UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA,
ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

Evaluación de la calidad funcional y sensorial en
cultivares de *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* y ssp.
spelta en cultivo ecológico

TESIS DOCTORAL

María Eugenia Vargas Kostiuk

Ingeniera en Alimentos

Madrid, 2016

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA,
ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

Evaluación de la calidad funcional y sensorial en
cultivares de *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* y ssp.
spelta en cultivo ecológico

TESIS DOCTORAL

María Eugenia Vargas Kostiuk
Ingeniera en Alimentos

Directoras:

Marta Rodríguez de Quijano Urquiaga
Doctora en Ciencias Biológicas

María Jesús Callejo González
Doctora Ingeniero Agrónomo

Madrid, 2016

A mis padres y hermanos

*“El hombre primero quiso comer para sobrevivir, luego quiso
comer bien e incorporó la gastronomía a su mundo cultural.*

Ahora, además, quiere comer salud”

Francisco Grande Covián

Agradecimientos

Quiero agradecer profundamente a mis directoras por este camino andado, en el que no me ha faltado apoyo, aliento y mucho conocimiento. A María Jesús por invitarme a participar en su proyecto, por acercarme al mundo de los cereales y por su constante apoyo; a Marta, por su infinita paciencia, por la minuciosidad de su trabajo y su encomiable afán de enseñar, todo el tiempo. Muchas gracias a ambas por su entrega y contribución personal para que este proyecto llegara a buen puerto. Ambas habéis sido una fuente de enriquecimiento y una constante inspiración.

De la misma manera quiero mencionar a José María Carrillo y al Departamento de Mejora Genética de Plantas por su recibimiento y acogida, por facilitarme las cosas y hacerme sentir parte de esta casa.

A Fernando Calderón y por extensión al Departamento de Tecnología de Alimentos por la oportunidad del conocimiento.

A Conchi Moreno, Ana Isabel García, Isabel Mathieux, Laura Rubio, Iris Loira, Virginia Díaz, Araceli Espí, Efraín Chacón, Jaime Moya, Laura Vargas, Miguel Jurado, Raquel Salgado, Wendu Tesfaye, Carlos Uthurry, José Rodríguez, Miguel Angel Lara y Ricardo Vejarano; jueces comprometidos y motivados que hicieron que cada sesión de cata valiera la pena...Muchas gracias por su entrega y honestidad.

A la Diputación Foral de Álava y al Señor Patxi Lauzurika que cedieron amablemente el material vegetal para el desarrollo de esta Tesis.

A Roberto Ruiz de Arcaute, por sus consejos y cercanía.

A Juan Manuel Álava, Jefe de Investigación de i+dea del Grupo Siro, por abrirme las puertas de sus instalaciones para las pruebas de evaluación de imagen de este trabajo.

A la Escuela de Panadería de Madrid (Asempan) en general y a Manuel Flecha en particular por enseñarme la maravillosa labor de hacer pan y transmitirme su cariño, dedicación y respeto por esta tarea.

A Florindo Fierro por hacer que las catas para identificar la capacidad de discriminación, repetitibilidad y reproducibilidad de cada juez fueran exitosas gracias a sus estupendos panes.

A Wendu Tesfaye por sus consejos, apoyo y cercanía.

A Ana, por su profesionalidad, por su ayuda incondicional, por su fortaleza y claridad en los momentos difíciles y por haber encontrado una amiga con quién compartir la vida.

A Paco, por su paciencia, su cariño, su alegría y por su ayuda inestimable.

A Elena por su cercanía y afecto.

A Juan, por los buenos consejos y las charlas junto a una taza de té.

A Patri, por sentir que siempre tuve un ángel cuidándome las espaldas, gracias por tu compañía, tu apoyo incondicional, tu honestidad, tu savoir faire, tu amistad...

A Isi e Iván, mis compañeros de aventuras y emociones de por la madrugada y el día, los mejores aliados que una chica puede desear tener....y Ali, que bueno que vos estés también aquí...

A Efra, por hacerme recordar de donde vengo y hacerme preguntar a donde voy...

A Araceli, por estar siempre para escucharme, y por tus abrazos que hacen sentir que llegaste a casa...

A Cris, Belén, Juan, Paco, Jose, María Luisa, Yoli, Loli, Soco, Antonio, por los ánimos, la alegría y la confianza....

A Conchi y Tello por hacerme sentir todos estos años parte de la familia.

A Álvaro, Pablo, Ángel, Née, Jorge, Lore, los caminantes colorados, por tan buenos momentos vividos y los por vivir.

A Vicky, Ezequiel, los pitufos, Sole, Mónica, el pollo, la laucha, Gise, Juli, las Frugoni, mis amigos de Argentina, por estar siempre presente a pesar de la distancia.

A Damián, el doc, por su hermosa locura, por todos estos años y los que vendrán.... y como diría el gran Tato Bores..."Vermut con papas fritas y good show" ¡!!! La senda nos espera...

A Cele, por las risas, los instantes, el cariño, por estar...siempre...

A Steph, por reencontrarnos tan lejos de casa y reconocernos en la mirada, en los gestos y en la melancolía de la lejanía...

A mis padres, Marta y Carlos y a mis hermanos, Laura, Martita y Nahuel, que me han apoyado en todas mis locuras y que son lo mejor que tengo en esta vida....

Gracias totales...

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
ABREVIATURAS	XV
RESUMEN	XVII
SUMMARY	XIX
1.- INTRODUCCIÓN	3
1.1.- El trigo: importancia mundial y local.	3
1.1.1. Cultivo ecológico del trigo	8
1.2.- Origen y evolución del trigo	9
1.3.- El trigo panadero y el trigo espelta.	11
1.4.- Contenido en proteína del grano. Proteínas del endospermo del trigo.	14
1.4.1.- Control genético de las prolaminas.	19
1.5.- Relación de las prolaminas con la calidad.	20
1.6.- Las puroindolinas. Textura del endospermo del trigo alohexaploide.	25
1.7.- Pruebas de calidad panadera.	27
1.8. – Objetivos.	30
2. - MATERIAL Y MÉTODOS	35
2.1.- Material vegetal.	35
2.2.- Métodos.	36
2.2.1.- Molienda del grano	36
2.2.2.- Extracción de las prolaminas (gluteninas y gliadinas) del endospermo de cereales.	37
2.2.3.- Electroforesis vertical en geles de poliacrilamida al 12 % en presencia de dodecil sulfato sódico (SDS-PAGE).	38
2.2.4.- Extracción de ADN.	39
2.2.5.- Digestión de ADN.	39
2.2.6.- Identificación de gluteninas de alto peso molecular HMW mediante PCR.	40
2.2.6.1.- Discriminación de las subunidades 2•• y 2* del locus <i>Glu-A1</i> .	40
2.2.6.2.- Discriminación de las subunidades 7 y 7* del locus <i>Glu-B1</i> .	40
2.2.7.- Identificación alélica de puroindolinas mediante PCR.	40
2.2.8.- Electroforesis horizontal de ADN en geles de agarosa NuSieve.	40
2.2.9.- Evaluación de la calidad de los cultivares.	41
2.2.9.1- Evaluación de la calidad del grano de trigo.	41
2.2.9.1.1.- Peso de mil semillas.	41
2.2.9.1.2.- Dureza del grano.	41
2.2.9.1.3.- Determinación del contenido en humedad.	41
2.2.9.1.4.- Determinación del contenido en cenizas.	41
2.2.9.1.5.- Medida del contenido en proteína de la harina.	42

2.2.9.1.6.- Determinación de Fe y Zn	42
2.2.9.2.- Evaluación de la calidad harino-panadera	43
2.2.9.2.1.- Prueba del volumen de sedimentación en dodecil sulfato sódico (SDSS).	43
2.2.9.2.2.- Alveógrafo de Chopin.	43
2.2.9.2.3.- Consistógrafo de Chopin.	45
2.2.9.2.4.- Prueba de viscosidad del almidón.	46
2.2.9.2.5.- Determinación de la actividad alfa-amilásica: Índice de caída.	47
2.2.10.- Panificación experimental y calidad de los panes.	48
2.2.10.1.- Puesta a punto del protocolo de panificación a escala piloto para la elaboración de pan precocido congelado.	49
2.2.10.2.- Análisis instrumental de los productos cocidos.	50
2.2.10.2.1.- Volumen y densidad de los panes.	50
2.2.10.2.2.- Humedad de la miga.	51
2.2.10.2.3.- Textura.	52
2.2.10.2.4.- Análisis de la imagen de la rebanada de pan (C-Cell).	53
2.2.10.2.5.- Color de la miga.	54
2.2.10.3.- Análisis sensorial de los productos cocidos.	55
2.2.10.3.1.- Panel de cata.	55
2.2.10.3.2.- Calidad sensorial de los panes.	56
2.2.10.3.3.1.- Fase de selección del panel de cata.	56
2.2.10.3.3.2.- Fase de entrenamiento y validación del panel de cata.	60
2.2.10.3.3.3.- Evaluación de las muestras y perfil sensorial.	61
2.2.11.- Análisis de datos	64
3.- RESULTADOS	69
3.1.- Genética de los cultivares.	69
3.1.1.- Análisis de homogeneidad de los cultivares.	69
3.1.2.- Composición en gluteninas HMW.	69
3.1.3.- Composición en puroindolinas.	71
3.2.- Calidad de los cultivares.	72
3.2.1.- Calidad del grano: peso de mil semillas, dureza del endospermo, contenido en cenizas, contenido en proteína y contenido en minerales Fe y Zn.	72
3.2.2.- Calidad harino-panadera: prueba del volumen de sedimentación, Alveógrafo de Chopin, Consistógrafo de Chopin, RVA e Índice de caída.	73
3.2.3.- Correlaciones entre los parámetros de calidad de los cultivares.	77
3.3.- Panificación experimental y calidad de los panes.	80
3.3.1.- Protocolo de panificación.	80
3.3.2.- Calidad instrumental de los panes: volumen, densidad y humedad de los panes, parámetros de textura, estructura alveolar y color de la miga.	90
3.3.3.- Correlaciones entre los parámetros de calidad instrumental de los panes.	92
3.3.4.- Calidad sensorial de los panes.	93
3.3.4.1.- Selección de los jueces.	93
3.3.4.2.- Entrenamiento y validación del panel.	94
3.3.4.3.- Análisis sensorial de los cinco panes elaborados con los cultivares objeto de estudio.	94
3.3.4.3.1.- Análisis de diferencia entre las muestras mediante pruebas triangulares.	94
3.3.4.3.2.- Perfil sensorial de los panes.	97
3.3.5.- Correlaciones entre los parámetros analizados.	103

4.- DISCUSIÓN	109
4.1.- Calidad del grano.	109
4.2.- Genética de los cultivares. Su influencia en la calidad harino-panadera.	111
4.3.- Calidad sensorial.	116
4.3.1.- Consistencia del panel de jueces que ha realizado la valoración sensorial de los panes	116
4.3.2.- Valoración sensorial de los panes	118
5.- CONCLUSIONES	125
6.- BIBLIOGRAFÍA	131
7.- ANEXOS	149
Publicaciones	151
Formularios pruebas sensoriales	165
Ensayos alveográficos y consistográficos	173

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Rendimiento nacional de trigo años 2010-2015.	7
Figura 2.- Sello oficial de EcoCert/SHC para la certificación de alimentos procedentes de la agricultura ecológica en España.	8
Figura 3.- Datos de superficie y rendimiento de “Escanda Bio” en Asturias.	9
Figura 4.- Recolectores de trigo	10
Figura 5.- Creciente Fértil. El comienzo de la agricultura.	10
Figura 6.- Formación natural del alohexaploide <i>Triticum aestivum</i> ssp. <i>vulgare</i> (trigo panadero).	11
Figura 7.- Espigas de trigo panadero y de trigo espelta.	12
Figura 8.- Estructura de α -, γ -, y ω -gliadinas y de las B-, C-, y D-LMW-GS y estructura de las HMW-GS tipo x y tipo y.	16
Figura 9.- Modelos sobre la estructura de los macropolímeros de gluteninas.	18
Figura 10.- Esquema de loci que codifican gluteninas y gliadinas de los trigos alohexaploides.	20
Figura 11.- Patrones de HMW-GS de los tres loci <i>Gli-1</i> .	22
Figura 12.- Localización de loci de puroinodlinas en el cromosoma 5D del trigo alohexaploide.	26
Figura 13.- Variedad ‘Bonpain’ y variedad ‘Craklin’.	35
Figura 14.- Cultivares de espelta.	36
Figura 15.- Fracciones de la molienda del molino en Palazuelos (Guadalajara) y mezclador Chopin.	37
Figura 16.- Calcinación de las muestras en la mufla.	42
Figura 17.- Prueba del volumen de sedimentación en dodecil sulfato sódico (SDSS).	43
Figura 18.- Alveógrafo de Chopin, modelo NG.	44
Figura 19.- Gráfico general y parámetros de la medida alveográfica.	45
Figura 20.- Curva de viscosidad y parámetros del RVA.	47
Figura 21.- Falling Number 1700 (Perten Instruments, Hägersten, Suecia).	48
Figura 22.- Cortadora KRUPS.	50
Figura 23.- Diagrama de utilización de las diferentes rebanadas de pan.	51
Figura 24.- Desecador, balanza de precisión y estufa para determinación de humedad.	52
Figura 25.- Texturómetro TVT-300-XP.	52
Figura 26.- Equipo de análisis de la imagen de la rebanada de pan C-Cell.	54
Figura 27.- Colorímetro Minolta A) y muestras evaluadas B).	55
Figura 28.- Representación gráfica del espacio CIELAB.	55
Figura 29.- Sala de Análisis Sensorial (Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Madrid).	55
Figura 30.- Prueba de Identificación de sabores.	57
Figura 31.- Prueba de detección y reconocimiento de olores.	58
Figura 32.- Prueba de clasificación por ordenación de las muestras por el panel.	58
Figura 33.- Pruebas triangulares.	61
Figura 34.- Fraccionamiento de prolaminas por electroforesis en geles SDS-PAGE. Granos de ‘Bonpain’, ‘Craklin’, ‘Ablaca’ y ‘Sensas’.	69
Figura 35.- Fraccionamiento de prolaminas por electroforesis en geles SDS-PAGE. Granos de ‘Espelta Navarra’, ‘Lankota’, ‘Cajeme’ y ‘Espelta Álava’.	70
Figura 36.- Discriminación mediante PCR de subunidades de gluteninas HMW-GS de los loci <i>Glu-A1</i> y <i>Glu-B1</i> .	71
Figura 37.- Alveógramas a los 20 min, a las 2h y consistogramas a hidratación adaptada (HA) de los cultivares.	75
Figura 38.- Ficha de cata.	96
Figura 39.- Rebanadas de los panes de estudio. A: ‘Sensas’, B: ‘Bonpain’, C: ‘Craklin’, D: ‘Espelta Navarra’ y ‘Espelta Álava’.	97
Figura 40.- Rebanadas de los panes de estudio. A: ‘Sensas’, B: ‘Espelta Navarra’, C: ‘Craklin’, D: ‘Espelta Álava’ y E: ‘Bonpain’.	98
Figura 41.- Perfil sensorial para los valores medios de los atributos de los panes.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Producción mundial de trigo por país en 2015.	4
Tabla 2.- Países importadores de trigo.	5
Tabla 3.- Principales países exportadores de trigo.	6
Tabla 4.- Avance de superficies y producciones de julio 2015 en España.	7
Tabla 5.- Puntuaciones de calidad panadera dadas a las HMW-GS.	23
Tabla 6.- Influencia de diversas HMW-GS en la fuerza del gluten.	23
Tabla 7.- Puroindolinas a y b, textura del grano y cambios moleculares en el ADN de la pruroindolina.	27
Tabla 8.- Ejemplos de ensayos para determinar la calidad harino panadera del trigo.	29
Tabla 9.- Características de siembra de los cinco cultivares.	36
Tabla 10.- Tasa de extracción en porcentaje de los cinco cultivares.	37
Tabla 11.- Proceso seguido por cada muestra (perfil estándar del almidón).	46
Tabla 12.- Características reológicas de las harinas de ensayo.	49
Tabla 13.- Metodología empleada en la fase de selección del panel de cata.	59
Tabla 14.- Metodología empleada en la fase entrenamiento y validación del panel de cata.	62
Tabla 15.- Metodología empleada en la fase de evaluación de las muestras y perfil sensorial.	63
Tabla 16.- Composición en subunidades de gluteninas HMW-GS codificadas por los loci <i>Glu-1</i> de los cultivares.	71
Tabla 17.- Composición en puroindolinas y textura del endospermo de los cultivares.	72
Tabla 18.- Análisis de la varianza para parámetros de la calidad del grano.	72
Tabla 19.- Comparación múltiple de Tukey de los valores medios de los parámetros de calidad del grano de los cinco cultivares.	73
Tabla 20.- Análisis de la varianza para los parámetros de calidad harino-panadera.	76
Tabla 21.- Comparación múltiple de Tukey de los valores medios de los parámetros de calidad harino-panadera de los cultivares.	76
Tabla 22.- Matrices de coeficientes de correlación de Pearson (r) entre los parámetros de calidad de los cultivares.	79
Tabla 23.- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación.	81
Tabla 24.- Protocolo final para la elaboración de pan con los cinco cultivares.	89
Tabla 25.- Análisis de la varianza para los parámetros de calidad instrumental.	91
Tabla 26.- Comparación múltiple de Tukey de los valores medios de los parámetros de calidad instrumental de los cinco cultivares.	91
Tabla 27.- Matrices de los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre los parámetros de calidad instrumental de los cultivares.	92
Tabla 28.- Número de respuestas correctas y nivel de significación en las pruebas triangulares de validación.	94
Tabla 29.- Número de respuestas correctas dadas por los nueve jueces y nivel de significación en la evaluación de las muestras.	95
Tabla 30.- Análisis de la varianza para las puntuaciones dadas por los jueces a los atributos sensoriales de los panes.	99
Tabla 31.- Comparación de medias mediante pruebas múltiples de Duncan para los 20 atributos sensoriales dados por jueces.	99
Tabla 32.- Análisis de la varianza tomando como fuente de variación a los panes para los atributos sensoriales. Se indica el valor del cuadrado medio y el grado de significación.	102
Tabla 33.- Comparación de medias mediante pruebas múltiples de Duncan de los 20 descriptores para los cinco tipos de panes.	102
Tabla 34.- Correlaciones entre parámetros instrumentales y atributos sensoriales.	105

