de puntos verdes, Figura IV.8) y se trazaron en el segundo eje de la Figura IV.7 (línea negra discontinua), comparando su evolución con la humedad.

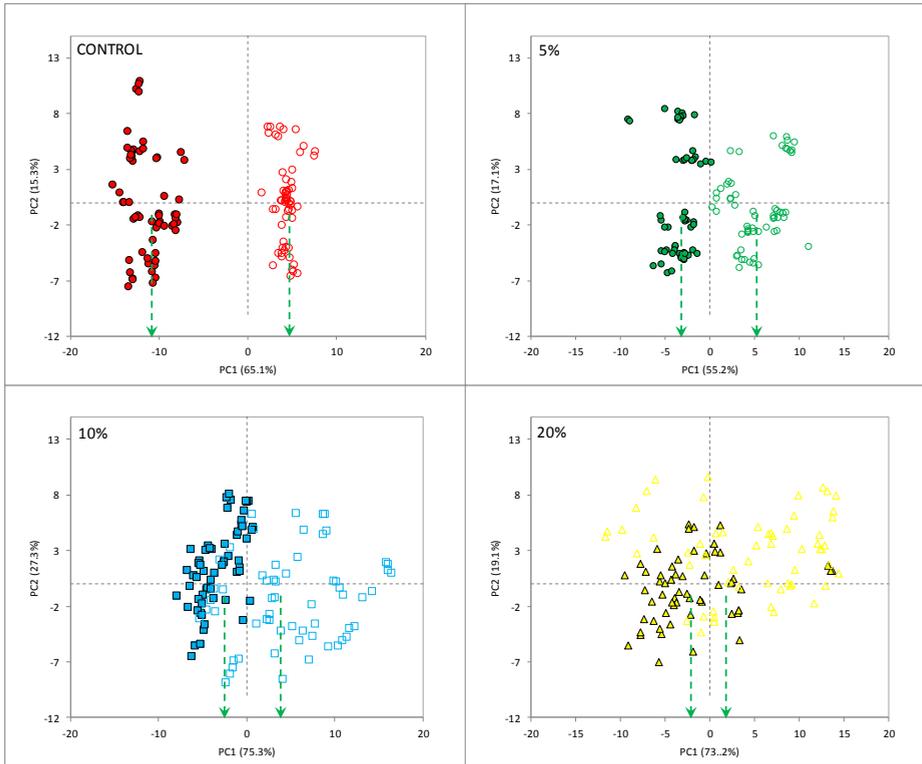


Figura IV.8. Los espacios únicos de PCA generados a partir de los espectros fractales de las zonas A (símbolos rellenos) y B (símbolos sin relleno) de cada fórmula. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo. Las líneas de puntos verdes indican los puntajes promedio de PC1.

Los resultados mostraron cómo las diferencias de humedad entre las zonas A y B se redujeron después del incremento en el porcentaje de coproducto, mientras que las diferencias en los PC1 A y B se redujeron al mismo tiempo.

De acuerdo con estos resultados, el efecto de coproducto condicionó tanto la distribución de la humedad como las diferencias en las estructuras dentro de las migas. Así, una reducción en el volumen produjo la homogeneización de la humedad a través de las migas de pan y, de igual manera, una reducción en las distancias dentro de los espacios PCA, interpretada como una reducción en las diferencias de estructuras entre ellos.

Por otra parte, la inclusión del coproducto indujo a cambios en las características del pan, lo que provocó diferencias en la distribución de la humedad de la miga y en las estructuras. Aunque la estructura y la distribución de la humedad parecían estar relacionadas, fue necesario reducir la escala del análisis de la estructura de la miga para que se evidenciara. En este sentido, el impacto del coproducto en la estructura de la miga condicionó la distribución de la humedad dentro de cada pan, pero no la humedad total del pan dada que esta fue igual en todos. Esta conclusión es importante para comprender el comportamiento de los panes durante el almacenamiento.

3.4. Almacenamiento de panes

El impacto del coproducto sobre la estructura de la miga y su efecto sobre la distribución de humedad durante el almacenamiento del pan se evaluó a los días 0, 3 y 6 de almacenamiento. La Figura IV.9 muestra los resultados de la pérdida de agua de los panes enteros durante el almacenamiento, siendo esta pérdida menor al incrementar el nivel de sustitución.

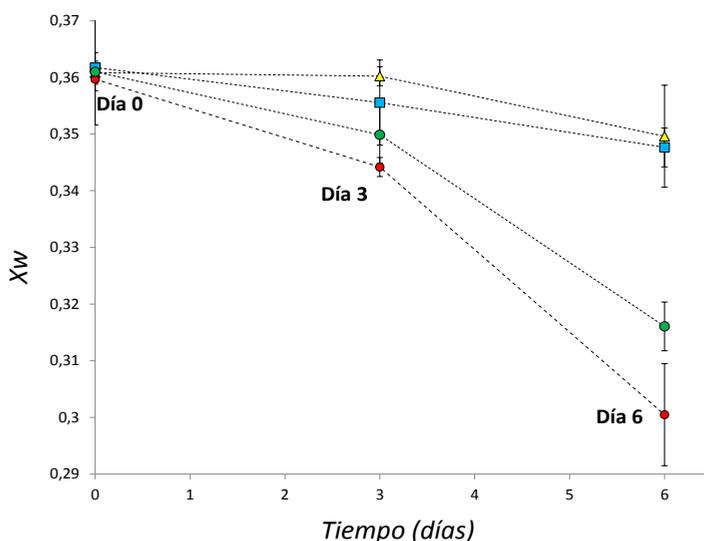


Figura IV.9. Evolución de la humedad de los panes enteros durante el tiempo de almacenamiento. Los puntos marcan los promedios de los datos observados y las barras indican las desviaciones estándar. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo.

El coproducto confirió a los panes una alta retención de agua, lo cual se observó en el día 3. El día 6, la humedad de los panes con el 20% del coproducto fue de alrededor del 35%, mientras que el control tuvo un 30%. Este comportamiento fue similar al de la mayoría de los salvados de cereales y otras fuentes de fibra que se incorporan a las masas de pan. Para comprender este efecto, se evaluó la evolución de la humedad y la estructura en las zonas A y B de las migas, siguiendo los mismos métodos anteriores y añadiendo la textura. La Figura IV.10 muestra la evolución de la dureza versus la humedad de ambas zonas de las migas.

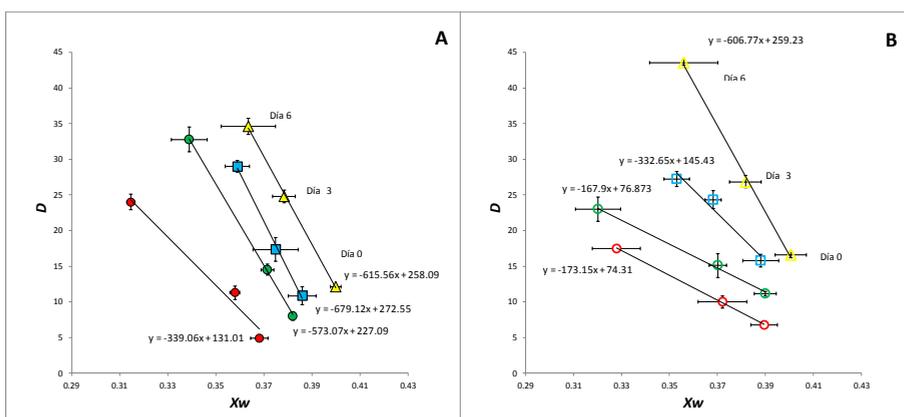


Figura IV.10. Relación de humedad (X_w) y dureza (D) en N, de las zonas A (símbolos rellenos) y B (símbolos sin relleno) durante el almacenamiento. La serie corresponde a: trigo puro, rojo; 5%, verde; 10%, azul; 20%, amarillo. Los valores en las líneas indican niveles de sustitución. Una letra significa zonas de miga. Las barras indican desviaciones estándar.