ABREVIATURAS

Las abreviaturas usadas en este trabajo han sido las siguientes:

****** prueba significativa al 1%

***** prueba significativa al 5%

ABS absorbancia

AC Área total de alvéolos como porcentaje del área de la muestra

ADN Ácido desoxirribonucleico

ANOVA Analysis of variance

A-PAGE (*Acid Polyacrylamide Gel Electrophoresis*) Electroforesis en gel de poliacrilamida a pH ácido

ARN Ácido ribonucleico

AvC Elongación promedio del alvéolo

BS Base seca

CD Media del diámetro de los alveolos

cM centimorgans

CTAB Hexadecyltrimethylammonium bromide

D₂₅₀ Parámetro del Consistógrafo de Chopin que mide el debilitamiento de la masa a los 250 segundos

D₄₅₀ Parámetro del Consistógrafo de Chopin que mide el debilitamiento de la masa a los 450 segundos

Da Dalton

DeR₀₋₄₈ Decremento de la resiliencia en la miga de pan

EDTA ácido etilendiaminotetracético

F₀ Firmeza de la miga de pan a la salida del horno

g gramo

h hora

ha hectárea

HYD Parámetro del Consistógrafo de Chopin que mide capacidad de hidratación de la harina

HMW / HMW-GS (*High Molecular Weight Glutenin Subunit*) Subunidades de gluteninas de alto peso molecular

IC Índice de caída

InF₀₋₄₈ Incremento de la firmeza de la miga de pan

J Joule

KDa Kilo Dalton

Kg Kilogramo

L Parámetro del Alveógrafo de Chopin que mide la extensibilidad de la masa

LMW / LMW-GS (*Low Molecular Weight Glutenin Subunit*) Subunidades de gluteninas de bajo peso molecular

m metros

MALDI-TOF-MS (*Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization Time Of Flight Mass*)

Spectrometer) Espectrometría de masas

mb Milibares

mg Miligramo

mm Milimetro

min Minuto

NIR (*Near InfraRed*) Infrarrojo cercano

n.s. no significativo

P Parámetro del Alveógrafo de Chopin que mide la tenacidad de la masa

pb Pares de bases

P/L Parámetro del Alveógrafo de Chopin que mide el equilibrio de la masa

PCR (*Polymerase Chain Reaction*) Reacción en cadena de la polimerasa

PMS Peso de mil semillas

PV Parámetro del RVA que mide el pico de viscosidad del almidón

QTLs Quantitative trait loci

r Coeficiente de correlación de Pearson

R Porcentaje de recombinación

R₀ Resiliencia de la miga a la salida del horno

rpm Revoluciones por minuto

RVA Rapid Visco Analyzer

SDS-PAGE (Sodium Dodecyl Sulfat- Polyacrylamide Gel Electrophoresis)

SDSS (Sedimentation in Sodium Dodecyl Sulfate) Volumen de sedimentación en SDS

Setback Parámetro del RVA que mide la diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad mínima

SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) Polimorfismo de nucleótido simple

TBE Tris + Ácido bórico + EDTA

TE Tris-EDTA

TEMED N, N, N, N'–tetrametilendiamina

Tprmax Parámetro del Consistógrafo de Chopin que mide el tiempo que tarda la masa en alcanzar la presión máxima de 2200 mb

Tol Parámetro del Consistógrafo de Chopin que mide la tolerancia al amasado

Tris Trizma-Base

W Parámetro del Alveógrafo de Chopin que mide la fuerza de la masa

W' Parámetro del Alveógrafo de Chopin que mide la degradación de la masa

RESUMEN

En esta Tesis Doctoral se ha estudiado la influencia del cultivar sobre el comportamiento reológico y panadero de cinco cultivares de trigo sembrados en el mismo año y en el mismo ambiente, en condiciones de cultivo ecológico. Tres de ellos eran de trigo panadero (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*), 'Bonpain', 'Craklin' y 'Sensas' y los otros dos de trigo espelta (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*), 'Espelta Álava' y 'Espelta Navarra'.

Actualmente, el alohexaploide trigo panadero ($2n=6x=42$ genomio AABBDD) supone en torno al 90% del trigo cultivado en el mundo. En cambio, el cultivo del trigo alohexaploide espelta ($2n=6x=42$ genomio AABBDD) se limita a pequeñas regiones de Europa y de América del Norte. En España, el cultivo de trigo espelta se ha mantenido durante años ligado a la región de Asturias, aunque en la actualidad su cultivo está empezando a diversificarse hacia otras regiones. Esto se debe, fundamentalmente, a su potencial nutricional y a su adaptabilidad a condiciones de agricultura sostenible. El reciente resurgimiento de la espelta en productos de panificación, se debe, en gran parte, a la percepción del consumidor de que se trata de un producto "más saludable" y "más natural" y con menor requerimiento de insumos que los trigos modernos. A medida que el consumo de alimentos a base de harina de espelta aumenta, se plantea la necesidad de evaluar su calidad harino-panadera, nutricional y sensorial en comparación con los productos elaborados con variedades de trigo común.

Se caracterizaron las gluteninas de alto peso molecular (HMW) y las puroindolinas de los cinco cultivares. Se evaluó la calidad del grano, la reología de sus masas y se analizó la calidad instrumental y sensorial de sus panes. Para tal fin se ha puesto a punto un protocolo de panificación adecuado a las características particulares de los trigos espelta y se ha propuesto para el análisis sensorial de los panes un protocolo de selección, entrenamiento y validación de jueces.

Teniendo en cuenta la composición en gluteninas HMW de los cultivares, se comprobó su influencia en el volumen de sedimentación y en la fuerza panadera. La composición en puroindolinas se vió reflejada en el parámetro dureza del endospermo. Los resultados indicaron que hay diferencias entre trigo panadero y trigo espelta en parámetros como, la tenacidad y el equilibrio de sus masas, la capacidad de absorción de agua de la harina y el comportamiento de la masa durante el amasado. Los trigos espeltas mostraron menor valor en el tiempo en alcanzar la presión máxima y la tolerancia al amasado, mientras que

presentaron valores superiores en el decaimiento a los 250 y 450 segundos respectivamente. Respecto a la calidad de los panes elaborados, los trigos espeltas tenían mayor elasticidad en la miga y mayores valores en el área y en el diámetro de sus alveolos. Estas diferencias en la estructura y textura de la miga fueron también detectadas a nivel sensorial por el panel de jueces. Mediante el perfil sensorial descriptivo, se determinó que uno de los dos panes elaborado con trigo espelta ('Espelta Navarra') fue el pan más complejo considerando conjuntamente los atributos de aroma y flavor.

En este trabajo no se apreciaron diferencias entre ambos tipos de trigo ni en el contenido en proteína, ni en minerales, ni en la viscosidad de su almidón.

SUMMARY

In this Doctoral Thesis, the influence of various cultivars on rheological and baking behavior was studied. Five wheat cultivars were used, all planted in the same year and same organic farming environment. Three were bread wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare*), 'Bonpain', 'Craklin' and 'Sensas' and the other two were spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) , 'Espelta Álava' and 'Espelta Navarra' .

Currently, the allohexaploid bread wheat ($2n=6x=42$ genome AABBDD) represents about 90% of global wheat production. On the other hand, allohexaploid spelt wheat ($2n=6x=42$ genome AABBDD) is merely produced in small areas of Europe and North America. For many years, the cultivation of spelt wheat in Spain was limited to the region of Asturias, although nowadays its production has begun to spread into other regions. This is owing to its nutritional potential and adaptability to conditions of sustainable agriculture. The recent resurgence of spelt in baking products is mainly due to consumers perception of it, as "healthier" and "more natural", and to the fewer agricultural input requirements compared to modern wheat products. As the consumption of foods made from spelt flour increases, there is a need to assess its baking, nutritional and sensory quality, compared to products made with common varieties of wheat.

High molecular weight glutenins and puroindolines from the five cultivars were characterized. The quality of the grain and the rheology of the dough were evaluated and the instrumental and sensory quality of its breads were analyzed. To this end it a baking protocol was appropriately developed to the particular characteristics of spelt wheat and a selection protocol was proposed for the sensory analysis of breads, after proper training and validation of judges.

Considering the HMW glutenin composition of the cultivars, the influence on the sedimentation volume and the baking strength was proven. The composition of puroindolines was reflected in the endosperm hardness parameter. The results show that there are differences between bread wheat and spelt wheat on parameters such as the tenacity and tenacity/elasticity ratio of their masses, the water absorption capacity of the flour and the behavior of the dough during kneading. The values for total time to reach maximum pressure and tolerance to mixing were lower for spelt wheat, and higher values were found for the drop at 250 s and 450 s. Regarding the quality of manufactured bread, spelt wheat had the greatest elasticity of the crumb and higher values in the area and

diameter of the cells. These differences in the structure and texture of the crumb were also noticed at a sensory level by the panel of judges. It was determined by a descriptive sensory profile that one of the two loaves of bread made with spelt ('Espelta Navarra') was the most complex in the sense of its attributes of scents and flavors altogether.

In this study, no differences were appreciated between the two types of wheat or the protein composition, or minerals or viscosity of the starch.

INTRODUCCIÓN

1.-INTRODUCCIÓN

Trigo es el término con que se nombra a cereales, tanto cultivados como silvestres, pertenecientes al género *Triticum*. Todos ellos son plantas anuales de la familia de las gramíneas, y su cultivo ha sido y es un importante alimento para la humanidad, especialmente en el hemisferio norte, donde supone una fuente fundamental de energía, por la aportación de sus hidratos de carbono, proteínas y minerales. Según la Real Academia Española (RAE, 2001), la palabra “trigo” proviene del vocablo latino *triticum*, que significa “quebrado”, “triturado” o “trillado”, haciendo referencia a la acción que se debe realizar para separar el grano de la cascarilla que lo recubre. Con el vocablo trigo se designa tanto a la planta como a sus semillas comestibles.

La predicción, para la cosecha de cereales 2015/16 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015), es que la producción ascenderá a 2.527 millones de toneladas, de los cuales 1.096 millones de toneladas se espera, se consuman para alimentación humana, correspondiendo al trigo 491 millones de toneladas. Se calcula en 67,0 kg el consumo humano anual per cápita.

El trigo es el alimento básico para el 40 % de la población mundial, principalmente en Europa, América del norte y en el norte y oeste de Asia (FAO, 2015). Puede ser cultivado en extensas zonas de la tierra, desde los 67° de latitud Norte de Noruega, Finlandia y Rusia, a los 45° de latitud Sur de Argentina.

1.1.- El trigo: importancia mundial y local

La producción mundial de trigo en 2015 alcanzó unos 735 millones de toneladas, casi dos millones de toneladas más que en 2014, debido sobre todo al aumento de la producción en Australia, China, Estados Unidos, Marruecos, Turquía y Ucrania (FAO, 2015).

De acuerdo con su volumen de producción, el trigo ocupa el segundo lugar en el mundo, después del maíz, representando estos dos cultivos el 85 % del mercado mundial de cereales, según el Consejo Internacional de Cereales (CIC, 2015).

La producción mundial de trigo (Tabla 1) está dirigida, en su mayoría, al consumo humano (74 %), para pienso se destina un 16 %, semilla para siembra un 5,5 % y para uso

Introducción

industrial un 4,5 %. Se estima que esta cantidad de consumo humano directo de trigo irá en aumento, al igual que la producción en los próximos años.

Tabla 1.- Producción mundial de trigo por país en 2015

País	Toneladas métricas
Europa	157.274.000
China	130.000.000
India	88.940.000
Rusia	60.500.000
EEUU	55.840.000
Otros	55.130.000
Ucrania	27.000.000
Australia	26.000.000
Canadá	26.000.000
Pakistán	25.000.000
Turquía	19.500.000
Irán	14.000.000
Kazajstán	14.000.000
Argentina	10.500.000
Egipto	8.100.000
Marruecos	8.000.000
Uzbekistán	7.200.000

Fuente: USDA, 2015.

Cada año, se importa en el mundo, trigo por un valor de más de 40.000 millones de dólares. La importación tiene cierta diversificación por países, dado que los veinte mayores países importadores compran el 58 % del trigo (Tabla 2). Egipto es el importador líder, siendo otros importantes importadores Indonesia, Argelia, Brasil y Japón. La Unión Europea es el quinto importador mundial y dentro de ella, España ocupa el noveno lugar con importaciones por valor de unos 1.200 millones de dólares (United States Department of Agriculture [USDA], 2015).

Tabla 2.- Países importadores de trigo

Importaciones mundiales de trigo (miles de toneladas) ⁽¹⁾						
País/Región	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2015/16
Egipto	11.650	8.300	10.170	11.063	11.500	11.500
Indonesia	6.457	7.146	7.392	7.478	7.800	8.100
Argelia	6.500	6.484	7.484	7.257	7.700	7.700
Brasil	7.053	7.547	7.061	5.869	6.300	6.300
Unión Europea	7.362	5.276	3.974	5.973	6.000	6.000
Japón	6.354	6.598	6.123	5.878	5.800	5.800
Filipinas	4.075	3.645	3.482	5.099	4.800	4.800
Irán	2.400	5.600	6.600	5.006	4.500	4.500
México	5.020	3.823	4.636	4.446	4.400	4.400
Nigeria	3.903	4.138	4.580	4.244	4.400	4.400
Korea del Sur	5.188	5.439	4.288	3.942	4.200	4.200
Saudi Arabia	2.904	1.921	3.429	3.487	3.800	3.800
Turquía	4.413	3.312	4.154	5.960	3.800	3.800
Bangladesh	2.039	2.725	3.354	3.804	3.600	3.600
Tailandia	2.646	1.845	1.693	3.489	3.200	3.500
Estados Unidos	3.037	3.476	4.785	3.987	3.350	3.350
Yemen	2.685	3.149	3.425	3.245	3.300	3.300
Iraq	3.784	3.948	3.246	2.253	3.200	3.200
Marruecos	3.671	3.825	3.892	4.073	2.800	2.800
Sudán	2.360	1.793	2.664	2.632	2.800	2.800
Vietnam	2.711	1.671	2.158	2.296	2.600	2.600
Uzbekistán	2.698	1.863	2.224	2.230	2.200	2.400
Afganistán	2.200	1.600	2.050	2.000	2.000	2.000
China	2.933	2.960	6.773	1.926	2.000	2.000
Túnez	1.473	1.523	1.634	1.461	2.000	2.000
Etiopía	1.550	1.344	670	1.100	1.600	1.900
Otros	44.842	43.808	48.269	48.133	48.461	48.661
No Contabilizados	1.857	2.449	2.173	3.014	2.781	2.881
Total mundial	153.765	147.208	162.383	161.345	160.892	162.292

(1) Importaciones del año comercial.

Fuente: USDA, 2015.

A diferencia de las importaciones, las exportaciones de trigo (Tabla 3) están mucho más concentradas. Nueve países representan el 85 % de las exportaciones mundiales. A la cabeza se encuentra Rusia con un 20 % de la cuota de mercado, seguida por Estados Unidos y Canadá. Las siguientes posiciones las ocuparían, de mayor a menor valor exportado: Australia, Ucrania, Argentina, Kazajistán, Turquía y Brasil. Cabe destacar que el único país de la Unión Europea considerado gran exportador es el Reino Unido y si se considerara la Unión Europea como bloque, ésta sería la primera exportadora mundial.

Introducción

Tabla 3.- Principales países exportadores de trigo

Exportaciones mundiales de trigo (miles de toneladas) ⁽¹⁾						
País/Región	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2015/16
Unión Europea	16.728	22.786	32.033	35.401	33.500	32.500
Rusia	21.627	11.289	18.568	22.800	23.500	23.500
Estados Unidos	28.142	27.734	31.518	22.752	22.000	22.000
Canadá	17.603	18.584	22.157	24.832	20.500	21.000
Australia	23.031	21.269	18.339	16.575	17.500	17.500
Ucrania	5.436	7.190	9.755	11.269	15.000	15.500
Argentina	11.951	7.450	1.675	4.200	5.500	6.500
Kazajistán	11.069	6.801	8.000	5.507	6.500	6.500
Turquía	3.678	3.583	4.293	4.136	4.000	4.000
Brasil	1.860	1.753	81	1.688	1.500	1.500
México	790	729	1.322	1.104	1.100	1.100
Otros	11.850	18.040	14.642	11.081	10.292	10.692
Total mundial	153.765	147.208	162.383	161.345	160.892	162.292

⁽¹⁾ Exportaciones del año comercial.

Fuente: USDA, 2015.

A nivel nacional, respecto al cultivo de trigo panadero en España, la superficie cultivada y la producción nacional fueron, en 2015 (Tabla 4), ligeramente inferiores a las de la campaña precedente de 2014, rompiendo la tendencia de incremento que se había iniciado en el año 2009. Castilla y León mantiene su posición como granero del país, con valores del 47,4 % de superficie cultivada y 51,7 % en producción. Su rendimiento respecto al año anterior se ha incrementado hasta las 3,27 t/ha. Las Comunidades Autónomas con mayor rendimiento son el País Vasco y Navarra con 4,3 t/ha y 5,5 t/ha, respectivamente, y las de menor rendimiento, Castilla la Mancha y Extremadura con valores que no alcanzan las 2 t/ha (Asociación Española de Técnicos Cerealistas [AETC], 2015).

Tabla 4.- Avance de superficies y producciones de julio 2015 en España

Cosecha 2015	Superficie		Producción		Rto t/ha
	ha	%	1000 t	%	
Andalucía	161.279	8,8	497,3	9,1	3,08
Aragón	155.698	8,5	459,9	8,4	2,95
Castilla y León	864.695	47,4	2.828,6	51,7	3,27
Castilla La Mancha	291.122	16,0	556,6	10,2	1,91
Cataluña	91.035	5,0	290,8	5,3	3,19
Extremadura	77.500	4,2	143,0	2,6	1,85
Madrid	26.908	1,5	77,6	1,4	2,88
Navarra	72.222	4,0	313,5	5,7	4,34
País Vasco	23.607	1,3	129,8	2,4	5,50
La Rioja	30.000	1,6	106,0	1,9	3,53
Total	1.794.066	98,4	5.403,1	98,7	3,01
TOTAL ESPAÑA	1.823.574	100	5.473,0	100	3,00

Fuente: AETC, 2015.

El rendimiento medio en España en la campaña 2014/15 (Figura 1) ha estado un 7 % por debajo de la media de los últimos cinco años, principalmente condicionado por una climatología adversa, debido a ausencia de precipitaciones y a altas temperaturas en el mes de mayo, con al menos dos golpes de calor, que motivó que el desarrollo final del cultivo se haya caracterizado por un menor número de granos por espiga y granos con menor peso específico, lo que ha incidido directamente de forma negativa en el rendimiento final por hectárea (AETC, 2015).

Figura 1.- Rendimiento nacional de trigo años 2010-2015.

Fuente: AETC, 2015.

Introducción

1.1.1.- Cultivo ecológico del trigo

Varias especies de variedades antiguas, en los últimos años, han sido reintroducidas en la agricultura ecológica (Lang, 2006). Un ejemplo de cereal redescubierto es el trigo espelta, que se caracteriza por estar bien adaptado a condiciones de cultivo ecológico. La agricultura ecológica, se puede definir de manera sencilla como “un compendio de técnicas agrarias que excluye normalmente el uso, en la agricultura y ganadería, de productos químicos de síntesis como fertilizantes, plaguicidas, antibióticos, etc., con el objetivo de preservar el medio ambiente, mantener o aumentar la fertilidad del suelo y proporcionar alimentos con todas sus propiedades naturales” (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente [MAGRAMA], 2015).

A nivel mundial, la agricultura ecológica ocupa más de 31 millones de hectáreas, mientras que en la Unión Europea abarca 6,9 millones, lo que supone el 27 % de la producción mundial (Ortiz-Escobar y Hue, 2007). De acuerdo con la “Organic Trade Association”, sólo en los EE.UU., el mercado de alimentos orgánicos se elevó de 3,5 millones de dólares en 1996 a 28,6 mil millones de dólares en 2010 (Forman y Silverstein, 2012).

En España, la agricultura ecológica se encuentra regulada legalmente desde 1989, año en que se aprobó el Reglamento de la Denominación Genérica "Agricultura Ecológica" (Figura 2) que fue de aplicación hasta la entrada en vigor del Reglamento de la Unión Europea 2092/91, sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios (MAGRAMA, 2016). En el año 2013, la superficie dedicada en España al cultivo ecológico de trigo panadero y espelta fue de 23.879,89 ha, con una producción de 24.862,65 tm (Agricultura Ecológica, Estadísticas 2013).

Figura 2.- Sello oficial de EcoCert/SHC para la certificación de alimentos procedentes de la agricultura ecológica en España.

En la región de Asturias, donde se había localizado cultivo tradicional de espelta (Rodríguez-Quijano et al., 1990; Elía et al., 2004; Elía, 2007), desde la empresa “Escanda Asturiana S.L. *Speltastur*”, se empezó en 1997 a recuperar y a comercializar su cultivo. Actualmente, se ha llegado a unos datos de producción de 61.195 Kg en 2013 (Figura 3) y están expandiéndose a otras regiones de España (Consejo de la Producción Agraria Ecológica del Principado de Asturias [COPAE], 2015).

Figura 3.- Datos de superficie y rendimiento de “Escanda Bio” en el Principado de Asturias.
Fuente: COPAE, 2015.

1.2.- Origen y evolución del trigo

El origen del cultivo del trigo se remonta a 12.000 años, cuando un grupo de agricultores-recolectores comenzó a sembrarlo (Figura 4). A este período de la práctica agrícola en la evolución humana se le ha denominado “revolución neolítica”. En un comienzo se cosecharon trigos silvestres y posteriormente, se fueron seleccionando granos, lugares de cultivo, es decir, se llegó a la domesticación de productos agrícolas, comenzando ya la época del hombre como agricultor. El primer trigo cultivado es el que se conoce como einkorn, un trigo diploide denominado *Triticum monococcum*, que se cultivó hasta casi la Edad de bronce, donde se dejó de cultivar mayoritariamente, relegándose actualmente su cultivo a algunas zonas minoritarias del mundo. El cultivo mayoritario en esa época era el de los trigos poliploides, que tenían mayor vigor y producción. En su evolución habían llegado a adaptarse a diferentes climatologías y a diferentes regiones geográficas; además, en algunos de ellos, ya se podían separar fácilmente los granos de las glumas (“granos desnudos”).

Estos trigos se originaron por hibridación natural entre especies ancestrales y posterior evolución (Feldman y Levy, 2005), en la región comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates, en la antigua Mesopotamia, actual Iraq, hace aproximadamente 10.000 años. Por ello, se

Introducción

considera que el centro de origen de los trigos poliploides es la región conocida como Oriente Próximo, siendo Centros de Diversidad, el del Mediterráneo, el de Asia Central y el de Etiopía. La domesticación de los cereales. El área marcada de color verde oscuro en el mapa (Figura 5) muestra la región del Cercano Oriente (Israel, Jordania, Turquía, Siria, Irán, Irak), conocido como el Creciente Fértil, desde donde se han recuperado los primeros restos arqueológicos de la cebada, escanda y trigo espelta (Feuillet et al., 2008).

Figura 4.- Recolectores de trigo.

Figura 5.- Creciente Fértil. El comienzo de la agricultura.

Se considera que el primer paso evolutivo en el origen de los trigos que más se cultivan actualmente, los poliploides, fue la hibridación y posterior duplicación de un trigo diploide de genomio A, cercano al *Triticum urartu* ($2n=2x=14$), con una especie diploide silvestre ($2n=2x=14$) de genomio B, de la sección *Sitopsis* cuya especie actualmente no está identificada y que estaría relacionado con el actual *Aegilops speltoides* (Figura 6). De esta manera se originó un alotetraploide fértil que fue domesticado hace aproximadamente 10.000 años, el denominado *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* ($2n=4x=28$, genomio AABB). Se caracterizaba por su mayor vigor, mayor producción y se adaptaba a las diferentes condiciones ambientales, no obstante esta especie tenía el inconveniente de poseer un raquis quebradizo. Posteriormente, evolucionó al alotetraploide *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* ($2n=4x=28$, genomio AABB), que tenía el raquis tenaz.

En una segunda acción evolutiva, hace unos 7.000 años, en la región cercana al mar Caspio, el trigo alotetraploide *Triticum turgidum* hibridó con la especie diploide silvestre de genomio D, *Aegilops tauschii* (*Aegilops squarrosa*), ($2n=2x=14$), que por posterior duplicación, originó un alohexaploide fértil ($2n=6x=42$, genomio AABBDD), que se ha denominado *Triticum aestivum*. La aportación del genomio D permitió que se pudiera

cultivar en climas más continentales, lo que lo habilitó para expandirse hacia Asia Central. Estos primeros alohexaploides son los conocidos como trigos espelta (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*). Posteriormente este *Triticum aestivum* evolucionó hacia las subespecies *compactum*, *macha*, *sphaerococcum*, *vavilovii* y *vulgare*. Es precisamente, esta última subespecie, como se denomina actualmente al trigo panadero.

El trigo llegó a los países europeos hace unos 8.000 años desde Anatolia a Grecia, 5.000 años después a los países nórdicos y a Inglaterra y unos 1.000 años más tarde, a Italia, Francia, España y Portugal. También se dispersó desde Irán hacia China, y a África desde Egipto. En América lo introdujeron los españoles desde México y en Australia los ingleses.

Figura 6.- Formación natural del alohexaploide *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* (trigo panadero).
Fuente: adaptado de Feuillet et al., 2008.

1.3.- El trigo panadero y el trigo espelta.

Se considera al trigo espelta (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) como el cereal más antiguo que se ha cultivado en Europa (McFadden y Sears, 1946), habiéndose encontrado granos en restos arqueológicos griegos y romanos. Hasta hace unos pocos años, su cultivo ha estado reducido a regiones aisladas en zonas de Alemania y Suiza y, en España, a la región de Asturias.

Introducción

La mejora del trigo panadero (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) se basa principalmente en que posee el alelo dominante *Q*, responsable de lo que se conoce como grano “desnudo”, es decir, las glumas no están pegadas, y esta es una de las principales diferencias entre el trigo espelta y el trigo panadero. En el trigo espelta cada espiguilla tiene dos granos, cubiertos por glumas de lados cuadrados y cortos que no se desprenden tras la trilla, por eso se los denominan “trigos vestidos”, y es debido a ello que su resistencia a patógenos que atacan al grano y a estreses abióticos aumenta. Esta característica lo hace muy apropiado para el cultivo ecológico.

El trigo espelta fue un cultivo muy extendido, tanto por Europa como por los Balcanes, pero la mecanización de las labores de cultivo, la difusión de los trigos desnudos de mayor productividad, así como la introducción del cultivo de maíz, llevaron a reducir su cultivo. Sin embargo, en las dos últimas décadas, se ha retomado en Europa el interés por su cultivo. Se considera que una parte de la población lo percibe como un alimento “natural” y con “buenas propiedades organolépticas”, por lo que su cultivo se ha incrementado notablemente. Hoy en día, en la mayoría de las panaderías españolas y en las grandes superficies se vende pan elaborado con harina de trigo espelta.

La característica de grano “desnudo” o “vestido”, está controlada genéticamente, por el locus *Q, q* situado en el cromosoma 5A. El alelo recesivo *q* es el responsable del grano “vestido”, mientras que la presencia del alelo dominante *Q* es responsable del grano “desnudo”. En la Figura 7 se pueden observar espigas de ambos tipos de trigos.

Figura 7.- Espigas de trigo panadero y de trigo espelta.

En el grano de trigo se diferencian las siguientes partes: los tegumentos (12-18 %), el embrión (2-3 %) y el endospermo (80-85 %). La harina del endospermo del trigo se compone principalmente de:

- Almidón (70-75 %)
- Agua (12-14 %)
- Proteína (8-16 %)
- Polisacáridos (2-3 %)
- Lípidos (2 %)
- Cenizas (1 %)

En las diferentes variedades de trigo, la calidad de su harina va a depender del proceso de molienda y de la composición química de sus componentes. Bonafaccia et al. (1999) describieron notables diferencias entre harinas de trigo espelta y de trigo panadero. Estos autores puntualizaron que las harinas de espelta tienen mayor contenido en proteína, en aminoácidos esenciales, en minerales, en fibra y en vitaminas, y se le considera con propiedades que ayudan a una mejor digestibilidad. Gómez-Becerra et al. (2010) encontraron genotipos de espelta que tenían altas concentraciones de hierro y zinc en diferentes condiciones ambientales. Son varios los autores (Abdel-Aal et al., 1997; Zanetti et al., 2001; Gómez-Becerra et al., 2010) que describen a los espeltas como trigos con alto contenido en proteína y, en la revisión llevada a cabo por Escarnot et al. (2012), se atribuye dicha característica a los rendimientos más bajos obtenidos para los espeltas. En la misma línea, y en la revisión más reciente, realizada por Hammed y Simsek (2014), se concluye que los granos vestidos poseen un mayor contenido en proteína y cenizas que los de trigo desnudo, debido a su menor tamaño y mayor ratio superficie/volumen del grano. Esto provoca una mayor proporción de cubiertas del grano, que son ricas en proteína y minerales.

Se han descrito otras propiedades en los trigos espelta: Zanetti et al. (2001) apuntan que los trigos espelta poseen un flavor único y Hammed y Simsek (2014) que aporta mejores propiedades organolépticas. Aunque Pasqualone et al. (2011), analizando propiedades sensoriales de panes elaborados con trigo panadero y trigo espelta, no encontraron diferencias entre ellos.

Otro aspecto que resulta diferenciador de los trigos espelta, es que la maquinabilidad de sus masas es más difícil que la de las masas elaboradas con trigo panadero (Filipčev et al., 2013). Algunos autores proponen, para paliar esta dificultad, incorporar altas dosis de ácido ascórbico, reducir tiempos de amasado (Schoeber et al., 2006; Filipčev et al., 2013) y/o

Introducción

aumentar los tiempos de reposo de la masa e incorporar pliegues intermedios (Filipčev et al., 2013). Hammed y Simsek (2014) apuntan que el empleo de masas madre o la incorporación de granos escaldados a la masa, son alternativas indispensables para mejorar la calidad de los panes elaborados con harinas de espelta.

1.4.- Contenido en proteína del grano. Proteínas del endospermo del trigo

Las proteínas contribuyen a los tres principales atributos de calidad que determinan la aptitud panadera de un trigo: el contenido en proteína de la muestra, las propiedades reológicas de sus masas y la dureza del grano (Wrigley, 1994). Las dos primeras se refieren a la importancia de la cantidad y la calidad de la proteína. El tercer atributo (la dureza) está relacionado con las interacciones (o su ausencia) entre las proteínas que rodean el gránulo de almidón y la proteína intersticial de la matriz del endospermo. El contenido en proteína se caracteriza por ser un parámetro muy sensible a las condiciones ambientales y de baja heredabilidad. Shewry (2007) encontró QTLs relacionados con este parámetro en los cromosomas 2D, 2B, 5A, 5B, 5D, 6A, 6B y 7A, y Kerfal (2008) también en los cromosomas 1D, 2A y 6D. Por otra parte, Avivi (1978) describió que la accesión FA 15-3 del alotetraploide ancestral *T. turgidum* ssp. *dicoccoides* podía llegar a contener un 40 % de proteína en condiciones adecuadas de cultivo. Joppa y Cantrell (1990) localizaron en el cromosoma 6B de esta subespecie un locus cuantitativo relacionado con la variación del contenido en proteína del grano y Joppa et al. (1997) lo mapearon en el brazo corto del cromosoma 6B.

Se pudo observar, además, que también estaba relacionado con el contenido en zinc y en hierro. Calmak et al. (2004) y Olmos et al. (2003) lo identificaron como un locus mendeliano denominado *Gpc-B1*. El gen candidato es el *NAM-B1* (locus *Gpc-B1*). El alelo de tipo “salvaje” de este gen se ha asociado con mayor contenido en proteína del grano, y mayor contenido de zinc y hierro. El alelo no funcional difiere del tipo “salvaje” en la inserción de un nucleótido que interrumpe el marco de lectura (Uauy et al., 2006).

Desde los años 70 del siglo pasado, los trabajos de investigación de los mejoradores se dirigieron principalmente a conocer la composición de las proteínas del grano de trigo y, principalmente, de las que forman el gluten con su harina. La observación de los panaderos de que “panes hechos con variedades de trigo diferentes, eran diferentes en sus características reológicas y sensoriales” debía ser explicada.