En general, el aumento en el nivel de sustitución de coproducto generó una mayor dureza por unidad de humedad perdida, y mostró cuatro modelos diferentes, para ambas zonas A y B. Un alto nivel de sustitución produjo una mayor dureza a una humedad dada. La presencia del coproducto condujo a migas más duras con el mismo contenido de humedad, principalmente para 10% y 20%. El incremento en la dureza de la miga de pan se estipula como la respuesta de la retrogradación del componente de almidón (principalmente recristalización de la amilopectina; Bosmans et al., 2013) debido a la pérdida de humedad. En este caso, los resultados fueron contradictorios porque las fórmulas con el coproducto presentaron mayores valores de humedad, pero también una mayor dureza respecto al almacenamiento.

Una explicación para el aumento de la dureza podría ser que las migas con el coproducto tenían una menor fracción de gas (menor volumen específico), con mayor firmeza desde el día 0 debido a estructuras de porosidad más bajas, y por tanto mayor densidad. Por lo tanto, la presencia del coproducto produjo migas más firmes además de húmedas. Estos efectos también fueron observados en otros estudios sobre panes enriquecidos con fibra (Gallagher et al., 2003; Sabanis et al., 2009). De hecho, estos resultados son paralelos al estudio de Curti et al., en 2013, donde los panes enriquecidos con

salvado presentan mayor dureza, pero también humedad. Esto sugiere que, en tales fórmulas de pan, la humedad no es el factor principal influyente en la dureza. Las diferencias observadas generadas en las estructuras de migas podrían desempeñar un papel clave para ayudar a comprender estos comportamientos. Debido a esto, las zonas A (con una humedad diferente a día 0) (Figura IV.10A) para las fórmulas con el coproducto mostraron la misma evolución, mientras que la del control mostró un incremento de dureza menos marcado, pero una mayor reducción de humedad. Además, las zonas B (Figura IV.10B) comenzaron con una humedad similar, pero presentaron una dureza progresivamente creciente con el nivel de coproducto (diferentes pendientes). Este fenómeno coincidió con las diferencias en las estructuras de las migas observadas en la Figura IV.7. Como se muestra, las mayores diferencias entre las estructuras de las zonas también tuvieron mayores diferencias en la cinética de cambios humedad-textura. Cuando se exploró esta relación mediante pruebas de regresión (SVM) entre los datos de humedad y dureza, frente a los datos de estructura (información de imágenes) recopilados durante el almacenamiento, se obtuvieron coeficientes altos (Tabla IV.1 - *Coefficientes de correlación*). Este hecho nos permitió suponer que la estrecha relación humedad-dureza también dependía de la evolución de la estructura de la miga durante el almacenamiento. Por lo tanto, aunque el coproducto no modificó el

contenido de humedad total en los panes, proporcionó una mayor retención de humedad durante el almacenamiento y cambios en el sistema de estructura de miga, lo que condujo a un aumento más rápido de la dureza durante el almacenamiento.

Los resultados de los demás parámetros texturales, durante la evolución del almacenamiento, se encuentran en la tabla IV.2 al final del capítulo.

4. Conclusiones

El coproducto de la horchata de chufa causó modificaciones importantes en el comportamiento de la masa y las propiedades del pan. La inclusión redujo el desarrollo de la masa en la fase de fermentación debido a la interrupción de una red óptima gluten-almidón. La consecuencia de este efecto fue una reducción significativa en los volúmenes específicos de pan; sin embargo, la humedad al final del proceso de elaboración del pan no se vio afectada. La estructura interna del pan se modificó significativamente. El coproducto produjo migas más homogéneas entre las zonas de la miga, además de una distribución de humedad más homogénea. Durante el almacenamiento, el coproducto proporcionó una mayor capacidad de retención de humedad, pero el

aumento en la dureza también fue más rápido. Se evidenció el impacto del coproducto en el sistema humedad-estructura-textura de la miga durante el almacenamiento, donde las diferencias en las estructuras parecieron condicionar la pérdida de humedad y cambios en la textura.

El uso del coproducto de la elaboración de horchata de chufa tuvo un impacto significativo tanto en el procesado como en las propiedades fisicoquímicas del pan durante el almacenamiento, que debe tenerse en cuenta si se pretende enriquecer los panes con fibra. Nuevas investigaciones se están llevando a cabo para el control de los efectos observados, a fin de obtener procesos y propiedades del pan favorables.

5. Referencias bibliográficas

- Aguilar, N., Albanell, E., Miñarro, B., Guamis, B., & Capellas, M. (2014). Effect of tiger nut-derived products in gluten-free batter and bread. *Food Science and Technology International*, 21(5), 323–331. <https://doi.org/10.1177/1082013214535615>
- Ayeh-Kumi, P. F., Tetteh-Quarcoo, P. B., Duedu, K. O., Obeng, A. S., Addo-Osafo, K., Mortu, S., & Asmah, R. H. (2014). A survey of pathogens associated with *Cyperus esculentus* L (tiger nuts)

tubers sold in a Ghanaian city. *BMC Research Notes*, 7(1), 1–9.
<https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-343>

Bortnowska, G., Krudos, A., Schube, V., Krawczyńska, W., Krzemińska, N., & Mojka, K. (2016). Effects of waxy rice and tapioca starches on the physicochemical and sensory properties of white sauces enriched with functional fibre. *Food Chemistry*, 202, 31–39.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.077>

Boser, E., Vapnik, N., Guyon, I. M., & Laboratories, T. B. (1992). Training Algorithm Margin for Optimal Classifiers. *Perception*, 144–152.

Bosmans, G. M., Lagrain, B., Fierens, E., & Delcour, J. a. (2013). The impact of baking time and bread storage temperature on bread crumb properties. *Food Chemistry*, 141(4), 3301–8.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.031>

Chinma, C. E., Abu, J. O., & Abubakar, Y. A. (2010). Effect of tigernut (*Cyperus esculentus*) flour addition on the quality of wheat-based cake. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1746–1752. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02334.x>

Cross, S. S. (1997). Fractals in pathology. *Journal of Pathology*.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9896\(199705\)182:1<1::AID-](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9896(199705)182:1<1::AID-)

PATH808>3.0.CO;2-B

- Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2013). Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.12.003>
- De Melo, R. H. C., & Conci, A. (2013). How Succolarity could be used as another fractal measure in image analysis. *Telecommunication Systems*, 52(3), 1643–1655. <https://doi.org/10.1007/s11235-011-9657-3>
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(3), 255–266. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0365-5>
- Donaldson, L. A. (2001). Lignification and lignin topochemistry - An ultrastructural view. *Phytochemistry*, 57(6), 859–873. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(01)00049-8)
- Dorner, T., & Rieder, A. (2004). [Risk management of coronary heart disease-prevention]. *Wiener Medizinische Wochenschrift (1946)*, 154, 257–265.
- Fan, K., Hatzikiriakos, S. G., & Avramidis, S. (1999). Determination of the surface fractal dimension from sorption isotherms of five

softwoods. *Wood Science and Technology*, 33(2), 139–149.
<https://doi.org/10.1007/s002260050105>