El estudio de las proteínas del endospermo del grano de trigo había revelado que:

- Se forman entre 12-40 días después de la antesis.
- Son una fuente de alimento del embrión.
- Tienen una alta composición en los aminoácidos asparragina y glutamina (ricos en nitrógeno) y en los hidrofóbicos prolina, glutamina, leucina e isoleucina y baja en los hidrófilos lisina y aspártico.
- Se caracterizan por su facilidad en cambios mutacionales.

Las proteínas del endospermo del grano fueron clasificadas por Osborne (1907) y Bushuk (1986) en:

- **Albúminas**, solubles en agua (15 % de la fracción del endospermo).
- **Globulinas**, solubles en soluciones salinas neutras (5 % de la fracción del endospermo).
- **Gluteninas**, solubles en soluciones ácidas o alcalinas y en disolventes hidrofóbicos (47 % de la fracción del endospermo).
- **Gliadinas**, solubles en alcohol diluido (etanol al 70 %) (33 % de la fracción del endospermo).

Las albuminas y las globulinas no forman parte del gluten, mientras que las gliadinas y las gluteninas, también denominadas prolaminas por su alta composición en los aminoácidos prolina y glutamina, son las proteínas que forman el gluten.

Las gluteninas son proteínas poliméricas (MacRitchie y Lafiandra, 1997). Se pueden observar, en los geles de poliacrilamida SDS-PAGE, a las subunidades de gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) con Pm entre 67.000-88.000 Da y, entre 20.000-45.000 Da, a las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (LMW-GS), las cuales se suelen subdividir, según su movilidad, en: D-LMW-, B-LMW- y C-LMW-gluteninas (Jackson et al., 1983).

La estructura de las LMW-GS se caracteriza por ser similar a las α - y γ -gliadinas. Está constituida por un péptido señal de veinte aminoácidos, dos dominios no repetitivos, el N-terminal, con unos 14 residuos y el C-terminal, con unos 190 residuos y bajo contenido en prolina, que rodean al dominio central repetitivo muy rico en prolina y con unos 75 residuos (Tatham et al., 1987). Las gluteninas B-LMW-GS y C-LMW-GS se clasifican en: LMW-s, LMW-m y LMW-i, según sea el residuo del primer aminoácido (serina, metionina e

Introducción

isoleucina, respectivamente) del dominio N-terminal (Kasarda et al., 1994; D'Ovidio y Masci, 2004) y en otros dos grupos (Lew et al., 1992) que tienen una secuencia similar a las de las α - y γ -gliadinas. Las D-LMW-GS son gluteninas del tipo de las ω -gliadinas (Nieto-Taladriz et al., 1998). En la figura 8 se pueden observar estas estructuras.

Figura 8.- (A): estructura de α -, γ - y ω -gliadinas (amarillo) y de las B-, C-, y D-LMW-GS (azul). (B): estructura de las HMW-GS tipo x y tipo y. Los dominios repetitivos están con color mientras que los dominios no repetitivos están en blanco. La posición de los residuos de cisteína conservados se indica con números árabigos. Residuos de cisteína adicionales no conservados se indican con C*. Las líneas de puntos indican enlaces disulfuro intramoleculares. Q presencia de poliglutamina. Similares regiones de polipéptidos se han alineado en base a sus secuencias de aminoácidos. Adaptada de la revisión de Delcour et al. (2012).

Las HMW-GS en los geles SDS-PAGE se diferencian en dos tipos. Las tipo-x tienen peso molecular entre 83.000-88.000 Da y las tipo-y entre 67.000-74.000 Da (Rogers et al., 1991). Las variedades de los trigos alohexaploides podrían tener hasta seis de estas subunidades, aunque sólo se han encontrado variedades con hasta un máximo de cinco ya que el tipo-y controlado por el cromosoma 1A no se expresa. Y, aunque la “cantidad” de subunidades de gluteninas HMW-GS son pocas en una variedad de trigo, su valor en la viscoelasticidad del

gluten es muy importante. Payne et al. (1988) encontraron que hasta un 60 % de su variabilidad podía ser atribuída a la variabilidad de estas proteínas en las variedades de trigo.

La estructura de las HMW-GS se caracteriza por tener tres dominios (Shewry et al., 1989, 1992), dos de ellos no repetitivos: el N-terminal (con unos 80-100 residuos) y el C-terminal (con unos 42 residuos), rodeando ambos al dominio central repetitivo con unos 400-700 (Shewry et al., 2003) o entre 600-850 residuos de aminoácidos (Delcour et al., 2012). Los residuos de cisteína se encuentran principalmente en los dominios terminales. En la figura 8 se pueden observar estas estructuras.

Las gliadinas son proteínas monoméricas (MacRitchie y Lafiandra, 1997), con pesos moleculares entre 20.000-75.000 Da, que se dividen según su movilidad en geles de poliacrilamida a pH ácido (A-PAGE) en: α -, γ - y ω -gliadinas. Las ω -gliadinas no forman puentes disulfuro, son ricas en glutamina, prolina y fenilalanina y se estabilizan mediante interacciones hidrofóbicas, los otros tipos de gliadinas sí forman puentes disulfuro intracatenarios y son ricas en cisteína y metionina.

En su estructura (Figura 8A), las α -gliadinas tienen seis residuos de cisteína y las γ -gliadinas ocho, y se encuentran en posiciones altamente conservadas, todos ellos implicados en la formación de puentes disulfuro intracatenarios. Las ω -gliadinas carecen de residuos de cisteína. Los dominios N-terminal y C-terminal son cortos, el primero con 5-14 residuos de aminoácidos y el segundo formado por una sucesión de poliglutaminas y secuencias de lisina y arginina únicas. El dominio repetitivo central contiene hasta 100 residuos organizados en secuencias de uno o dos motivos principalmente de glutamina, prolina y aminoácidos hidrofóbicos, fenilalanina o tirosina, como describen en su revisión Delcour et al. (2012).

Las HMW-GS y LMW-GS están constituidas por subunidades que se unen formando polímeros (de ahí su denominación de poliméricas), pero hay diferentes hipótesis sobre la manera en que se disponen en los polímeros. El modelo de Graveland et al. (1985) propone que la columna central de la molécula está formada solo por subunidades de gluteninas HMW-GS y tiene ramificaciones de subunidades de gluteninas LMW, con puentes disulfuro robusteciendo la estructura.

Introducción

Basándose en el modelo de Graveland et al. (1985), Lindsay y Skerrit (1999) propusieron un modelo ramificado de macropolímeros de gluteninas. Al igual que Graveland et al. (1985), tendría una columna central con HMW-GS y con LMW-GS y ramificaciones sólo con LMW-GS (Figura 9A). Mientras que Wieser et al. (2006) proponen un modelo en el que la unidad básica molecular de los polímeros consistiría en seis HMW-GS y unas treinta LMW-GS enlazadas mediante puentes disulfuro intercatenarios (Figura 9B). Un polímero grande de estas moléculas de gluteninas podría llegar a tener hasta diez de estas subunidades (Delcour et al. 2012, revisión).

Figura 9.- Modelos sobre la estructura de los macropolímeros de gluteninas. (A): modelo ramificado de Lindsay y Skerrit (1999) compuesto por una columna vertebral de HMW-GS y LMW-GS con ramificaciones lineales de solo LMW-GS. (B): Modelo de Wieser et al. (2006), LMW-GS (puntos en negro) y HMW-GS (cuadrados en blanco). Adaptada de la revisión de Delcour et al. (2012).

1.4.1.-Control genético de las prolaminas

Las subunidades de gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) están codificadas por loci complejos que están situados a unos 9 cM del centrómero (Payne et al., 1982), en los brazos largos de los cromosomas del grupo 1 de homeología (Figura 10), denominándose *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1* a los situados en los cromosomas 1A, 1B y 1D, respectivamente (Payne et al., 1982; Shewry et al., 1992). En cada locus complejo se encuentran dos genes estrechamente ligados, codificando a dos polipéptidos, las subunidades de gluteninas tipo x y tipo y.

Las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (LMW-GS) están codificadas también por loci complejos que se encuentran situados en la zona distal del centrómero en los brazos cortos de los cromosomas del grupo 1 de homeología (Figura 10), denominándose *Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3* a los situados en los cromosomas 1A, 1B y 1D, respectivamente (Singh y Shepherd, 1988; Gupta y Shepherd, 1990). En cada locus complejo se encuentran varios genes estrechamente ligados.

Otros loci menores que codifican gluteninas han sido descritos. Sreeramulu y Singh (1997) informaron de dos loci que codificaban algunas subunidades de gluteninas de bajo peso molecular del tipo C (C-LMW-GS). Los situaron en los cromosomas 1D y 7D y los denominaron *Glu-D4* y *Glu-D5*, respectivamente. Metakovsky et al. (1997) y Lucas (2008) encontraron subunidades de gluteninas C-LMW-GS controladas por genes situados en el brazo corto del cromosoma 6B y que estaban estrechamente ligados al locus *Gli-B2* que controla las gliadinas en ese cromosoma.

Estrechamente ligados a los loci *Glu-3* que codifican LMW-GS se encuentran loci complejos que codifican gliadinas. Estos loci se denominan *Gli-A1*, *Gli-B1* y *Gli-D1* (Payne, 1987a) y codifican a la mayoría de las ω - y γ -gliadinas y a algunas α -gliadinas (Figura 10). Cada locus puede tener varios genes estrechamente ligados y por ello se dice que las gliadinas se heredan en “bloques” (Sozinov y Popereleya, 1980). Entre los loci que codifican a las LMW-GS (loci *Glu-3*) y los que codifican gliadinas (loci *Gli-1*) en el mismo cromosoma, se han encontrado pequeños porcentajes de recombinación (Singh y Shepherd, 1988; Pogna et al., 1990; Rodríguez-Quijano y Carrillo, 1996a).

Introducción

Otros loci que se encuentran situados en los brazos cortos de los cromosomas del grupo 6 de homeología, también codifican gliadinas. Se caracterizan por ser unos loci complejos al codificar a un grupo de genes que se encuentran estrechamente ligados. Codifican a la mayoría de las α -gliadinas y a algunas γ -gliadinas (Sozinov y Popereleya, 1980) y se denominan *Gli-A2*, *Gli-B2* y *Gli-D2* (Payne, 1987a) (Figura 10).

Por otra parte, se han localizado otros loci denominados menores porque codifican a un número menor de gliadinas que los anteriores *Gli-1* y *Gli-2*. De esta manera, los loci *Gli-A3* y *Gli-B3* codifican para unas pocas ω -gliadinas (Metakovsky et al., 1986) y γ -gliadinas (Nieto-Taladriz y Carrillo, 1996), el locus *Gli-A4*, localizado en el brazo corto del cromosoma 1A, codifica para ω -gliadinas (Redaelli et al., 1992) y el locus *Gli-D4* localizado en el brazo corto del cromosoma 1D, codificaba a una γ -gliadina (Rodríguez-Quijano y Carrillo, 1996b) (Figura 10). Pogna et al. (1993) localizaron dos loci denominados *Gli-A5* y *Gli-B5*, que se encontraban situados en la zona distal de los brazos cortos de los cromosomas 1A y 1B, respectivamente y Rodríguez-Quijano y Carrillo (1996b) el locus *Gli-D5* en el cromosoma 1D que codificaba para ω -gliadinas (Figura 10).

Figura 10.- Esquema de loci que codifican gluteninas y gliadinas de los trigos alohexaploides.

1.5.- Relación de las prolaminas con la calidad

Las proteínas que forman el gluten, como se ha visto anteriormente, son las gluteninas y las gliadinas. El gluten es un complejo visco-elástico que, según Hosenev (1985), estaría formado por proteínas (aprox. 80 %), siendo el resto principalmente almidón y lípidos. Las

propiedades reológicas del gluten se basan en que es insoluble en agua y, cuando la harina se mezcla con agua y se le añade la levadura, forma durante el amasado, una matriz tridimensional capaz de retener el CO₂ que se produce durante la fermentación. La levadura tiene como sustratos a los azúcares, maltosa y glucosa, producidos por la hidrólisis del almidón. La red tridimensional se forma por las interacciones que se producen entre los polímeros, cuyas subunidades se encuentran unidas por puentes disulfuro. En función de la calidad de la harina de trigo empleada en el amasado, la formación de estos enlaces repercutirá en la capacidad de la red para retener mejor o peor al CO₂ y permitirán que la masa sea más o menos fuerte.

En el proceso de cocción de la masa se suceden tres cambios muy importantes: el volumen se expande aproximadamente un 50 %, debido a los efectos aditivos de la producción de CO₂ y etanol. En segundo lugar, la masa, predominantemente viscosa, se transforma en una miga de pan, predominantemente elástica y, a mayor temperatura en la superficie, en corteza crujiente. Finalmente, durante la cocción, la masa se transforma de una “estructura de espuma” a una “estructura de esponja” en la que las células de gas están interconectadas.

Se ha observado mediante pruebas de calidad panadera que las masas panarias elaboradas con harinas de fuerza alta son capaces de retener mejor el CO₂.

El análisis de las proteínas del endospermo del trigo y principalmente de las HMW-GS mediante electroforesis, permitió visualizarlas e identificar su variabilidad. Payne et al. (1979) fueron los primeros investigadores que relacionaron la variabilidad electroforética de las HMW-GS, observada en diferentes variedades de trigo, y la variabilidad en la fuerza del gluten, estableciendo así que la variación observada en la calidad panadera tenía un componente genético.

Analizando unas 300 variedades de trigo alohexaploide de diversos países, Payne y Lawrence (1983) identificaron diferentes HMW-GS según sus Pm en geles de poliacrilamida SDS-PAGE. También utilizaron líneas de sustitución intervietal y líneas aneuploides de la variedad china ‘Chinese Spring’. De esta manera, lograron catalogar proteínas codificadas por los diferentes loci de HMW-GS. Como se aprecia en la figura 11, lograron identificar diferentes HMW-GS y determinar su alelo, y dotaron a los mejoradores de las variedades

Introducción

testigo para cada una de las HMW-GS que describieron. Esta información ha quedado registrada en el “*Catalogue of genes symbols for wheat*” (McIntosh et al., 2008, 2011).

Figura 11. Patrones de HMW-GS de los tres loci *Gli-1*, realizados según su movilidad en los geles SDS PAGE. En el margen izquierdo se presentan las gluteninas HMW-GS de la variedad testigo 'Chinese Spring'. (Tomada de Payne y Lawrence, 1983).

Una vez identificadas las HMW-GS, las harinas de variedades de trigo y de líneas recombinantes fueron analizadas para determinar su fuerza panadera. En un principio, mediante una prueba sencilla, el volumen de sedimentación en dodecil-sulfato-sódico (SDSS) (Payne et al., 1984, 1987) y posteriormente, mediante otras pruebas de calidad panadera como el Mixógrafo y el Alveógrafo de Chopín (Pogna et al., 1986; Branlard et al., 1992). Con estas pruebas se pudo determinar que las diferencias en la variación de su calidad eran debidas a la variación que se observaba en la composición en las HMW-GS de cada variedad de trigo. Estos autores asignaron puntuaciones de calidad a las diferentes HMW-GS, según la observación de su efecto en las pruebas de calidad panadera, permitiendo estimar la puntuación en fuerza panadera de una variedad o de una línea de trigo. Esta herramienta ha permitido a los mejoradores seleccionar utilizando la electroforesis SDS-PAGE en las líneas o las variedades deseadas (Tabla 5).

Dada la importancia de las HMW-GS en la calidad de la masa, en los últimos años se han ido desarrollando oligonucleótidos específicos para amplificar mediante PCR (De Bustos et al., 2001; Ma et al., 2003; Butow et al., 2004; Lei et al., 2006; Gobaa et al., 2007; Ragupathy,

2008; Espí et al., 2012), y de esta manera poder diferenciar mejor las distintas HMW-GS que se visualizan mediante SDS-PAGE.

Tabla 5.- Puntuaciones de calidad panadera dadas a las HMW-GS

Locus	HMW-GS	Payne et al. (1984, 1987)	Pogna et al. (1986)	Branlard et al. (1992)
Glu-A1	1	3	3	15
	2*	3	5	30
	Nula	1	2	0
Glu-B1	7	1	2	8
	7*+8	3	4	18
	7+9	2	5	20
	6+8	1	1	2
	20	1	1	2
	13+16	3	6	32
	17+18	3	6	18
Glu-D1	2+12	2	2	7
	3+12	2	2	9
	4+12	1	1	5
	5+10	4	6	30

Fuente: Payne et al. (1984, 1987), Pogna et al. (1986) y Branlard et al. (1992).

Desde los trabajos de Payne et al. (1984), diversos autores citados por la revisión de Cornish et al. (2006), han contribuido a ampliar la información sobre la influencia de las HMW-GS en la fuerza panadera (Tabla 6).

Tabla 6.- Influencia de diversas HMW-GS en la fuerza del gluten

Locus	Gupta et al. (1991)	Branlard et al. (2001)	Vawser et al. (2002)	Eagles et al. (2004)
	HMW-GS	HMW-GS	HMW-GS	HMW-GS
Glu-A1	1=2*=Nula	1=2*=Nula	1>3*>2*>Nula	2*>1>Nula
Glu-B1	7+8=7+9>17+18= 14+15=7>6+8>20	17+18>13+16> 7+9= 7+8>7=6+8	17+18>7+9>7+8= 7*+8>6+8>20	7+8*>13+16>7+8 = 17+18>7+9>20
Glu-D1	5+10>2+12	5+10>2+12=3+12 >4+12	5+10>2+12=3+12 >2.2+12	5+10>>2+12

Fuente: Cornish et al., 2006.

Sobre la influencia en la calidad panadera de las LMW-GS hay menos información, pero sí se ha encontrado que influyen significativamente (Gupta et al. 1989; Gupta y McRitchie, 1994). El análisis de patrones de LMW-GS y su determinación alélica la iniciaron Gupta y Shepherd (1990). Localizaron seis controlados por el locus *Glu-A3*, nueve por el *Glu-B3* y cinco por el *Glu-D3*. Y, también se asignaron valores de calidad para sus alelos en diferentes trabajos (Payne et al., 1987b; Cornish et al., 1993). La tardía incorporación del

Introducción

conocimiento sobre la influencia en la calidad panadera de estas proteínas ha sido debido a que, al estar estrechamente ligadas a las gliadinas *Gli-1*, no se diferenciaban bien si eran estas últimas las que influenciaban en la calidad. Además, al segregarse estrechamente ligadas era difícil identificar alelos para cada una de ellas en las poblaciones segregantes estudiadas. Un problema adicional para identificar alelos de LMW-GS con diferencias en su influencia en la calidad panadera fue que se han utilizado diferentes nomenclaturas (Gupta y Sheperd, 1990; Singh et al., 1991; Jackson et al., 1996). Branlard et al. 2003, propusieron que la nomenclatura para identificar a las LMW-GS fuera única, e Ikeda et al. (2008) que el método empleado en los diferentes laboratorios para ello, fuera el mismo. Finalmente, en el año 2010, se formó un consorcio internacional (Liu et al., 2010) en el que se identificaron alelos y subunidades de gluteninas LMW en testigos de variedades alohexaploides mediante cuatro métodos: 1D-SDS-PAGE, 2D, MALDI-TOF-MS y PCR. Esto permitirá un avance a nivel internacional en la investigación sobre la aportación de estas prolaminas a la calidad panadera. Actualmente ya se está aplicando (Espí, 2013; Ikeda et al., 2013; Espí et al., 2014). Por otra parte, también se está avanzando en unificar la nomenclatura de las LMW-GS de los trigos alohexaploides a la de los alotetraploides (Ikeda et al., 2013).

Según Sozinov y Popereleya (1980, 1982), las gliadinas monoméricas también intervienen en la calidad panadera. Estos autores determinaron que tenían influencia en la extensibilidad de las masas panarias. Estudios posteriores, mediante pruebas de SDSS, relacionaron a las gliadinas con propiedades sobre la fuerza de la masa (Wrigley et al., 1982; Branlard y Dardevet, 1985; Metakovsky et al., 1997). Mientras tanto, Payne et al. (1987b) pudieron observar que el volumen de sedimentación que se mide en la prueba SDSS está formado por un gel que sólo se compone de los polímeros de gluteninas, por ello, las diferencias en la calidad panadera que se habían atribuido a las gliadinas de los loci *Gli-1*, realmente se deberían atribuir a los genes de LMW-GS estrechamente ligados a ellas.

Diversos autores (Schoeber et al., 2006; Kohajdová y Karovičová, 2008; Escarnot et al., 2012) encontraron que la ratio gliadinas/gluteninas era significativamente mayor en el trigo espelta al compararlo con el de trigos panaderos, debido a que predominan las α -gliadinas y las γ -gliadinas, mientras que las gluteninas de alto y bajo peso molecular y las ω -gliadinas son generalmente componentes menores. Esto afectará, consecuentemente a las características reológicas de sus masas. En opinión de Pruska-Kedzior et al. (2008), las propiedades reológicas del gluten de los trigos espelta están, generalmente, influenciadas

por las gliadinas como plastificante monomérico pegajoso, mientras que las del gluten de los trigos panaderos están influenciadas por las gluteninas como un factor polimérico de entramado. Kohajdová y Karovičová, (2008) y Filipčev et al. (2013) llegaron a la conclusión de que las masas panarias elaboradas con trigos espelta se caracterizan por una menor elasticidad y una mayor extensibilidad que las de trigo panadero.

1.6.- Las puroindolinas. Textura del endospermo del trigo alohexaploide

La dureza del endospermo del grano de los trigos alohexaploides es un factor de calidad y por ello del uso final de la variedad de trigo, clasificándose en el mercado mundial en duros o blandos. La mayor producción de trigo en el mundo corresponde al denominado trigo panadero o coloquialmente blando, mientras que el trigo semolero es el denominado también coloquialmente duro. En el mercado americano y canadiense, el trigo panadero recibe la denominación de “soft” (blando) y “hard” (duro) según la textura del endospermo. El carácter de la dureza del endospermo del trigo está regulado genéticamente.

La dureza determina la forma en que el endospermo se rompe por efecto de las fuerzas de compresión y cizalla durante la molienda. En los trigos de textura blanda, la fractura del endospermo durante la molienda se produce principalmente a través del contenido celular, debido a las uniones más débiles entre el almidón y la matriz de proteína. En tanto que en los de textura dura, la superficie del gránulo de almidón y la matriz proteica están estrechamente unidos, lo que provoca que la fractura se produzca a nivel de las paredes celulares, produciendo partículas de mayor tamaño en los cilindros de trituración. Los trigos de textura dura requieren más energía en la molienda, pero son más fáciles de tamizar que los trigos de textura blanda. Por otro lado, en la molienda de trigos de textura dura, se genera más cantidad de almidón dañado (que absorbe más agua que el almidón “nativo”), por lo que son más adecuados para la producción de panes que requieran una mayor hidratación. En general, el destino de las variedades de trigo de textura dura es para panificación y otros alimentos que lleven levadura, mientras que las variedades de trigo de textura blanda son principalmente usados para fabricación de galletas y productos de pastelería, que requieren de menor absorción de agua (Rahman et al., 2000; Hung et al., 2005).

Al analizar variedades de trigo con diferente dureza mediante electroforesis en SDS-PAGE, Greenwell y Schofield (1986) localizaron una proteína con Pm de 15 KDa que denominaron friabilina. Ésta se encontraba en las variedades de trigo que tenían menor

Introducción

dureza, por lo que sugirieron que estaría relacionada con esta característica del endospermo. Posteriormente, Gautier et al. (1994), Morris et al. (1994), Oda (1994) y Rahman et al. (1994), analizando esta proteína, determinaron que estaba formada principalmente por tres polipéptidos, la puroindolina A, la puroindolina B y la GSP-1 (“grain softness protein-1”).

Los genes que codifican para las puroindolinas A y B fueron localizados en el locus *Ha* (denominado “hardness”) y designados como *Pina-D1* y *Pinb-D1*, respectivamente (Giroux y Morris, 1997). Este locus se encuentra en el brazo corto del cromosoma 5D (Figura 12). Cuando ambos genes están en su forma funcional silvestre, la textura del grano es blanda. Sin embargo, cuando están presentes mutaciones en uno u otro de los genes, la textura del grano es dura (Gautier et al., 1994; Giroux y Morris, 1997, 1998; Lillemo y Morris, 2000; Morris, 2002; Chen et al., 2006). Las puroindolinas A y B son isoformas lo que hace difícil diferenciarlas mediante electroforesis SDS-PAGE, por lo que se observan por PCR utilizando cebadores específicos.

Figura 12.- Localización de loci de puroindolinas en el cromosoma 5D del trigo alohexaploide.

En los brazos cortos de los tres cromosomas 5 homeólogos del trigo panadero se localizan genes *Gsp-1*, que codifican para las proteínas *GSP-1* (Jolly et al., 1996; Sourdille et al., 1996; Giroux y Morris, 1997). Se considera que en la dureza del grano del trigo panadero sólo intervienen los genes *Pina-D1* y *Pinb-D1* ya que las proteínas *GSP-1*, localizadas en los cromosomas 5A y 5B, no se ha encontrado que influyan en la dureza del grano (Tranquilli et al., 2002).

Se han localizado diferentes mutaciones de gran interés para determinar cómo pueden influir en las características de la textura del endospermo del trigo y por ello en la calidad harino-panadera. En la tabla 7 se presentan algunas de las que describió Morris (2002).

Tabla 7.- Puroindolinas a y b, textura del grano y cambios moleculares en el ADN de la puroindolina

Loci de puroindolinas		Fenotipo endospermo	Cambio molecular
<i>Pina-D1</i>	<i>Pinb-D1</i>		
<i>Pina-D1a</i>	<i>Pinb-D1a</i>	blando	
<i>Pina-D1b</i>	<i>Pinb-D1a</i>	duro	Ausencia Pin a
<i>Pina-D1a</i>	<i>Pinb-D1b</i>	duro	Gly-46 → Ser-46
<i>Pina-D1a</i>	<i>Pinb-D1c</i>	duro	Leu-60 → Pro-60
<i>Pina-D1a</i>	<i>Pinb-D1d</i>	duro	Trp-44 → Arg-44
<i>Pina-D1a</i>	<i>Pinb-D1e</i>	duro	Trp-39 Codón stop (Ausencia Pur. b)
<i>Pina-D1a</i>	<i>Pinb-D1f</i>	duro	Trp-44 Codón stop (Ausencia Pur. b)
<i>Pina-D1a</i>	<i>Pinb-D1g</i>	duro	Cys-56 Codón stop (Ausencia Pur. b)

Fuente: Morris, 2002.

1.7.- Pruebas de calidad panadera

La elaboración del pan es un proceso laborioso en el que intervienen tanto la industria de primera transformación -molinería, convirtiendo el grano en harina- como la de segunda transformación -panadería, convirtiendo la harina en pan-. El pan ha sido y sigue siendo un alimento básico de la dieta en muchas partes del mundo.

Existen numerosos factores implicados en la consecución de una óptima calidad del pan. Por un lado, la selección de la materia prima más apropiada (el grano o la harina) para que se adecue a las características deseadas en el producto final (la harina o el pan). Por otro lado, es fundamental determinar adecuadamente los parámetros de cada una de las operaciones implicadas en el transformación del trigo en harina (acondicionamiento del grano, reglaje de los molinos, en la industria molinera) y de la harina en pan (hidratación de la masa, tiempos y temperaturas de fermentación y de cocción, en la industria panadera). A estos condicionantes se une la complejidad propia del producto final, el pan, que incluye una variada gama de productos; podemos encontrar panes muy diferentes en base a criterios como la hidratación de la masa durante el amasado (masas blandas /duras), la incorporación o no de grasa, el método de leudado (biológico/químico), la adición de algún cereal diferente al trigo, entre otros aspectos.

Introducción

Por todo ello, la calidad harino-panadera del trigo es un concepto amplio y complejo, y más aún si sumamos otros factores, como son las preferencias del consumidor.

Es difícil predecir la calidad del pan a partir de las características de la variedad, de la harina o de la masa. Sin embargo, se convierte en una exigencia fundamental, no solo para toda la cadena trigo-harina-pan, sino para los programas de mejora, en los que miles de nuevas líneas se evalúan cada año para encontrar trigos de alta calidad para panificación.

La mayoría de los investigadores estiman la calidad del pan mediante determinaciones en el grano, en la harina y en la masa. Mediante este tipo de ensayos se puede analizar el comportamiento o el rendimiento potencial en harina (peso hectolítrico, humedad, cenizas, dureza), la cantidad y la calidad de la proteína (contenido en proteína, gluten húmedo, gluten index, SDSS), el comportamiento del almidón (RVA), la actividad α -amilásica (Índice de Caída), las propiedades físicas de la masa (Alveógrafo de Chopin) o el comportamiento de la masa durante el amasado (Consistógrafo de Chopin). Aunque lo ideal es combinar este tipo de ensayos con pruebas de panificación experimental que, no solo permiten verificar el comportamiento de nuevas variedades de trigo, sino también evaluar la influencia del empleo de otros ingredientes, tales como enzimas, emulsificantes, mejorantes y levaduras.

Los ensayos de panificación deben tener en cuenta todo el protocolo, incluyendo la formulación de la masa y todos los parámetros que es necesario ajustar en cada una de las operaciones unitarias del proceso productivo: amasado, reposo en bloque, división, boleado, reposo en bola, formado, fermentación y cocción. En este sentido, existen ya algunos protocolos normalizados por la International Organization for Standardization (ISO, 1985), la American Association of Cereal Chemists (AACC, 1999) y la Association Française de Normalisation (AFNOR, 2002).

A modo de resumen, se presentan, en la tabla 8, algunos ejemplos de tipos de ensayos empleados para determinar la calidad harino-panadera del trigo.

Tabla 8.- Ejemplos de ensayos para determinar la calidad harino panadera del trigo.

Ensayo/Parámetro	Metodología	Protocolo Standard Nº ^{1,2}
Calidad del grano y la harina		
Contenido en proteína	Reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR)	ICC Nº159
Contenido en gluten húmedo	Glutomatic	ICC Nº137/1
Gluten Index	Glutomatic	ICC Nº 155
Índice de Zeleny	Suspensión en ácido láctico	ICC 116/1
SDS-Sedimentación	Suspensión en dodecil sulfato sódico	ICC 151
Actividad α -amilásica	Índice de caída de Hagberg	ICC 107
Viscosidad (calidad del almidón)	RVA Rapid Visco Analyser	AACC 76-21
Propiedades (reológicas) de las masas		
Comportamiento durante el amasado (absorción de agua, tiempo de desarrollo, decaimientos)	Consistógrafo de Chopin	ICC Nº171
Propiedades de la masa (extensibilidad, elasticidad, fuerza)	Alveógrafo de Chopin	ICC Nº121
Panificación experimental y calidad del pan		
Volumen del pan	Método de desplazamiento de semillas	AACC 10-05
Textura de la miga	Texturómetro	AACC 74-09
Color de la corteza y de la miga	Colorímetro	
Calidad en la molienda		
Rendimiento en la molienda	Molienda experimental	AACC 26-ff
Contenido en cenizas	Horno mufla	ICC 104/01
Peso hectolítrico	Peso/Hl	

¹<http://www.icc.or.at/publ.php>; ²(AACC, 2010)

Yendo un paso más allá, la información aportada por estos métodos debe ser complementada por los del análisis sensorial, ya que la calidad sensorial del pan (percibida a partir de los sentidos de la vista, olfato, gusto, oído y tacto) juega un papel muy importante en la dimensión de la calidad total del producto (Kihlberg, 2004; Elia, 2011). Las técnicas del análisis sensorial se convierten en herramientas cada vez más empleadas tanto en las industrias de panificación como en el ámbito de la investigación. Desde el punto de vista del consumidor, la calidad sensorial es uno de los factores más importantes para la aceptación de un determinado producto (Dewettink et al., 2008).

Se pueden distinguir dos tipos de métodos para su evaluación. Por un lado, los métodos afectivos, “tests de aceptación de consumidores”, permiten evaluar la actitud del consumidor respecto a aspectos como: atributos relacionados con la calidad del pan y la decisión de compra, influencia del origen socio-cultural, percepción de la frescura, actitud del consumidor hacia los panes ecológicos y desarrollo de nuevos productos de panificación.

Introducción

Por otra parte, la utilización de métodos analíticos, “análisis descriptivos sensoriales”, en los que se utilizan paneles de jueces entrenados, permite la elaboración del perfil sensorial de un determinado pan. Los jueces deberán estar particularmente familiarizados con los descriptores sensoriales y la intensidad de cada atributo mediante el empleo de definiciones verbales que describan los extremos de las escalas de intensidad de los atributos (Katina et al., 2005a; Katina 2005b). En general, los atributos sensoriales del pan se suelen agrupar en cuatro niveles: aroma, apariencia, textura y flavor (Kihlberg 2004; Callejo, 2011).

1.8.- Objetivos

El objetivo general de esta tesis doctoral es avanzar en el conocimiento de las diferencias en el comportamiento reológico de variedades comerciales de trigo panadero y de trigo espelta, y en la calidad instrumental y sensorial de los panes elaborados con sus harinas, que actualmente se están cultivando en España.

Todo lo anterior se especifica en los siguientes objetivos:

1. Identificación de las subunidades de gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) y de las proteínas puroindolinas de tres variedades de trigo panadero y de dos variedades de trigo espelta.
2. Análisis de su comportamiento harino-panadero mediante pruebas reológicas.
3. Puesta a punto de un protocolo de panificación que se adecue a las propiedades reológicas de ambos tipos de trigo.
4. Análisis de la calidad instrumental y sensorial de los panes elaborados con harinas de ambos tipos de trigo.

MATERIAL Y MÉTODOS

2.- MATERIAL Y MÉTODOS

2.1.- Material vegetal

Para realizar este trabajo se dispuso de tres variedades comerciales de trigo panadero (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.), 'Bonpain', 'Craklin' y 'Sensas' y de dos variedades de trigo espelta (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.), 'Espelta Álava' y 'Espelta Navarra'. Los cinco cultivares procedían de cultivo ecológico, se recolectaron en el año agronómico 2010/2011 en Vitoria (Álava) (42° 51' N, 2° 40' W) y fueron cedidas amablemente para este trabajo por la Diputación Foral de Álava.