Gallagher, E., Gormley, T. ., & Arendt, E. . (2003). Crust and crumb characteristics of gluten free breads. *Journal of Food Engineering*, 56(2–3), 153–161. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00244-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00244-3)

Gompertz, B. (1825). On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*.
<https://doi.org/10.1098/rstl.1825.0026>

Habibi, Y., Mahrouz, M., & Vignon, M. R. (2009). Microfibrillated cellulose from the peel of prickly pear fruits. *Food Chemistry*, 115(2), 423–429.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.034>

ICC Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology (ICC)

Karperien, A. (2013). FracLac for ImageJ.
<https://doi.org/10.13140/2.1.4775.8402>

López-Azpiazu, I., Sánchez-Villegas, A., Johansson, L., Petkeviciene, J.,

- Prättälä, R., Martínez-González, M. Á., Barricarte, A. (2003). Disparities in food habits in Europe: Systematic review of educational and occupational differences in the intake of fat. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, 16(5), 349–364. <https://doi.org/10.1046/j.1365-277X.2003.00466.x>
- Martínez, M. M., Díaz, Á., & Gómez, M. (2014). Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering*, 142, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.06.020>
- Noort, M. W. J., Bult, J. H. F., & Stieger, M. (2012). Saltiness enhancement by taste contrast in bread prepared with encapsulated salt. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.11.012>
- Reglamento (CE) N° 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre del 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. *Diario Oficial de la Unión Europea* L 404, 9-25
- Retelny, V. S., Neuendorf, A., & Roth, J. L. (2008). Nutrition Protocols for the Prevention of Cardiovascular Disease. *Nutrition in Clinical Practice Official Publication of the American Society for*

Parenteral and Enteral Nutrition, 23(5), 468–476.

<https://doi.org/10.1177/0884533608323425>

Russ, S., & Sapoval, B. (1994). Anomalous viscous damping of vibrations of fractal percolation clusters. *Physical Review Letters*, 73(12), 1570–1573.

<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.73.1570>

Sabanis, D., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 42(8), 1380–1389.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.03.010>

Sánchez-Zapata, E., Fuentes-Zaragoza, E., Fernández-López, J., Esther Sendra, E. S., Navarro, C., & Pérez-Álvarez, J. A. (2009). Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk (“horchata”) byproducts and its physicochemical properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(17), 7719–7725.

<https://doi.org/10.1021/jf901687r>

Sánchez-Zapata, E., Muñoz, C. M., Fuentes, E., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas, E., Pérez-Alvarez, J. A. (2010). Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*, 85(1), 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.12.006>

- Sánchez-Zapata, E., Zunino, V., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2013). Effect of tiger nut fibre addition on the quality and safety of a dry-cured pork sausage (“Chorizo”) during the dry-curing process. *Meat Science*, 95(3), 562–568. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.026>
- Verdú, S., Barat, J. M., Alava, C., & Grau, R. (2017). Effect of tiger-nut (*Cyperus esculentus*) milk co-product on the surface and diffusional properties of a wheat-based matrix. *Food Chemistry*, 224, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.016>
- Verdú, S., Vásquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A. J., Barat, J. M., & Grau, R. (2015). Physicochemical effects of chia (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science*, 65, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.011>
- Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2), 221–226. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)
- Zheng, H., Jiang, L., Lou, H., Hu, Y., Kong, X., & Lu, H. (2011). Application of artificial neural network (ANN) and partial least-squares regression (PLSR) to predict the changes of

anthocyanins, ascorbic acid, Total phenols, flavonoids, and antioxidant activity during storage of red bayberry juice based on fractal ana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(2), 592–600. <https://doi.org/10.1021/jf1032476>

ANEXO

Tabla IV.2. Parámetros texturales en dos diferentes zonas de migas del pan durante el almacenamiento

Sustitución (% b.s.)	Día	Zona de miga	Parámetros texturales					
			D	E	Co	G	Ch	R
0			4,9±0,4a	1±0,004b	0,72±0,03d	3,53±0,16ab	3,54±0,15abc	0,36±0,05de
5		A	13,93±0,45bc	1±0,007b	0,6±0,012b	8,38±0,44c	8,38±0,49bcd	0,31±0,02abc
10			10,84±3,26ab	0,96±0,06b	0,63±0,067bc	6,65±1,54bc	6,34±1,23bc	0,32±0,05bc
20	0		12,13±2,78b	1,03±0,08b	0,71±0,02d	8,67±1,98c	8,93±1,91c	0,39±0,03e
0			6,77±0,79a	1,01±0,03c	0,66±0,05e	4,45±0,28b	4,51±0,33b	0,34±0,03ef
5		B	11,14±1,35ab	1±0,06bc	0,54±0,03b	6,02±0,68b	6,06±0,83b	0,25±0,02a
10			15,77±1,91bc	0,98±0,05bc	0,59±0,012c	9,26±1,06c	9,08±1,49c	0,31±0,01cd
20			16,63±4,24c	0,95±0,07bc	0,65±0,01de	10,8±2,68c	10,38±3,25c	0,33±0,01de
0			11,27±1,83ab	1±0,009b	0,63±0,03bc	7,09±0,99bc	7,12±0,98abc	0,32±0,03bcd
5		A	12,85±3,41bc	0,99±0,011b	0,62±0,08bc	7,81±1,05c	7,75±1,13abcd	0,31±0,04abc
10			17,36±3,69cd	-0,001±0,002a	0,1±0,02a	1,59±0,08a	-0,002±0,003a	0,28±0,01a
20	3		24,78±4,98e	0,94±0,049b	0,64±0,02bc	15,73±2,82d	14,77±3,16d	0,32±0,02bc
0			16,63±2,03c	0,99±0,009bc	0,61±0,01c	10,15±1,18c	10,05±1,14c	0,31±0,01cd
5		B	8,39±3,68a	0,99±0,01bc	0,67±0,1e	5,42±1,63b	5,36±1,68b	0,34±0,06ef
10			24,34±3,26de	-0,002±0,002a	0,07±0,012a	1,63±0,1a	-0,003±0,004a	0,26±0,01ab
20			26,83±1,45e	0,96±0,06bc	0,62±0,008cd	16,67±0,87d	15,98±1,25d	0,32±0,002cde
0			27,73±6,11ef	1,71±1,5c	0,61±0,02b	16,93±3,73d	26,27±18,07e	0,29±0,006ab
5		A	32,78±0,65fg	-0,004±0,0007a	0,05±0,002a	1,69±0,02a	-0,01±0,001ab	0,31±0,004abc
10			22,37±1,82de	-0,002±0,004a	0,08±0,01a	0,86±0,95a	-0,003±0,007a	0,31±0,02ab
20	6		34,62±6,8g	0,93±0,05b	0,66±0,02c	22,69±3,91e	20,91±2,66e	0,34±0,02cd
0			18,38±1,34c	0,97±0,03bc	0,62±0,05cde	11,48±1,82c	11,11±1,4c	0,29±0,02bc
5		B	20,39±1,46cd	-0,004±0,005a	0,09±0,006a	1,73±0,005a	-0,007±0,009a	0,33±0,008de
10			27,21±4,03e	-0,003±0,005a	0,07±0,01a	1,77±0,07a	-0,005±0,009a	0,32±0,01cde
20			43,57±2,61f	0,94±0,07b	0,66±0,009e	28,62±2,01e	26,91±2,06e	0,36±0,01f

b.s.: base seca. Parámetros texturales: dureza, D; elasticidad, E; cohesividad, Co; gomosis, G; masticabilidad, Ch; resiliencia, R. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

CAPÍTULO V

***Mejora de la panificación de pan con coproducto
de la elaboración de horchata***

Resumen

El efecto de incluir harina de chía para mejorar la panificación de la harina procedente del coproducto de horchata de chufa ha sido estudiado durante la fase de fermentación y en el producto final horneado. Para ello se elaboraron panes con harina de coproducto al 5%, 10% y 20% de sustitución de harina de trigo, y panes con los niveles de sustitución indicados de harina de coproducto añadiendo 5% harina de chía.