La variedad 'Bonpain' (Figura 13A) es un trigo de primavera de procedencia francesa que tiene como característica principal su alta fuerza panadera. Es comercializado en España por la empresa Semillas Certificadas Castells S.L.

Figura 13.- Variedad 'Bonpain' (A) y variedad 'Craklin' (B).

La variedad 'Craklin' (Figura 13B) es un trigo de invierno de procedencia francesa, de ciclo medio a espigado y rápido en maduración, posee alto potencial productivo y gran adaptación a condiciones de siembra muy diversas, especialmente a todo tipo de secanos, posee poca fuerza y es extensible. Es comercializado en España por la empresa Limagrain Ibérica S.A.

La variedad 'Sensas' es un trigo de primavera de origen francés considerado un trigo de fuerza y con alto potencial productivo. El obtentor de la variedad es SERASEM.

Las variedades locales 'Espelta Álava' y 'Espelta Navarra' son de ciclo largo (Figura 14). La procedencia de estos trigos espelta es incierta. La información de la que se dispone es que la variedad 'Espelta Álava' procedía de la localidad de Salcedo en Asturias y la variedad

Material y Métodos

‘Espelta Navarra’ de Francia. Fueron identificadas con estos nombres por los agricultores que las sembraron en Álava.

Figura 14.- Cultivares de espelta.

La siembra del material se realizó en el año agronómico 2010/2011 en la finca Eskalmendi de la Diputación Foral de Álava. Los trigos de ciclo largo se sembraron en diciembre del 2010 y los de ciclo corto en febrero de 2011. Toda la siembra se realizó en la misma finca, que trabaja bajo condiciones de cultivo ecológico desde el año 2002. En la Tabla 9 se describen las características de la siembra de los cinco cultivares.

Tabla 9.- Características de siembra de los cinco cultivares

Cultivar	Densidad de siembra (kg/ha)	Distancias de siembra (m)	Ancho de parcela (m)	Longitud de parcela (m)
‘Bonpain’	280	0,12 entre líneas	2,40	29,80
‘Craklin’	280	0,12 entre líneas	2,40	57,20
‘Sensas’	280	0,12 entre líneas	2,40	29,60
‘Espelta Navarra’	300	0,12 entre líneas	2,40	48,00
‘Espelta Álava’	300	0,12 entre líneas	2,40	48,10

2.2.- Métodos

2.2.1.- Molienda del grano

Las distintas muestras de trigo se molieron en un molino cerámico (Heger Gmbh Co. HG., Kv 10). Las fracciones extraídas (Figura 15A), se mezclaron a 48 rpm durante 20 min en un mezclador Chopin (Figura 15B). Realizada la mezcla, la tasa de extracción obtenida en las harinas se presenta en la tabla 10.

Tabla 10.- Tasa de extracción en porcentaje de los cinco cultivares

Cultivar	Tasa de extracción (%)
'Bonpain'	0,76
'Craklin'	0,69
'Sensas'	0,59
'Espelta Álava'	0,82
'Espelta Navarra'	0,82

Figura 15.- Fracciones de la molienda del molino en Palazuelos (Guadalajara) (A) y mezclador Chopin (B).

2.2.2.- Extracción de prolaminas (gluteninas y gliadinas) del endospermo de cereales

La extracción de prolaminas del endospermo de los cereales se realizó en 100 granos individuales (previamente triturados) y en 20 mg de harina de cada cultivar por medio del siguiente protocolo:

- Añadir a 20 mg de la muestra 0,1 ml de solución A, a la que se añade en el momento 1 % (p/v) de ditioneitol (DTT).
- Agitar brevemente. Incubar en la estufa a 65° durante 30 min. Agitar.
- Añadir a lo anterior 0,1 ml de la Solución A, a la que se añade en el momento 1,4 % (v/v) de 4-vinilpiridina.
- Incubar en la estufa a 65° C durante 15 min. Agitar.
- Centrifugar 5 min a 13.000 r.p.m.
- Transferir 0,05 ml del sobrenadante a un tubo de 1,5 ml y añadir 0,05 ml de la solución B.
- Agitar brevemente. Incubar en la estufa a 65° C durante 15 min
- Se insertan 15 µl -20µ del sobrenadante en geles de electroforesis SDS-PAGE al 12 % de poliacrilamida.

Material y Métodos

Composición de las soluciones empleadas

Solución A	Solución B
<ul style="list-style-type: none">• 50 % (v/v) Propanol en agua• 0,08 M Tris-HCl pH 8,0	<ul style="list-style-type: none">• 2 % (p/v) SDS• 40 % (p/v) Glicerol• 0,02 % (p/v) Azul de Bromofenol• 0,08 M Tris-HCl pH 8,0

2.2.3.- Electroforesis vertical en geles de poliacrilamida al 12 % en presencia de dodecil sulfato sódico (SDS-PAGE)

La electroforesis SDS-PAGE se utilizó para determinar la homogeneidad de los cultivares y su composición en subunidades de gluteninas HMW. Se utilizaron geles de 16 cm x 18 cm con separadores de 1,5 mm de grosor y se adoptó el siguiente procedimiento:

Se vertió el gel separador entre los cristales, y posteriormente, para lograr que la superficie del gel se mantuviese lisa y homogénea se añadió butanol o agua destilada. Una vez que el gel hubo polimerizado, se lavó con agua destilada (para eliminar el butanol y que no quedasen restos en su superficie). A continuación se vertió el gel concentrador junto con el “peine” para formar los pocillos para la inserción de las muestras. Cuando el gel concentrador hubo polimerizado se retiró el “peine” y se vertió en los pocillos el tampón de electrodos (14,1 g de glicina, 3 g de Trizma-Base (Tris) y 1 g de SDS y agua desionizada hasta 1 litro) y se insertaron las muestras. Terminada la inserción, se llevó el gel a las cubetas refrigeradas, previamente rellenas con el tampón de electrodos. La electroforesis se llevó a cabo de ánodo a cátodo a 50 mA por gel hasta la salida del frente (aproximadamente 3 horas y media). Para la tinción de los geles se utilizó azul brillante de Coomassie R-250 disuelto en etanol al 96 % (2/1000 p/v) y ácido tricloracético al 6-12 %, con agitación durante 24 horas. Se utilizaron 250 ml de la solución de tinte por cada gel.

Una vez visibles las bandas de proteína, se destiñó el fondo del gel introduciéndolo en una cubeta con agua. Para conservar los geles, se los introdujo en una solución de glicerol al 5 % y se los dejó secar entre papel celofán impregnado de la misma solución.

Composición del gel separador y del gel concentrador

Gel separador		Gel concentrador	
Reactivos	Volumen	Reactivos	Volumen
Acrilamida 35 %	17,5 ml	Acrilamida 35 %	1,71 ml
Bisacrilamida 2 %	3 ml	Bisacrilamida 2 %	0,433 ml
Tris HCl pH 8,8	18,8 ml	Tris HCl pH 8,8	2,5 ml
Agua desionizada	8,3 ml	Agua desionizada	15,2 ml
Dodecilsulfato sódico 10 %	0,5 ml	Dodecilsulfato sódico 10 %	0,2ml
Amonio persulfato 1 %	1,25 ml	Amonio persulfato 1 %	1 ml
TEMED	25µl	TEMED	20 µl

2.2.4.- Extracción de ADN

Para la extracción de ADN se prepararon 30 mg de harina en tubos de 1,5 ml para cada cultivar y se realizó el siguiente protocolo:

1. Añadir 500 µl de tampón de extracción (2 % CTAB, NaCl 1,5 M, EDTA 20 mM, Tris 100 mM, pH 8.0).
2. Incubar a 65 °C durante 30 minutos.
3. Añadir 500 µl de cloroformo, alcohol isoamílico (24:1).
4. Centrifugar 13.000 r.p.m. durante 10 minutos.
5. Recoger 400 µl de la fase superior y transferirlo a un nuevo tubo de 1,5 ml. Añadir 400 µl de isopropanol frío (-20 °C) para precipitar el ADN y mezclar suavemente.
6. Centrifugar 5 minutos a 13.000 r.p.m.
7. Eliminar el sobrenadante y añadir 500 µl de etanol al 70 % frío (-20 °C) para lavar las muestras. Agitar suavemente y dejar reposar 5 min a temperatura ambiente.
8. Centrifugar 10 minutos a 13.000 r.p.m. Eliminar el sobrenadante y dejar secar los tubos.
9. Resuspender el DNA en 100 µl de de solución TE (Tris HCl 10 mM, pH 8.0, EDTA 1 mM, pH 8.0).
10. Conservar a 4 °C.

Composición de las soluciones empleadas	
Tampón de extracción (pH 8.0)	TE
Reactivos	Reactivos
Hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) 2 %	Tris HCl 10 mM, pH 8.0
NaCl 1,5 M	EDTA 1 mM, pH 8,0
EDTA 20 mM	(Esterilizar en autoclave)
Tris 100 mM, pH 8,0	
(Esterilizar en autoclave)	

2.2.5.- Digestión de ADN

La amplificación mediante PCR, se facilita con una digestión del ADN durante 16h a 37°C.

Solución de digestión	
Reactivos	Volumen
DNA	7,5 µl
Enzima BamHI 10 U	1 µl
Tampón	1,5 µl
1 M	0,2 µl
Agua desionizada	4,8 µl
Volumen final	15 µl

Material y Métodos

2.2.6.- Identificación de gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) mediante PCR

2.2.6.1.- Discriminación de las subunidades 2•• y 2* del locus *Glu-A1*

Para diferenciar las subunidades 2•• y 2* del locus *Glu-A1* se siguió el protocolo descrito por Giraldo et al. (2010).

2.2.6.2.- Discriminación de las subunidades 7 y 7* del locus *Glu-B1*

Para diferenciar las subunidades Bx7 y Bx7* del locus *Glu-B1* se siguió el protocolo descrito por Espí et al. (2012).

2.2.7.- Identificación alélica de puroindolinas mediante PCR

La identificación de las variantes alélicas de puroindolinas se realizó según el protocolo descrito por Espí (2013).

2.2.8.- Electroforesis horizontal de ADN en geles de agarosa NuSieve

Se utilizaron los siguientes geles:

- Geles para comprobar la calidad del ADN: agarosa al 1 %
- Gel para la determinación de las subunidades del locus *Glu-A1* 2•• y 2*: agarosa al 3 %
- Gel para la determinación de las subunidades del locus *Glu-B1* 7*y 7: agarosa al 3,5 %
- Gel para las puroindolinas *pina* y *pinb*: agarosa al 1 %

Preparación:

- Disolver la agarosa necesaria en tampón TBE 1x y agua destilada. La mezcla se lleva a ebullición en un microondas.
- Se añade 0,5 µl de GelRed por cada 75 ml de gel y se mezcla.
- Se deja la mezcla que alcance temperatura ambiente, se coloca el peine y se vierte el gel en la bandeja.
- Se rellena la cubeta de electroforesis con tampón TBE 1x.
- Se coloca la bandeja con el gel en la cubeta y se retira el peine.

Electroforesis:

- Se añade a la muestra de PCR el tampón de carga 6x.
- Se cargan los pocillos con la mezcla.
- Se corre el gel a 150 V máximo de ánodo a cátodo durante 2-3 horas.
- Para visualizar los fragmentos amplificados se lleva el gel a un transiluminador de luz ultravioleta.

Soluciones empleadas	
Tampón de carga	TBE
Azul de bromofenol 0,25 % (p/v)	Tris 89 mM
Xylene Cyan 0,25 % (p/v)	Ácido bórico 89 mM
Glicerol 40 %	EDTA 2 mM

2.2.9.- Evaluación de la calidad de los cultivares

La evaluación de la calidad de los cultivares de estudio se dividió en dos partes, primero la evaluación de la calidad del grano de trigo y segundo la evaluación de la calidad harino-panadera.

2.2.9.1- Evaluación de la calidad del grano de trigo

La evaluación de la calidad del grano de trigo se comprobó mediante las siguientes determinaciones: peso de mil semillas, dureza, contenido en humedad, cenizas, proteínas y contenido en minerales hierro y zinc.

2.2.9.1.1.- Peso de mil semillas

El peso de mil semillas se obtuvo contando mil granos de cada cultivar con un contador de granos (Pfeuffer, Mess-und Prufgerrate) y pesándolos a continuación con una balanza digital.

2.2.9.1.2.- Dureza del grano (AACC 39-70A, 1995)

Se molieron con un molino Tekator y malla de 1mm las muestras de cada uno de los cultivares. Posteriormente se determinó la dureza del grano mediante espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano (NIR) de harinas con un PerCon Inframatic 8120 (Perten Instruments GmbH, Alemania).

2.2.9.1.3.- Determinación del contenido en humedad (ICC STANDARD N° 110/1)

Se determinó el contenido de humedad sobre 5 g $\pm$ 5 mg de harina y se realizó una determinación de la pérdida de peso de la muestra cuando se seca a una temperatura de 130°C $\pm$ 3° C a presión normal, con estufa de circulación forzada de aire durante una hora.

2.2.9.1.4.- Determinación del contenido en cenizas (ICC STANDARD N° 104/1)

En cápsula de porcelana calcinada y tarada se pesaron 2 gramos de muestra con precisión de décima de mg. Se calcinó sobre tela metálica hasta residuo carbonoso y se llevó a la mufla (Figura 16) a 900 °C $\pm$ 25 °C. Se calcinó hasta obtener un residuo

Material y Métodos

prácticamente blanco. El porcentaje de cenizas se calculó por diferencia de pesada entre el antes y después de calentar en la mufla.

Figura 16.- Calcinación de las muestras en la mufla.

2.2.9.1.5.- Medida del contenido en proteína de la harina (ICC STANDARD N°. 159).

La medida del contenido en proteína y en humedad se determinó sobre harina integral de cada muestra obtenida mediante un molino Tekator con malla de 1mm. Para ello se realizó una espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR-Technichon InfraAlyser 300). Con los datos de contenidos, se estandarizó el contenido en proteína para un porcentaje de humedad del 14 % con la siguiente fórmula:

$$\text{Proteína 14 \% Humedad} = \frac{86}{100 - \text{Humedad}} \times \text{Proteína}$$

2.2.9.1.6.- Determinación de Fe y Zn

Para la determinación del contenido en Fe y Zn, se siguió el siguiente protocolo:

- Se llenan los tubos de digestión con un gramo de cada muestra y posteriormente se añaden a cada uno 10 ml de ácido nítrico y 10 ml de ácido clorhídrico.
- Se realiza la digestión durante 2 horas a 140°C.
- Finalizada la digestión se añade agua destilada a la solución hasta un volumen de 50 ml.

Se mide la cantidad de mineral existente en cada muestra mediante absorción atómica ("Analyst Perkin Elmer") de la siguiente manera para cada mineral:

- Zinc: utilizando lámpara de cátodo hueco, longitud de onda de 213,9 nm y rendija de 0,7.
- Hierro: utilizando lámpara de cátodo hueco, longitud de onda de 248,3 nm y rendija de 0,2.

2.2.9.2.- Evaluación de la calidad harino-panadera

La evaluación de la calidad harino-panadera de los cinco cultivares se estableció mediante las siguientes determinaciones: prueba del volumen de sedimentación en dodecil sulfato sódico SDSS), alveógrafo y consistógrafo de Chopin, prueba de viscosidad del almidón (RVA) y determinación de la actividad α -amilásica.

2.2.9.2.1.- Prueba del volumen de sedimentación en dodecil sulfato sódico (SDSS)(ICC STANDARD N° 151)

Para la determinación del SDSS se siguió el método propuesto por Dick y Quick (1983), en el que se emplea una solución de ácido láctico al 85 % y SDS al 2 % en proporción 1:48. Se utilizaron gradillas de 20 tubos con una escala graduada milimétrica para la determinación (Figura 17). Los tubos utilizados eran de cristal de 150 mm de longitud y 14 mm de diámetro, en cada uno se introdujo 1 gramo de harina integral de cada muestra y el protocolo seguido fue el siguiente:

- Añadir 4 ml de agua.
- Agitar en vórtex durante 20 s.
- Dejar reposar 10 min.
- Agitar cada tubo durante 10 s.
- Dejar en reposo durante 5 min.
- Añadir 12 ml de ácido láctico: SDS (1:48) a cada tubo.
- Colocar las gradillas en un agitador oscilante, con dos ciclos de 40 segundos de agitación y 2 minutos de reposo.
- Colocar las gradillas en posición vertical y dejar reposar 10 min.
- Tomar las lecturas de la interfase sólido-líquido

Figura 17. - Prueba del volumen de sedimentación en dodecil sulfato sódico (SDSS).

2.2.9.2.2.- Alveógrafo de Chopin (ICC-standard N° 121)

Para realizar las pruebas alveográficas a hidratación constante se utilizó un alveógrafo Chopin, modelo NG (CHOPIN Technologies, filial de Tripette & Renaud) en condiciones estándar (Figura 18).