Los resultados mostraron como su incorporación genera cambios tanto en el procesado como en el producto final, mejorando la capacidad fermentativa que llega a ser similar a la de masas con solo harina de trigo. Pero su incorporación supone un incremento de la fibra total que produce cambios en los parámetros texturales haciendo que incremente entre otros la dureza. Los consumidores, detectaron estos cambios además del color y sabor, por lo que no aceptan propiamente el uso de la harina de chía en la elaboración de panes, sin embargo, la harina de chía al 5% con la sustitución parcial de harina de trigo por 5% de harina de coproducto, así como al 5% y 10% de coproducto, han sido aceptados por el consumidor por ser similares al pan tradicional con harina de trigo. En estos porcentajes pueden ser etiquetados como fuentes de fibra.

Palabras claves: coproducto de horchata de chufa, harina de chía, mejorante

1. Introducción

Como se ha evidenciado en el capítulo anterior, el uso del coproducto de la elaboración de horchata de chufa tiene un impacto significativo tanto en el procesado como en las propiedades fisicoquímicas del pan, así como durante su almacenamiento, que deben tenerse en cuenta para enriquecer los panes con fibra. Estas alteraciones están relacionadas con la reducción del gluten y las dificultades para formar la red de gluten durante la fase de mezclado (Pasqualone et al., 2010).

El estudio de la adición de hidrocoloides de diferentes orígenes es un área de investigación extensa, entre los más usados cabe destacar goma xantana, goma guar, hidroxipropilmetilcelulosa HPMC, carragenano, pectina, agarosa, etc. (Mir et al., 2016). Mediante su empleo se han mejorado la consistencia, elasticidad, resistencia de las celdas de gas y la elasticidad de las masas (Ronda et al., 2015). De igual manera, también se ha mejorado el volumen específico, pérdida de masa, textura de miga, entre otros (Sciarini et al., 2012).

Sin embargo, varios autores han utilizado recursos naturales como las semillas, que además aportan un perfil nutricional a la totalidad del pan. Algunos ejemplos son harina integral de avena, tamarillo (*Solanum betaceum* Cav), semillas de *Lepidium sativum*, etc. (Gannasin et al., 2016; Sahraiyan et al., 2013).

En este sentido, las semillas de Chía (*Salvia hispanica* L.) presentan un perfil químico y nutricional interesante. Están constituidas por proteínas (15-20 g/100g), lípidos (30-33 g/100g), ceniza (4-5 g/100g) y carbohidratos (26-41 g/100g), y alto contenido en fibra (18-30 g/100g), que incluye una goma de polisacárido con un mucílago de alto peso molecular, además ácidos grasos poliinsaturados como omega-3 (50-57 g/100g) y omega-6 (17-26 g/100g), antioxidantes, minerales y vitaminas. Su consumo favorece el funcionamiento del intestino, disminuye el colesterol en sangre e incidencias de enfermedades con síndromes metabólicos (Coelho & Salas-Mellado, 2015).

La capacidad mejorante de la chía en las masas panarias estaría ligada al mucílago, el cual tiene gran capacidad de retención de agua y forma un activo hidrocoloide que ha proporcionado resultados interesantes (Steffolani et al., 2015; Verdú et al., 2015).

Así, el propósito del presente estudio es evaluar el comportamiento de las harinas de chía como ingrediente mejorador de las propiedades fisicoquímicas del pan elaborado con tres diferentes grados de sustitución de harina de trigo por harina del coproducto de la elaboración de horchata de chufa.

2. Materiales y Métodos

2.1. Proceso de elaboración del pan

El proceso de elaboración de los panes con harina de chía fue igual al utilizado en el capítulo IV para los panes control y los elaborados con coproducto total triturado (Trp en este capítulo será T) al 5, 10 y 20% (T5, T10 y T20), pero en este caso, del tanto por cien de la harina de trigo de cada uno de los panes con coproducto se eliminó un 5% que fue sustituido por la harina de chía (CHI5+T5, CHI5+T10 y CHI5+T20).

La harina de chía se elaboró a partir de semillas (Int-Salim, Salud e Imaginación S.L., Barcelona) adquiridas en un mercado local, las cuales se trituraron en un robot de cocina (Thermomix® TM31, Vorwerk, Alemania) para minimizar el tamaño hasta obtener semejanza al de harina de trigo.

2.2. Determinaciones analíticas de los panes

Las determinaciones analíticas realizadas fueron las mismas que en el capítulo anterior, adicionalmente se realizó un análisis sensorial como se describe a continuación.

2.2.1. Análisis sensorial

El análisis sensorial se realizó para evaluar la aceptabilidad del consumidor en las diversas formulaciones de panes propuestas con

harinas de coproducto de horchata de chufa y con chía, respecto a panes tradicionales con harina de trigo pura.

El proceso de evaluación se llevó a cabo con 50 evaluadores no expertos, que son consumidores habituales de pan. Las muestras (5cm de diámetro) se presentaron en platos con la respectiva codificación y en condiciones normales de temperatura 23°C. Las pruebas presentadas a los evaluadores se basaron en las escalas hedónicas (AENOR, 2006) que comprendía 0 “No me gusta nada” hasta 10 “Me gusta mucho”. Las muestras fueron evaluadas en siete atributos, aspecto global, color, olor, textura al tacto, textura en boca, sabor, y aceptación global. Estos atributos se seleccionaron como los más descriptivos tanto para la industria como para los consumidores.

2.3. Análisis estadístico

Los datos de propiedades de fermentación, horneado y cata del pan fueron estudiados por un análisis estadístico de varianza de un factor (ANOVA) utilizando para ello el programa informático “Statgraphics Centurion” (versión Centurion XVI.I, StatPoint Technologies, Inc.). En aquellos casos con un efecto significativo (valor $P < 0,05$), el promedio se comparó con la diferencia mínima significativa Fisher LSD (Fisher’s least significant difference).

3. Resultados y discusión

3.1. Fase de fermentación

La capacidad fermentativa de cada masa se estudió a través de la evolución de su altura durante esta fase (Figura V.1).

Como se observa, al final del proceso no existieron diferencias significativas en la altura entre el control y las elaboradas con mezcla de harina de chía con coproducto al 5% y 10% (CHI5+T5, CHI5+T10), si en cambio con el 20% de coproducto. La incorporación de chía mejora la retención de gas, siendo la altura final de las masas con coproducto y chía mayor que la alcanzada por las masas con solo coproducto, aun cuando la cantidad de gluten es menor en las masas con coproducto y chía. Para las masas con el 20% de coproducto y el 5% de chía, la cantidad de materia seca sin gluten es demasiado elevada como para poder formar la red de gluten que sea capaz de retener el gas, y por tanto su altura alcanzada fue la misma que para la masa solo con el 20% de coproducto.

La capacidad de retención de gas por parte de la harina de chía sería atribuible al mucílago de la materia seca de la semilla de chía, que es un polisacárido gomoso con alto peso molecular. Forma un hidrocoloide activo que está involucrado en la mejora de la retención de gases en la fase de fermentación del proceso de elaboración del

pan. Este efecto está en línea con los resultados reportados en varios estudios previos (Iglesias-Puig & Haros, 2013; Verdú et al., 2015; Verdú et al., 2017). El hidrocoloide mejoró el volumen de las masas dado el establecimiento del complejo hidrofílico formado entre sus grupos iónicos y proteínas, como gluten, que favorece la formación de redes impermeables a los gases (Verdú et al., 2017).

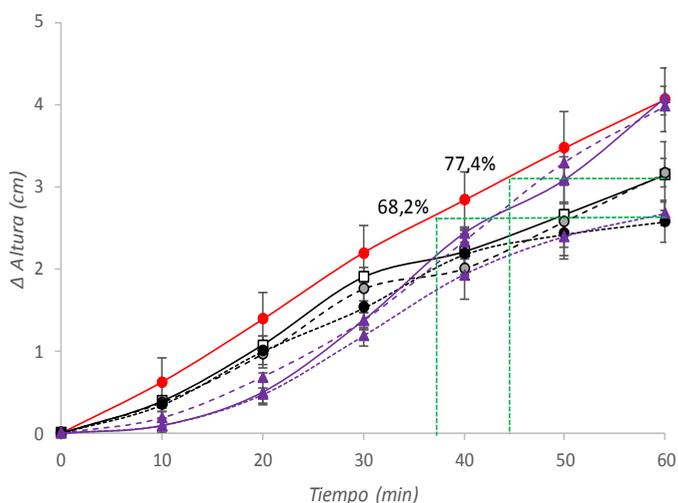


Figura V.1. Incremento de altura en masas de panes control (línea roja), elaborados con coproducto (líneas negras) y elaborados con coproducto más harina de chía al 5%. Línea continua a excepción del control, 5% de coproducto; Línea discontinua trazo largo, 10% de coproducto; Línea discontinua trazo corto, 20% de coproducto. Barras son desviaciones estándar. Los valores en la curva del control indican el porcentaje de su altura máxima alcanzada por las fórmulas sustituidas.

3.2. Fase de horneado

3.2.1. Análisis de la variación de masa durante el procesado

Tras la fermentación se llevó a cabo la etapa de horneado la cual se evaluó (Figura V.2) de acuerdo a la pérdida de masa (ΔM) que se asumió como pérdidas de agua a consecuencia del tratamiento térmico. Como ya vimos en el capítulo anterior (Tabla IV.1), los panes con coproducto tuvieron la misma pérdida de peso que los de control, pero la incorporación de la harina de chía a estos minimizó dicha pérdida independientemente del nivel de sustitución de coproducto, lo que se podría entender como una mayor capacidad de retención de agua por parte de esta y por tanto menor pérdida de peso.

Estudios realizados previamente por otros autores, Muñoz et al. (2012), informaron que es capaz de hidratar 27 veces su propio peso. Asimismo, los resultados obtenidos por Vázquez-Ovando et al. (2009), pero en una fracción rica en fibra de chía desgrasada, confirmó su buena capacidad de retención de agua, entre otros aspectos. Otros estudios realizados por Verdú et al., 2015 y 2017 así lo confirmaron también.

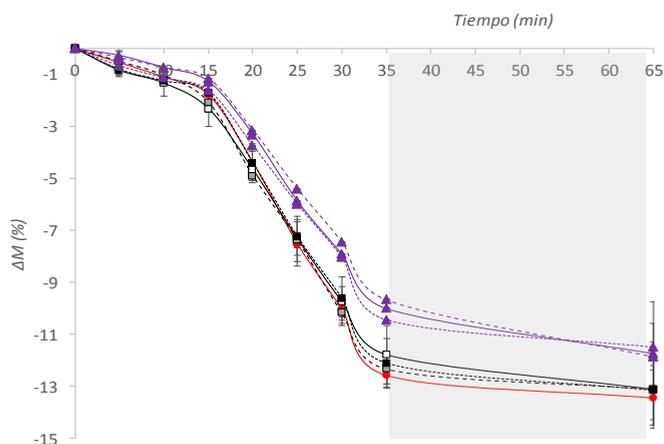


Figura V.2. Evolución de la masa en las fases de horneado (35 minutos) y temperado (30 minutos). Figuras geométricas representan las harinas: trigo puro, círculo rojo; chía, triángulo; coproducto, cuadrado. Todas en proporciones de coproducto al 5%, 10%, 20% de arriba hacia abajo. ΔM Pérdida de masa en %. La marca de agua señala la fase de temperado. Barras marcan la desviación estándar.

3.3. Determinaciones analíticas de panes

3.3.1. Volumen específico

El análisis del volumen específico (S_v) mostró diferencias significativas entre formulaciones de harinas sustituyentes con respecto al control. Los resultados se muestran en la Tabla V.1, en determinaciones analíticas.

Como ya conocíamos (Tabla IV.1), es notable que el volumen específico se vio afectado por el nivel de sustitución de coproducto. Sin embargo, cuando se agregó chía al 5% a la sustitución con coproducto del 5%, no se observaron diferencias con el control. Estos

resultados fueron de acuerdo a las diferencias en altura H de las masas a los 60 minutos de fermentación (Figura V.1). Aunque el sistema masa se expande durante el proceso de cocción y la diferencia de la pérdida de masa se produjo de forma diferente para ambos panes, la variación de volumen fue igual en ambas. Para el resto de las formulaciones, el descenso de Sv fue similar entre los panes con o sin chía. Esto pudo ser debido a que la cantidad de fibra (procedente del coproducto e incluso de la chía) es demasiado elevada como para mantener la red de gluten y por tanto la retención de gas durante la fermentación y el horneado. Si bien es cierto que la fibra puede ayudar a fijar agua y retener parte de gas liberado durante el horneado (Ktenioudaki & Gallagher, 2012), a partir de ciertos niveles de fibra insoluble, el efecto es contrario (Curti et al., 2013; Noort et al., 2012).

3.3.2. Humedad

El contenido de humedad (X_w) en los panes elaborados únicamente con coproducto fue similar a los del control (Tabla V.1). Sin embargo, los panes compuestos por harina de chía presentaron diferencias significativas, puesto que presentaron mayor humedad. Este comportamiento va en relación con la altura máxima (H_{max}) y la menor pérdida de masa al final de horneado (ΔM). Estudios realizados por Verdú et al., 2015 en panes elaborados con mezcla de

harinas de trigo y chía, expresan cómo éstos retenían más agua que los elaborados con harina de trigo puro. Según el estudio, ésta mayor capacidad para retener agua había que atribuírsela a la estructura generada por el mucílago (goma de polisacárido con alto peso molecular) de la chía.

Si bien la adición de fibras hidrosolubles permiten una mayor absorción de agua principalmente por el mayor número de grupos hidroxilo que existen en la estructura de la fibra y que facilitan una mayor interacción del agua a través de enlaces de hidrógeno (Rosell et al., 2001; Sudha et al., 2007), en el caso de la fibra insoluble no es así, por lo que la mayor retención de agua observada se atribuía mayoritariamente a la harina de chía.

3.3.3. Actividad de agua

Los valores de actividad de agua (a_w) en los panes no se vieron afectados con la incorporación de la harina de coproducto (Tabla V.1), sin embargo, la incorporación de la harina de chía los hizo incrementar, independientemente del nivel de sustitución del coproducto.