Material y Métodos

Se utilizaron 250 gramos de harina por muestra y se mezcló con una solución salina (solución de NaCl al 2,5 % en agua destilada) hasta un 50 % de hidratación. Se comenzó el amasado introduciendo la cantidad de solución salina calculada; al cabo de un minuto, se detuvo la amasadora y se dispusieron de 60 segundos para despegar la harina que se adhiere a las paredes. De este modo la totalidad de la harina participa en la hidratación. Al final de este segundo minuto, se cerró la tapa y se puso nuevamente el motor en marcha durante seis minutos. Al final del amasado (8 minutos), el motor se detuvo y se preparó la extracción.

Se extrajeron sucesivamente cinco trozos de masa sin detener el motor. Cada pastón se laminó y se extrajo un disco que se permaneció en el recinto termostatado (25 °C) del Alveógrafo. Al final del tiempo de reposo (minuto 28 desde el comienzo del amasado) se dispuso por orden de uno en uno los discos de masa sobre la platina. A través de un orificio en el centro de la platina se insufló aire que hinchó el disco de masa (Figura 18), dándole forma de burbuja (el principio es el de hinchado de una porción de masa en forma de disco plano por una presión de aire para simular la deformación de la masa por el gas producido durante el reposo), en cuanto se observó la rotura de la burbuja se detuvo manualmente la medición del Alveógrafo. Se procedió, a continuación, al ensayo de las cuatro probetas restantes. Se obtuvieron de este modo cinco curvas con el mismo origen (Figura 19).

Figura 18.- Alveógrafo de Chopin, modelo NG.

Figura 19.- Gráfico general y parámetros de la medida alveográfica (Fuente: Consultores cerealistas [Concereal], 2016).

Los parámetros obtenidos fueron:

- **Tenacidad (P):** máxima presión alcanzada al insuflar aire al pastón de masa hasta su ruptura, se determina en mm. Este parámetro da una idea de la fuerza necesaria para hinchar la masa y está ligado a la capacidad de absorción de agua de la harina.
- **Extensibilidad (L):** longitud de la curva, abscisa medida en mm, correspondiente al tiempo hasta la rotura del globo. Está en relación con la capacidad de retención del gas producido durante la fermentación.
- **Fuerza de la harina (W):** área bajo la curva, trabajo de deformación necesario para la extensión de un gramo de masa hasta su rotura, expresada en 10^{-4} Julios. El alveograma muestra una elevada correlación con el contenido proteico de la harina (es mayor cuanto mayor es el área de la curva).
- **Relación de configuración de la curva (P/L):** relación de equilibrio entre tenacidad y extensibilidad. Sirve para saber para qué tipo de trabajo panadero es más adecuada la harina.
- **Degradación (W'):** calcula la disminución del valor de la fuerza de la harina (W) al aumentar el tiempo de reposo dado a la masa y establecido en 2 horas. Se utiliza para la detección de harinas degradadas por pentatómidos (garrapatillo); éstos inoculan en el endospermo del grano un jugo salivar que contiene proteasas que producen, sobre la red de gluten formada, una lisis enzimática que posteriormente se traduce en una reducción de las propiedades viscoelásticas de la masa.

2.2.9.2.3.- Consistógrafo de Chopin (ICC- standard N° 171)

El consistógrafo se desarrolló a partir del alveógrafo. Se utilizó la misma amasadora equipada con un brazo amasador de cuchilla doble y un sensor de presión en la pared de la amasadora. Se efectuó el primer ensayo a hidratación constante; durante el ensayo, la presión de la masa en el interior de la amasadora se registra en función del tiempo. Al final de esta primera secuencia, se estableció el valor de la presión máxima (P_{max}), el cual es usado por el Alveolink NG para calcular automáticamente la absorción de agua de la harina y la cantidad de agua que debe utilizarse para hacer posteriormente un ensayo a hidratación adaptada (o consistencia constante), manteniendo de esta manera el peso de la

Material y Métodos

masa constante. Estas series de segundos ensayos permitieron precisar los parámetros que completan la caracterización del comportamiento de la masa durante el amasado.

Los parámetros obtenidos en los dos ensayos (hidratación constante e hidratación adaptada) fueron: Presión máxima (Prmax), que se utilizó para calcular la capacidad de absorción de agua de la harina (HYD), y que se empleó para hacer un segundo ensayo a hidratación adaptada (HA), en el que se alcanzó una consistencia objetivo de 2200 mb, y a partir de la cual se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Presión máxima (Prmax), que se define como la máxima presión de fluencia obtenida en el amasado.
- Tiempo de presión máxima (Tprmax), que se define como el tiempo que tarda la masa en alcanzar la presión máxima.
- Tolerancia (Tol): tiempo durante el cual la masa mantiene un cierto nivel de consistencia.
- Debilitamiento de la masa a los 250 segundos (D₂₅₀).
- Debilitamiento de la masa a los 450 segundos (D₄₅₀).
- HYD: hidratación equivalente a 2200 mb en base a 15 % de H₂O.

2.2.9.2.4.- Prueba de viscosidad del almidón (ICC STANDARD No. 162)

La viscosidad del almidón de cada muestra se determinó por medio del Rapid Visco Analyser (RVA-3D, Newport Scientific, Pty. Ltd., Warriewood, Australia). Se tomaron 4 g de harina de cada muestra a los que se les añadió 24 ml de agua destilada y 1 ml de AgNO₃ (10 % p/v) que se añade para evitar la degradación amilásica. Se representa el proceso que sigue el almidón en la tabla 11.

Tabla 11.- Proceso seguido por cada muestra (perfil estándar del almidón)

Tiempo	Tipo	valor
0:00:00	Temperatura	50° C
0:00:00	Giro	960 r.p.m.
0:00:10	Giro	160 r.p.m.
0:01:00	Temperatura	50° C
0:04:42	Temperatura	95° C
0:07:12	Temperatura	95° C
0:11:00	Temperatura	50° C

Esta prueba da una idea de las modificaciones que sufre el almidón en presencia de agua y calor. Se representan en una curva (Figura 20) de la que se obtuvieron los siguientes parámetros:

- **Pico de viscosidad:** hace referencia al grado de viscosidad del almidón y a su capacidad de unión con el agua. Se mide en RVU.
- **Tiempo en el pico de viscosidad:** es el que tarda en alcanzar el pico de viscosidad.
- **Mínima viscosidad:** es cuando la curva alcanza la viscosidad más baja y se registra después de la máxima viscosidad. Se mide en RVU.
- **Viscosidad final:** valor de la viscosidad cuando ha terminado la prueba. Se mide en RVU.
- **Caída en la viscosidad:** es una medida derivada, y es la diferencia de los valores del pico de viscosidad y de la mínima viscosidad. Permite conocer la estabilidad del gránulo frente a la cocción.
- **Setback:** también es una medida derivada, y es la diferencia entre el valor de la viscosidad final y de la mínima viscosidad, está asociado a la sinéresis y a la retrogradación de la pasta.

Figura 20.- Curva de viscosidad y parámetros del RVA.

2.2.9.2.5.- Determinación de la actividad alfa-amilásica: Índice de caída (ICC STANDARD N° 107/1 - AACC N° 56-81)

Se determinó la actividad alfa-amilásica usando el almidón de la muestra como sustrato. El método se basa en la rápida gelatinización de una suspensión de harina, en un baño María y en la medición del tiempo de licuefacción del almidón contenido en la muestra por acción de la alfa-amilasa (Figura 21).

Procedimiento:

- **Contenido de humedad de la muestra a ensayar:** se determina la humedad de la muestra antes de pesar la cantidad para el ensayo (el peso de muestra requerido depende de la humedad de la muestra molida). El método ha sido normalizado para un peso de muestra de 7 g en base a un 15 % de humedad. (ICC, AACC)

Material y Métodos

- **Pesada:** se pesan $7,0 \pm 0,05$ g de harina sobre la base de humedad apropiada y se introducen en el tubo viscosimétrico.
- **Dosificación:** mediante un dispensador se vierten $25 \pm 0,2$ ml de agua destilada a 22 ± 2 °C en un tubo viscosimétrico limpio y seco.
- **Mezclado:** la muestra de harina y el agua se mezclan mediante una vigorosa agitación (40 ± 10 veces) del tubo viscosimétrico hasta obtener una suspensión homogénea. Luego, usando un agitador viscosimétrico limpio y seco, raspar las partículas sólidas adheridas a las paredes del tubo, arrastrándolas hacia la suspensión
- **Agitación:** el tubo viscosimétrico con el agitador se coloca en el baño María y la medición comienza de forma automática (las fases por las que pasa el almidón son: suspensión 20°C, gelatinización 62°C y licuefacción 100 °C).
- **Índice de Caída:** el valor del índice de caída (Falling Number) se define como el tiempo total, en segundos, transcurrido desde que la inmersión del tubo viscosimétrico haya caído la distancia prescrita a través de la suspensión gelatinizada. Por lo tanto el tiempo de agitación (los primeros 60 segundos) está incluido.

Figura 21.- Falling Number 1700 (Perten Instruments, Hägersten, Suecia).

2.2.10.- Panificación experimental y calidad de los panes

Este apartado se ha dividido en tres partes claramente diferenciadas: la primera consistió en la puesta a punto del protocolo de panificación a escala piloto para la elaboración de pan precocido congelado, la segunda el análisis instrumental de los productos cocidos y la tercera el análisis sensorial de los panes.

2.2.10.1.- Puesta a punto de protocolo de panificación a escala piloto para la elaboración de pan precocido congelado

El desarrollo de ensayos de panificación a escala reducida tiene una gran importancia en clave de investigación ya que a partir de estas pruebas podremos reproducir las condiciones y parámetros que intervienen en el proceso de elaboración a escala real.

Para poner a punto un protocolo de elaboración de pan en molde que pudiera ser común a los cinco cultivares y permitiera evaluar su calidad harino-panadera, se emplearon dos harinas cuyas características reológicas se resumen en la tabla 12.

Tabla 12.- Características reológicas de las harinas de ensayo.

Harina	W (10 ⁻⁴ J)	P (mm)	L (mm)	P/L
V18 (Harinera Villafranguina)	189	72	92	0,78
Marfil (Harinera Tardienta)	237	65	113	0,58

Abreviaturas: W: fuerza; P: tenacidad; L: extensibilidad; P/L: equilibrio.

La puesta a punto de un protocolo final de panificación adecuado a los cinco cultivares requirió realizar sucesivas pruebas que fueron corrigiendo los problemas y errores que surgieron en los distintos ensayos. De esta forma se pudo optimizar parámetros tales como: hidratación, temperaturas y tiempos de amasado, manipulación de la masa y condiciones de fermentación y cocción.

Para hornear todos los panes de forma conjunta el mismo día que se hicieran las pruebas instrumentales y sensoriales, se decidió optar por un proceso de precocción y congelación. De esta manera, los panes se terminaban de cocer el mismo día que se sometían a ensayo.

Para el desarrollo del protocolo se utilizó el siguiente equipamiento:

- Formadora de barras Subal mini TL 60, con capacidad para elaborar toda clase de masas.
- Amasadora de sobremesa industrial Teddy W5A Varimixer Sveba Dahlen con capacidad de 3 litros.
- Cámara de fermentación Sveba Dahlen Smartbox Retarder con capacidad para 25 bandejas de horno de 400 x 600 mm o de 450 x 600 mm como estándar, preparada para trabajar en un rango de temperatura comprendido entre +2 °C y +50 °C, con una humedad relativa hasta el 90 %.

Material y Métodos

- Horno eléctrico Sveba dahlen S200 con carro rotativo y mecanismo de producción de vapor independiente. Carro variable para bandejas de hasta 457 x 660 mm, superficies lisas e inoxidables. Control de temperatura y automatización.

- Arcón congelador LIEBHERR GTP 4656 Premium con capacidad para 419 litros

2.2.10.2.- Análisis instrumental de los productos cocidos

Las pruebas instrumentales se organizaron en un orden temporal lógico, de tal manera que primero se realizaron las pruebas utilizando la pieza entera, y posteriormente las pruebas destructivas que requirieron el corte de la pieza en rebanadas.

Los parámetros físicos medidos fueron: volumen y densidad de los panes, humedad, parámetros de textura y color de la miga de pan y análisis de la imagen de la rebanada de pan.

2.2.10.2.1.- Volumen y densidad de los panes

Los panes se pesaron una vez enfriados, después de la segunda cocción. A continuación, se determinó su volumen, mediante la técnica de desplazamiento de semillas. Una vez conocido el peso y el volumen de las piezas, se calculó su densidad.

Volumen y densidad fueron las únicas pruebas no destructivas en el análisis instrumental de los productos cocidos. A partir de este punto de la evaluación instrumental comenzaron las pruebas destructivas. Se cortó el pan en rebanadas de 15 mm de espesor con la ayuda de una cortadora de la marca KRUPS, modelo TR522 (Figura 22), obteniéndose 18 rebanadas por pieza de pan.

Figura 22.- Cortadora KRUPS.

En la siguiente figura se muestra el esquema de un pan rebanado, indicando el uso que se dio a cada una de las rebanadas obtenidas (Figura 23).

Figura 23.- Diagrama de utilización de las diferentes rebanadas de pan.

- Las rebanadas **R4, R8, R14**, se utilizaron para la determinación de textura del pan el mismo día de la cocción final (Día 1), las rebanadas **R5, R10, R15**, para textura a las 48 h (Día 2).
- Las rebanadas **R3, R9 y R11** se emplearon para el análisis de la estructura alveolar de la miga.
- Las rebanadas **R6, R12 y R16** se utilizaron para la determinación de los parámetros de color.
- Las rebanadas **R2, R7, R13 y R17**, se utilizaron para realizar el ensayo de humedad de la miga.

Las rebanadas de los extremos no se utilizaron en las pruebas debido a que son más compactas e irregulares de tamaño en comparación con el resto de las rebanadas, no resultando representativas para el estudio.

2.2.10.2.2.- Humedad de la miga (AACC 44-15a)

La humedad de la miga se determinó mediante el método de diferencia de pesada para cereales. Se molió la miga de la muestra horneada, una vez fría. Se introdujeron 5 gramos de la muestra en la estufa durante 1 hora y media a 130 °C (Figura 24). Por diferencia de pesada, una vez que la muestra estuvo fría, se calculó la humedad de la muestra.

Material y Métodos

Figura 24.- Desecador, balanza de precisión y estufa para determinación de humedad.

2.2.10.2.3.- Textura (AACC estándar 74-09)

La textura de la miga se determinó sobre la rebanada de pan recién cocido y enfriado y a las 48 horas de almacenamiento. Las mediciones se hicieron en el centro geométrico de la rebanada (15 mm de espesor). Los parámetros evaluados de determinaron instrumentalmente mediante un Test de Compresión-Descompresión usando un texturómetro TVT-300-XP de la casa Texvol Instruments (Figura 25).

Figura 25.- Texturómetro TVT-300-XP.

Las condiciones del Test de Compresión fueron:

- 1 ciclo
- Probeta: P-Cy36R
- Penetración: 8 mm
- Velocidad pre-test: 1mm/s
- Velocidad del test: 0,5 mm/s
- Compresión: 40 %
- Altura por encima del objeto: (5 mm)

Los parámetros elegidos para describir la textura de la miga fueron: Firmeza (resistencia que opone la miga a la deformación y fuerza máxima del primer ciclo de compresión) y Resiliencia (capacidad de la miga de recuperar su posición original). La vida útil del pan y la

pérdida de frescura de la miga están fundamentalmente asociadas con la evolución de dos parámetros de textura: el incremento de firmeza y la pérdida de elasticidad (Gil et al., 1999; Lassoued et al., 2008). Por ello, se calculó el incremento de la firmeza entre las 0 y las 48 h de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{InFi} = \frac{\text{firmeza de la miga a las 48 h} - \text{firmeza de la miga a la salida del horno}}{\text{firmeza a la salida del horno}}$$

y el decremento de la resiliencia (pérdida de elasticidad) entre las 0 y 48 horas (tomando su valor absoluto) como:

$$\text{DeRe} = \frac{\text{resiliencia de la miga a la salida del horno} - \text{resiliencia de la miga a las 48 h}}{\text{resiliencia de la miga a la salida del horno}}$$

Dado que el envejecimiento del pan se asocia al incremento de la firmeza y a la pérdida de elasticidad de la miga, los valores InFi y DeRe, permitieron determinar la pérdida de calidad del pan en las primeras 48 h de su vida útil.

2.2.10.2.4.- Análisis de la imagen de la rebanada (C-Cell)

Se utilizó el equipo C-Cell (Figura 26) para la evaluación de la imagen de la rebanada de pan. El sistema utiliza un software dedicado de análisis de imagen para cuantificar las características de los alveolos de la miga, así como la geometría y morfología externas del producto.

Figura 26.- Equipo de análisis de la imagen de la rebanada de pan C-Cell.

De la evaluación realizada se obtuvieron los siguientes parámetros:

- **Area of Cell (%):** área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra (números grandes indican textura abierta).
- **Cell Diameter (mm):** media del diámetro de los alveolos.
- **Average Cell Elongation:** nos da información de la forma del alveolo (valores cercanos a uno indican alveolos redondos y valores mayores indican celdas alargadas).