Resultados similares fueron a los obtenidos por Verdú et al. (2015) en los que panes elaborados con chía mostraron una menor reducción de los valores de a_w durante el tiempo de almacenamiento,

atribuyéndose este resultado a la presencia del mucílago de aumentar el agua ligada en la masa de los panes.

Tabla V.1. Resultados de la evolución de la masa en la fase de horneado y determinaciones analíticas

Muestras	Fase de horneado 65 min		Determinaciones analíticas de panes		
	Final horneado	Final temperado	Sv (cm ³ /g)	Xw (g/g)	a _w
	ΔM (%)	ΔM (%)			
Control	-12,57±0,46a	-13,44±1,06a	3,92±0,43e	0,37±0a	0,93±0,01a
T5	-11,78±1,12ab	-13,12±1,15ab	3,42±0,23d	0,37±0,01a	0,94±0,01a
T10	-12,32±0,56ab	-13,1±1,37ab	3,32±0,23d	0,37±0,01a	0,94±0,01a
T20	-12,1±0,96ab	-13,16±1,46ab	2,38±0,47b	0,37±0,01a	0,95±0ab
CHI5+T5	-10±0ab	-11,73±0,47ab	3,63±0,15de	0,39±0,01b	0,96±0bc
CHI5+T10	-9,67±0b	-11,86±1,28ab	3,47±0,06d	0,39±0,03b	0,96±0bc
CHI5+T20	-10,43±0ab	-11,48±1,76b	2,25±0,09b	0,39±0,01b	0,94±0a

Harinas: trigo puro, control; coproducto, T; chía, CHI. Números junto a las letras de harinas indican nivel de sustitución. ΔM: pérdida de masa. Determinaciones analíticas de panes: Sv: volumen específico; Xw: humedad de pan entero g agua/g de pan entero; a_w: actividad de agua. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas P≤0,05

3.3.4. Análisis de textura

El análisis de textura (Tabla V.2) indicó el incremento de los parámetros texturales tales como dureza (D), gomosidad (G), masticabilidad (Ch) y resiliencia (R), al adicionar la harina de coproducto, y más aún con las harinas de chía. El incremento fue proporcional al acrecentar el nivel de sustitución de coproducto. Sin

embargo, la elasticidad (E) y la cohesividad (Co) disminuyeron de manera inversa al aumentar la sustitución (Figura V.3), teniendo diferencias significativas respecto al control.

Los parámetros de gomosidad y masticabilidad están relacionados con la dureza. La dureza, gomosidad, masticabilidad y resiliencia, aumentan de forma significativa en comparación con los panes control. Los parámetros D, G, R, fueron mayores en panes con harina de chía con 5%, 10% y 20% de coproducto.

La masticabilidad (Ch) no evidenció diferencias significativas con respecto al control, en panes con harina de coproducto y chía aun cuando las muestras con harina de chía obtuvieron los resultados más pequeños.

A pesar de necesitar menos masticación en panes con harina de chía, estos obtuvieron menos elasticidad por lo tanto más dureza (7% a 9% más que el control), en relación al incremento del 5% al 10% de coproducto principalmente.

La incorporación de harina de chía en los panes influyó más sobre los cambios texturales que cuando la sustitución se dio sólo con coproducto, posiblemente causado por la combinación de dos factores; una mayor presencia de agua en los panes y una mayor incorporación de extracto seco que además afecta a la red de gluten y por tanto en la retención de gas durante el fermentado. En este

sentido, en la Figura V.4 se muestra la relación existente entre el volumen de los panes y la dureza. Como se aprecia, existió una linealidad entre ambos, en la que al disminuir el volumen de los panes se incrementó la dureza. Pero esta linealidad es dependiente de la presencia de la chía, ya que su incorporación hizo que un mismo valor de dureza, en comparación con los panes con coproducto, alcanzase un mayor volumen (línea verde en Figura V.4), como consecuencia de la capacidad de la chía para retener el gas.

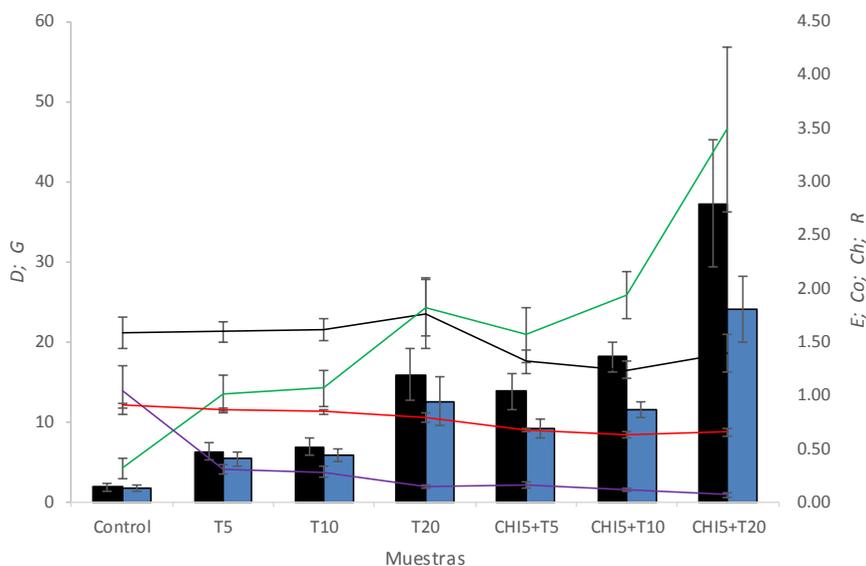


Figura V.3. Parámetros texturales de panes elaborados a base de harina de trigo puro (Control), coproducto al 5%, 10% o 20% (T5, T10 o T20) y chía al 5% (CHI5). Las columnas representan: negro, dureza (D) en N; azul, gomosidad (G). Líneas: verde, resiliencia (R); negra, masticabilidad (Ch); roja, cohesividad (Co); morada, elasticidad (E). Barras marcan la desviación estándar.

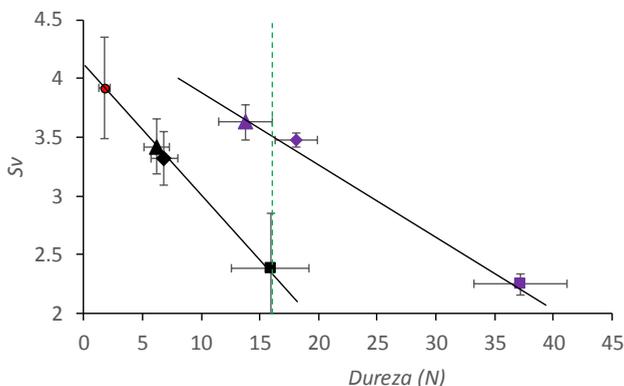


Figura V.4. Relación entre la dureza (N) y el volumen (Sv) para los panes elaborados a base de harina de trigo puro (símbolo rojo), coproducto (símbolos negros) al 5% (triángulo), 10% (rombo), 20% (cuadrado) y con coproducto más chía al (5%) (símbolos morados). Barras marcan la desviación estándar.

Este comportamiento refleja la gran influencia que tiene la adición de fibra y la reducción de gluten sobre el comportamiento viscoelástico de las masas y, por consiguiente, sobre las características del producto final (Sudha et al., 2007; Verdú et al., 2015; Verdú et al., 2017), dado que con la harina de chía se ha podido mantener el volumen, gracias a su mucílago, pero en cambio se ha incrementado la dureza por la presencia de su fibra.

3.3.5. Propiedades sensoriales

En la Figura V.5 de forma visual y en la a Tabla V.2 con valores estadísticos, se detallan los resultados de la evaluación sensorial. Los

catadores evaluaron en más del 50% a todos los siete parámetros texturales de las muestras, color, olor, textura al tacto, textura en boca, aspecto global, sabor y aceptación global. Las muestras con harina de coproducto al 20% (T20) y coproducto al 10% más harina de chía al 5% (CHI5+T10), son las que obtuvieron menor puntuación. Las muestras mejor evaluadas, a más de la control, fueron las de harina de coproducto al 5% (T5) y posteriormente CHI5+T5 y T10.

Investigaciones indican que los niveles de aceptabilidad del consumidor respecto a diferentes fibras agregadas en productos de panificación oscilan entre el 5 y 15% (Ainsworth et al., 2007; Wang et al., 2002), atribuyendo la dependencia a las propiedades del tipo de fibra y parámetros de procesado (tiempo / temperatura). La sustitución de harina de trigo por alto contenido de fibra no mejora la apreciación de los consumidores en apariencia, textura y sabor, aunque hay estudios que indican lo contrario (Arufe et al., 2017; Katina et al., 2006) en los que mediante la agregación de mejorantes y enzimas o aditivos se obtienen mejoras en la red de gluten.

En base a estos resultados, si bien la incorporación de harina de chía ha mejorado la capacidad fermentativa de las masas, no parece que haya influido positivamente sobre los consumidores al no mejorar los resultados obtenidos en los panes elaborados con un nivel de sustitución del 5% de harina de trigo por coproducto, lo cual les permite ser etiquetados como fuente de fibra.

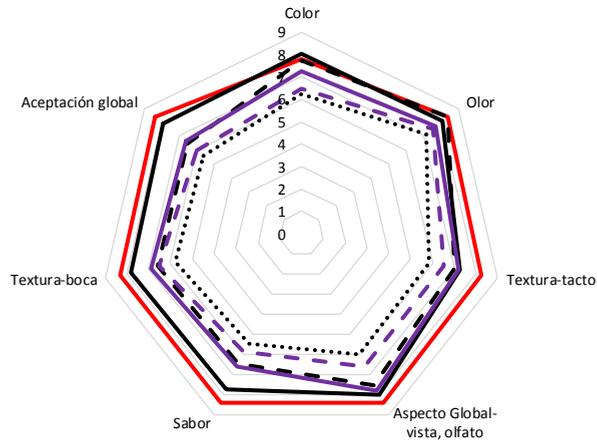


Figura V.5. Análisis sensorial de panes elaborados con harinas de trigo puro (línea roja), coproducto (líneas negras) al 5% (línea continua), 10% (línea discontinua) y al 20% (línea punteada), y chía (5%) (Líneas moradas).

Tabla V.2. Determinaciones del análisis sensorial de panes elaborados con harinas de coproducto y chía

Muestras	Color	Olor	Textura-tacto	Aspecto Global	Sabor	Textura-boca	Aceptación global
Control	7,78±2,49bc	8,33±1,23b	8,24±1,22c	8,40±1,07c	8,35±1,18c	8,29±1,29c	8,36±1,33c
T5	8,07±0,99c	8,04±1,34ab	7,29±2,23bc	7,99±1,05c	7,73±1,55bc	7,83±1,47bc	7,87±1,45bc
CHI5+T5	7,29±1,7abc	7,68±1,25ab	7,17±1,67bc	7,77±1,16c	6,6±2,32ab	6,9±2,17ab	6,61±2,04ab
T10	7,73±1,67bc	8,34±0,72b	7,03±1,5abc	7,53±1,42bc	6,45±2,07ab	6,57±1,98ab	6,49±2,24ab
CHI5+T10	6,46±2,66ab	7,49±1,4ab	6,54±2,06ab	6,56±2,40ab	5,88±2,2a	6,51±1,87ab	5,98±2,38a
T20	6,27±2,26a	7,13±2,32a	5,84±1,8a	5,98±2,12a	5,46±2,51a	5,76±2,34a	5,59±2,42a

Harinas: trigo puro, control; coproducto, T; chía, CHI. Números junto a las letras de harinas indican nivel de sustitución. Letras diferentes dentro de las columnas indican diferencias significativas $P \leq 0,05$

4. Conclusiones

La incorporación de harina de chía en el procesado de pan con sustitución parcial de la harina de trigo por harina procedente de la elaboración de horchata de chufa genera cambios tanto en el procesado como en el producto final.

Su incorporación implica una mejora de la capacidad fermentativa gracias al mucílago que la conforma y que minimiza el impacto de la fibra procedente del coproducto, llegando a ser esta similar a la de masas con solo harina de trigo. Pero el incremento de la fibra produce cambios en los parámetros texturales haciendo que incremente la dureza.

Estos cambios, junto con los de color y sabor, apreciados por los consumidores, provoca que disminuya el interés en la utilización de la harina de chía para el procesado de panes. Sin embargo, no existen diferencias significativas en la aceptación global del consumidor respecto a los panes elaborados con harina de trigo. En esta combinación de harina de chía y coproducto, ambos al 5%, es suficiente para que sean etiquetados como producto fuente de fibra.

5. Referencias bibliográficas

AENOR. UNE-ISO 4121:2006. Análisis sensorial. Directrices para la utilización de escalas de respuestas cuantitativas. (ISO 4121:2003)

Ainsworth, P., İbanoğlu, Ş., Plunkett, A., İbanoğlu, E., & Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702–709. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>

Arufe, S., Chiron, H., Doré, J., Savary-Auzeloux, I., Saulnier, L., & Della Valle, G. (2017). Processing & rheological properties of wheat flour dough and bread containing high levels of soluble dietary fibres blends. *Food Research International*, 97, 123–132. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.03.040>

Coelho, M. S., & Salas-Mellado, M. de las M. (2015). Effects of substituting chia (*Salvia hispanica* L.) flour or seeds for wheat flour on the quality of the bread. *LWT - Food Science and Technology*, 60(2). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.033>

Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G., & Vittadini, E. (2013). Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.12.003>

- Katina, K., Salmenkallio-Marttila, M., Partanen, R., Forssell, P., & Autio, K. (2006). Effects of sourdough and enzymes on staling of high-fibre wheat bread. *LWT - Food Science and Technology*, 39(5), 479–491. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2005.03.013>
- Ktenioudaki, A., & Gallagher, E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends in Food Science and Technology*, 28(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.004>
- Noort, M. W. J., Bult, J. H. F., & Stieger, M. (2012). Saltiness enhancement by taste contrast in bread prepared with encapsulated salt. *Journal of Cereal Science*, 55(2), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.11.012>
- Rosell, C. M., Rojas, J. A., & Benedito de Barber, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15(1), 75–81. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00054-0](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00054-0)
- Sudha, M. L., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>
- Verdú, S., Barat, J. M., & Grau, R. (2017). Improving bread-making

processing phases of fibre-rich formulas using chia (*Salvia hispanica*) seed flour. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 419–425. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.007>

Verdú, S., Vásquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A. J., Barat, J. M., & Grau, R. (2015). Physicochemical effects of chia (*Salvia hispanica*) seed flour on each wheat bread-making process phase and product storage. *Journal of Cereal Science*, 65, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.05.011>

Wang, J., Rosell, C. M., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79(2), 221–226. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00135-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00135-8)

CONCLUSIONES GENERALES

CONCLUSIONES GENERALES

A través de los diversos capítulos se ha desarrollado el objetivo general estudiando el efecto de la incorporación del coproducto, procedente del procesamiento de la horchata de chufa, en la elaboración de productos sin fermentar (chips), y de diferentes niveles de fermentación (pizzas y panes), con base de harina de trigo.

De los resultados y conclusiones parciales se concluye la viabilidad de la incorporación del coproducto de la elaboración de horchata en los productos elaborados, si bien es necesario tener en cuenta los efectos que su incorporación genera sobre las masas y por consiguiente en el producto final. Este efecto está ligado a la alteración de la red de gluten por parte de la fibra procedente del coproducto, la cual altera la viscoelasticidad de la masa, reduciendo su retracción y su capacidad para retener gas durante los procesos fermentativos.

Aun teniendo en cuenta dicha alteración, se han podido desarrollar chips, bases de pizza y panes con niveles de sustitución de harina de trigo por coproducto de entre 5 y 10%, niveles que permiten etiquetar los productos así obtenidos como “fuente de fibra” o “alto contenido en fibra”, y que son evaluados positivamente por los consumidores.

De los diferentes formatos de coproductos testados, total (T), tamizado o blanco (W), y los dos anteriores triturados (Trp y Wrp), en el caso de los chips se propone el uso del total o total triturado, siendo el blanco y el blanco triturado los propuestos en la elaboración de las bases de pizza. En el caso de los panes, el estudiado fue el total (Trp), el cual presenta resultados, a un nivel de sustitución del 5%, similar al control en varias de las características sensoriales evaluadas, sin la necesidad de la incorporación de un mejorante de la fermentación como puede ser la harina de semillas de chía.

Así pues, el resultado del trabajo es satisfactorio por tanto se han cumplido los objetivos establecidos en primera instancia. Futuros estudios pueden ser interesantes en los que se tengan en cuenta, entre otros, niveles de molturación más elevados del coproducto, combinaciones con otras harinas que aporten otros perfiles nutricionales y/o se empleen mejorantes que minimicen la reducción del gluten en la masa como consecuencia de la sustitución parcial.

PUBLICACIONES REALIZADAS DURANTE EL PERIODO DE REALIZACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL

Hasta el momento de publicación de esta tesis la producción científica es la descrita a continuación.

REVISTAS INTERNACIONALES

Samuel Verdú, Cecibel Alava, José M. Barat, Raúl Grau. Effect of tiger-nut (Cyperus esculentus) milk co-product on the surface and diffusional properties of a wheat-based matrix. Food Chemistry, Volume 224, 2017, Pages 69-77.

CONGRESOS

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. EFFECT OF TIGER-NUT (CYPERUS ESCULENTUS) MILK CO-PRODUCT IN BREAD MAKING PROCESS: PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND SENSORIAL EVALUATION. 5th International ISEKI_Food Conference "The Food System Approach: New Challenges for Education, Research and Industry" 2018, July 03 to 05. Stuttgart, Germany. <https://www.isekiconferences.com/>

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. EFFECT OF SAUCES ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES BAKED PIZZAS USING FROZEN PIZZA DOUGH WITH TIGER-NUT (CYPERUS

ESCULENTUS) MILK CO-PRODUCT. 5th International ISEKI_Food Conference “The Food System Approach: New Challenges for Education, Research and Industry” 2018, 03 - 05 July. Stuttgart, Germany. <https://www.isekiconferences.com/>

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. EFFECT OF INCORPORATING TIGER-NUT (CYPERUS ESCULENTUS) MILK CO-PRODUCT ON BREAD-MAKING PROCESS. 4th International & 5th National Student Congress of Food Science and Technology AVECTA 2018, 22 – 23rd February. Valencia, España, 79. <http://congreso.avecta.org/wp-content/uploads/2015/10/Libro-de-Abstracts-AVECTA-18.pdf>

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. ENRICHMENT OF CEREAL CHIPS WITH FIBRE FROM A TIGER-NUT (CYPERUS ESCULENTUS) MILK CO-PRODUCT: IMPACT ON PROCESSING, PHYSICOCHEMICAL AND SENSORIAL PROPERTIES. 4th International & 5th National Student Congress of Food Science and Technology AVECTA 2018, 22 – 23rd February. Valencia, España, 80. <http://congreso.avecta.org/wp-content/uploads/2015/10/Libro-de-Abstracts-AVECTA-18.pdf>

Cecibel Alava, Samuel Verdú, Francisco Vásquez, José M. Barat, Raúl Grau. MODELLING FIBRE ENRICHMENT EFFECT ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF COOKIES BY MEANS OF IMAGE ANALYSIS OF LASER-DIFFRACTION PATTERNS. 4th

International & 5th National Student Congress of Food Science and Technology AVECTA 2018, 22 – 23rd February. Valencia, España, 64. <http://congreso.avecta.org/wp-content/uploads/2015/10/Libro-de-Abstracts-AVECTA-18.pdf>

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. EFFECT OF SAUCES ON PROCESSING AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF BAKED PIZZAS DONE EMPLOYING READY-SHAPED FROZEN PIZZA DOUGH WITH FIBRE FROM A TIGER-NUT (CYPERUS ESCULENTUS) MILK CO-PRODUCT. 19th International Conference on FOOD PROCESSING & TECHNOLOGY 2017, October 23-25. Paris, France. Journal of Food Processing & Technology and Journal of Nutrition and Food Sciences, 145. DOI: 10.4172/2157-7110-C1-069. <https://foodtechnology.conferenceseries.com/>

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. ESTUDIO DE LA INCORPORACIÓN DEL SUBPRODUCTO PROCEDENTE DE LA ELABORACIÓN DE HORCHATA EN PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN Y BOLLERÍA. IV Encuentro de Estudiantes de Doctorados UPV 2017, 01 de junio. Valencia, España.

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. DESARROLLO DE PRODUCTOS HORNEADOS CON FIBRA AÑADIDA PROCEDENTE DEL CO-PRODUCTO GENERADO EN LA ELABORACIÓN DE HORCHATA. IX Congreso Nacional de Ciencia

y Tecnología de los Alimentos CyTA/CESIA 2017, 16 - 18 de mayo. Madrid, España, 257. www.cytacesia2017.com

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. EFFECT OF TIGER-NUT (CYPERUS ESCULENTUS) MILK CO-PRODUCT IN DOUGH FOR PRECOOKED FROZEN PIZZA. 6th International Congress on Food Technology 2017, 18th - 19th March. Athens, Greece.
<http://www.foodtechnology2017.gr/files/finalprogram.pdf>

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. ENRICHMENT OF PREBAKED PIZZA WITH FIBRE FROM A TIGER-NUT (CYPERUS ESCULENTUS) MILK CO-PRODUCT: IMPACT ON PROCESSING AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES. IV National and III International Student Congress of Food Science and Technology 2017, 23 - 24th February. Valencia, España, 83.
https://issuu.com/jorgecalperuano/docs/libro_de_abstracts_17__final_comple

Cecibel Alava, Samuel Verdú, José M. Barat, Raúl Grau. STUDY OF THE USE OF THE BY-PRODUCT OF HORCHATA FOR PROCESSING PRECOOKED FROZEN PIZZA. III National and II International Student Congress of Food Science and Technology AVECTA 2016, 3rd-4th March. Valencia, España, 56.
http://issuu.com/jorgecalperuano/docs/libro_abstract_2016/57?e=2427686/34855722