Material y Métodos

2.2.10.2.5.- Color de la miga

La determinación del color se realizó en el centro de la rebanada mediante un colorímetro de superficie (Figura 27) Minolta CR 400 Series (Japón) calibrado con patrones estándares ($Y= 93,2$, $x= 0,3133$, $y= 0,3192$). Como medida objetiva del color se utilizó el sistema CIELab (C.I.E., 1986), que define cada color a partir de tres coordenadas: luminosidad (L^*) y de cromaticidad colorimétricas (a^* y b^*).

Las magnitudes L^* , a^* y b^* son adimensionales y se definen en función del tipo de estímulo y del blanco de referencia para tratar de simular a los observadores reales (Joshi y Brimelow, 2002). El corte del eje L^* con el plano que forman a^* y b^* es el punto acromático. El valor de a^* es una medida de la intensidad de color rojo; en el desplazamiento sobre el eje a^* hacia valores positivos del punto acromático se observan los rojos y hacia los valores negativos los verdes. El valor b^* es una medida de la intensidad de color amarillo; en el desplazamiento sobre el eje b^* hacia valores positivos del punto acromático se observan los amarillos y hacia los valores negativos los azules (Figura 28).

Figura 27.- Colorímetro Minolta A) y muestras evaluadas B).

Figura 28.- Representación gráfica del espacio CIELab.

2.2.10.3.- Análisis sensorial de los productos cocidos

El análisis sensorial se llevó a cabo en la sala de Análisis Sensorial de la Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Madrid (EUITA) (Figura 29) conforme con los estándares internacionales (ISO 8589:2010), y con el objetivo de describir las propiedades sensoriales de los cinco tipos de pan, se aplicó la metodología de la guía general para establecer un perfil sensorial (ISO 13299:2003b).

Figura 29.- Sala de Análisis Sensorial (Escuela Universitaria de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Madrid).

2.2.10.3.1.- Panel de Cata

Participaron en este estudio un grupo de dieciocho personas (nueve mujeres y nueve hombres), con edades comprendidas entre los 27 y 65 años. Fueron seleccionados según su aptitud sensorial y finalmente entrenados y validados a nueve de ellos como jueces siguiendo la norma ISO 8586: 2012.

Quince de las dieciocho personas iniciales eran miembros del personal de la universidad, trece de los cuales habían recibido previamente una formación teórica y práctica en el análisis sensorial de alimentos y tenían experiencia en degustación de diferentes productos como panes, vinos o quesos; los cinco restantes no habían participado, con anterioridad, en un panel de cata.

Como regla general se solicitó a los participantes del panel que no fumaran, comieran o bebieran nada, excepto agua, durante 2 horas antes de las sesiones. Se puso a disposición de cada juez una jarra de agua y un vaso para enjuagarse la boca durante las pruebas. Todos los recipientes y las muestras de los ensayos estaban codificados aleatoriamente con claves de tres cifras escogidas al azar. Las claves fueron distintas en cada prueba y para cada juez, para evitar que cualquier similitud pudiese sesgar los resultados.

Material y Métodos

2.2.10.3.2.- Calidad sensorial de los panes

El análisis sensorial se presenta en tres partes. La primera parte consiste en la fase de selección del panel de cata, la segunda parte las fases de entrenamiento y validación de los jueces, y la tercera parte la evaluación y el análisis sensorial de los panes elaborados con las cinco harinas de estudio.

2.2.10.3.2.1.- Fase de selección del panel de cata

La idoneidad sensorial de los jueces se determinó durante la fase de selección. Las sesiones se estructuraron en dos partes, en la primera se incluyó una breve introducción teórica y en la segunda procedimientos estandarizados para identificar sabores básicos, aromas, color de la corteza y pruebas de discriminación entre niveles de intensidad de un estímulo. Dieciocho personas participaron en la fase de selección y llevaron a cabo las pruebas descritas en la tabla 13. Estas pruebas se resumen de la siguiente manera:

Prueba 1: Método de Investigación de la sensibilidad gustativa de los evaluadores (ISO 3972, 2011): se establecieron criterios de selección sobre la base de su capacidad para **Identificación de sabores** (Tabla 13: S1) y su **Familiarización con los diferentes tipos de umbrales** (Tabla 13: S2).

Para la **Identificación de sabores** (Tabla 13: S1) se presentó a cada juez recipientes que contenían las disoluciones de ensayo, en un orden prefijado. Las sustancias se les entregaron en forma de disoluciones acuosas, de una concentración dada (Figura 30). Cada juez probó sucesivamente el contenido de cada recipiente, un sorbo de aproximadamente 15 ml, siguiendo el orden de presentación y sin volver a las muestras previamente probadas.

Figura 30.- Prueba de Identificación de sabores.

Para la **Familiarización con los diferentes tipos de umbrales** (Tabla 13: S2) se presentó a cada juez la sustancia de referencia apropiada, para cada sabor, en forma de una serie de diluciones en donde la concentración fue en orden creciente. Para cada sabor se utilizaron cuatro diluciones repartidas en los recipientes. Se introdujeron, al azar, dos recipientes suplementarios conteniendo diluciones de la misma concentración que el recipiente precedente, con el fin de eliminar las respuestas dadas por deducción.

Prueba 2: Iniciación y entrenamiento de los jueces en la detección y reconocimiento de olores (ISO 5496, 2006): esta prueba tuvo como objetivo valorar la detección de ciertos aromas del pan por parte de los evaluadores (Tabla 13: S3).

Se presentó a los jueces una serie de 9 frascos de vidrio con tapa de rosca envueltos en papel aluminio. En su interior contenían 40 g de pan rallado mezclado con diferentes sustancias olorosas presentes en concentraciones específicas (Figura 31). Se instruyó a los jueces para que abrieran los frascos de uno en uno e hicieran cortas y profundas inhalaciones para identificar cada producto oloroso. La prueba se realizó a ciegas.

Figura 31.- Prueba de detección y reconocimiento de olores.

Prueba 3: Ensayo de clasificación por ordenación (ISO 8587, 2006): clasificación de las muestras de acuerdo a los atributos "Color de la corteza" (Tabla 13: S4), "Firmeza de la miga" (Tabla 13: S5) y "Elasticidad de la miga" (Tabla 13: S6).

En cada prueba se presentó a los jueces, en un orden aleatorio, cuatro muestras que detentaban la propiedad estudiada a diferentes niveles de intensidad. Se les pidió que las clasificaran en orden de intensidad creciente (Figura 32). Este orden aleatorio de presentación es el mismo para todos los jueces, de esa manera se aseguró que la comparación de sus actuaciones no fuera a estar influida por el orden distinto de

Material y Métodos

presentación de las muestras. Después del análisis de los resultados de esta fase, nueve jueces fueron seleccionados para continuar con el entrenamiento.

Figura 32.- Prueba de clasificación por ordenación de las muestras por el panel.

Tabla 13.-Metodología empleada en la fase de selección del panel de cata

Metodología	Objetivos	Código de la prueba	Material	
Método de investigación de la sensibilidad gustativa (ISO 3972: 2011)	Identificación de sabores	S1 / Sabores	- Vasos plásticos de 50 ml de muestra para cada sabor - Sabor ácido: ácido cítrico cristalizado (monohidratado)/(0,43 g/l) - Sabor amargo: cafeína cristalizada (monohidratada)/(0,195 g/l) x 2 - Sabor salado: cloruro de sodio anhidro/(1,19 g/l) x 2 - Sabor dulce: sacarosa/(5,76 g/l) - Sabor umami: glutamato de sodio anhidro/(0,595 g/l) - Agua mineral (10 l)	
	Familiarización con los diferentes tipos de umbrales	S2 / Sabores	- Vasos plásticos de 50 ml de muestra para cada dilución - Ácido cítrico cristalizado (monohidratado) (diluciones (g/l): 0,13; 0,25; 0,38; 0,60) - Cafeína cristalizada (monohidratada) (diluciones (g/l): 0,06; 0,11; 0,17; 0,27) - Cloruro de sodio anhidro (diluciones (g/l): 0,16; 0,48; 0,98; 2,00) - Sacarosa (diluciones (g/l): 0,34; 1,56; 4,32; 12,00) - Agua mineral	
Iniciación y entrenamiento de jueces en la detección y reconocimiento de olores (ISO 5496: 2006)	Identificación de olores propios del pan	S3 / Aromas	Frascos de vidrio envueltos en aluminio con tapa a rosca con 40 g de pan rallado a los que se añadieron diferentes concentraciones de sustancias que permitieron la identificación de los siguientes aromas (por muestra): nuez, anís, láctico, regaliz, vainilla, ciruela, levadura, tostado y miel	- Nueces con cáscara peladas / (6 g/u) - Cáscara de anís estrellado / (0,05 g/u) - Leche en polvo desnatada / (15 g/u) - Regaliz / (4 g/u) - Vainilla en rama cortada y machacada / (0,15 g/u) - Ciruelas pasas / (2 g/u) - Levadura prensada CGL / (5 g/u) - Pan de barra tostado / (4 g/u) - Miel (caramelos rellenos con miel)/ (dos caramelos machacados /u)
Ensayos de clasificación por ordenación (ISO 8587: 2006)	Orden de muestras según un criterio específico	S4 / Color de la corteza	Barra de pan rústica precocida y congelada Tª de cocción: 180 °C (Horno doméstico BOSH) Se presentaron 4 panes cocidos a diferentes tiempos de cocción	<ul style="list-style-type: none"> 1º pan: 17 min 2º pan: 22 min 3º pan: 30 min 4º pan: 40 min
		S5 / Firmeza de la miga S6 / Elasticidad de la miga	Se utilizaron cinco panes comerciales a los cuales se los había evaluado previamente con un texturómetro para conocer los valores de firmeza y elasticidad de la miga	<ul style="list-style-type: none"> Pan de semillas con masa madre (Marca: Panflor) Pan redondo blanco (Marca: Panflor) Barra de pan rústica precocida congelada (Marca: Hacendado) Hogaza de centeno (Marca: La Tahona de Humilladero) Pan de molde blanco (Marca: Bimbo)

2.2.10.3.2.2.- Fase de entrenamiento y validación del panel de cata

La formación de los nueve jueces seleccionados se realizó durante un período de cuatro meses con una frecuencia de una sesión por semana. Cada sesión se dividió en dos partes: la primera consistió en una introducción teórica que abordaba aspectos específicos del análisis sensorial y los atributos del pan, y la segunda consistió en pruebas prácticas de los conceptos expuestos en la teoría. Cada juez participó en un máximo de tres pruebas por sesión, con un máximo de cuatro muestras por prueba y un descanso de 15 minutos entre cada prueba y la siguiente.

Las pruebas se centraron en la detección y reconocimiento de aromas, sabores y texturas. Los atributos se clasificaron en base a cuatro características: aroma (percepción olfativa), aspecto (percepción visual), textura (textura táctil y oral) y flavor (oral y retronasal).

Se utilizó la prueba de **Comparación por parejas** (ISO 5495, 2005) para dar a los jueces los anclajes de referencia, estos se establecieron a partir de grupos de discusión y definiciones de atributos que se tomaron de Callejo (2011) para los siguientes atributos:

- **Textura:** Firmeza de la miga (Tabla 14: E1); Elasticidad de la miga (Tabla 14: E2); Humedad de la miga (Tabla 14: E3); Cohesividad de la miga (Tabla 14: E4).
- **Apariencia:** Número de alveolos en la miga de pan (Tabla 14: E5); Homogeneidad de los alveolos (Tabla 14: E6).
- **Aroma y flavor:** Aroma/flavor láctico en la miga (Tabla 14: E7), Aroma/flavor acético en la miga (Tabla 14: E8).

Después de 48 horas de entrenamiento, se evaluó la capacidad de discriminación y repetitibilidad de cada juez, así como el grupo en su conjunto, por medio de **pruebas triangulares** (ISO 4120: 2004).

Las pruebas consistieron en examinar el conjunto de atributos en tres muestras de pan (Figura 33), dispuestas en forma aleatoria, con el fin de que el juez identificara la muestra desaparejada, siendo el nivel de significación para un acierto del 100 % de 0,1 % y para aciertos entre el 70 % y el 100 % de 1 %

Se elaboraron y hornearon siete panes diferentes para estas pruebas. Cuatro de ellos (Tabla 14: V1, V2 y V3) se prepararon con los mismos ingredientes, variando la masa madre incorporada en la formulación y las condiciones de fermentación y los tres panes restantes

Material y Métodos

(Tabla 14: V4, V5 y V6,) se elaboraron siguiendo el mismo protocolo, pero utilizando diferentes harinas: harina integral de trigo, harina integral de centeno y harina integral de espelta.

Figura 33- Pruebas triangulares.

2.2.10.3.2.3.- Evaluación de las muestras y perfil sensorial

Una vez que el panel de jueces fue entrenado y validado, se procedió al análisis sensorial de los cinco panes de las variedades evaluadas en este estudio. En primer lugar, por medio de pruebas triangulares de comparación por parejas, se valoró si los jueces percibían los cinco panes como diferentes (A) y en segundo lugar, se realizó la determinación del análisis del perfil sensorial, para cuantificar sus atributos sensoriales (B).

A.- Prueba triangular (ISO 4120: 2004):

El objetivo del primer análisis fue determinar si los jueces eran capaces de percibir las cinco muestras como diferentes y a la vez generar los términos descriptivos que se utilizarían para la cata final (Tabla 15: AS1, AS2, AS3 y AS4).

B.- Análisis sensorial de los atributos del pan:

A continuación, se evaluaron los 5 panes objeto de estudio, siguiendo las normas internacionales: **Método para establecer el perfil olfato-gustativo** (ISO 6564: 1985) y **Evaluación de productos alimenticios por métodos que utilizan escalas** (ISO 4121: 2003a) (Tabla 15: AS5, AS6, AS7 y AS8). Para efectuar el análisis descriptivo de las muestras se utilizó una escala hedónica no estructurada. La escala consistió en una recta de 100 mm de longitud, con los términos descriptivos colocados en los extremos. Los jueces hicieron una marca en la recta para indicar la intensidad de cada atributo. Se midió la distancia entre la marca hecha por el catador y el extremo izquierdo de la recta, obteniéndose un valor numérico.

Tabla 14.- Metodología empleada en la fase entrenamiento y validación del panel de cata.

Fase	Metodología	Objetivos	Código de la prueba		Material
Entrenamiento	Prueba de comparación por parejas (ISO 5495: 2005)	Definir el vocabulario y adquirir familiaridad con las definiciones y escalas	E1 / Firmeza de la miga		- Pan de centeno (Marca: La Tahona de Humilladero, firmeza alta en la miga determinada por texturómetro) y pan español tipo pistola (firmeza baja determinada por texturómetro)
			E2 / Elasticidad de la miga		- Dos muestras de pan de molde blanco (Marca: Bimbo), uno de ellos se mantuvo en refrigeración para mejorar la retrogradación del almidón, dando como resultado una pérdida en elasticidad
			E3 / Humedad de la miga		- Pan español tipo Candeal, con poca humedad y pan estilo artesanal con alta humedad (Marca: Panflor)
			E4 / Cohesividad de la miga		- Pan tostado (Marca: Diatosta Minigrill; baja cohesividad) y pan español tipo candeal (alta cohesividad)
			E5 / Determinación del número de alveolos en la miga de pan		- Pan español tipo pistola (bajo número de alveolos en la miga) y pan español tipo chapata (alto número de alveolos en la miga)
			E6 / Determinación de la homogeneidad de los alveolos en la miga		- Pan español tipo chapata (baja homogeneidad de los alveolos de la miga) y pan candeal (alta homogeneidad de los alveolos de la miga)
			E7 / Determinar el aroma/flavor láctico en la miga de pan		- Pan español tipo pistola (bajo aroma/flavor láctico en la miga) y pan con masa madre líquida (alto aroma/flavor láctico en la miga)
			E8 / Determinar el aroma/flavor acético en la miga de pan		- Pan español tipo pistola (bajo aroma/flavor acético en la miga) y pan con masa madre sólida (alto aroma/flavor acético en la miga)
Validación	Prueba triangular (ISO 4120: 2004)	Identificar la capacidad de discriminación, repetitibilidad y reproducibilidad de cada juez	V1: A vs B V2: A vs D V3: C vs B	Flavor acético y láctico	Cuatro panes elaborados con los mismos ingredientes, variando la masa madre y las condiciones de fermentación: A: pan con levadura de panadería B: pan con levadura de panadería y masa madre acética C: pan con levadura y masa madre láctica D: pan solo con masa madre acética
			V4: E vs F V5: F vs G V6: E vs G	Atributos de apariencia y textura	Tres panes elaborados con el mismo protocolo pero utilizando diferentes harinas: E: pan integral de trigo F: pan integral de espelta G: pan integral de centeno

Material y Métodos

Tabla 15.- Metodología empleada en la fase de evaluación de las muestras y perfil sensorial.

Fase	Metodología	Objetivos	Código de prueba	Material
Evaluación y perfil sensorial	Prueba triangular (ISO 4120: 2004)	Evaluar si existen diferencias entre los panes de las variedades comparando dos panes de distinta variedad a la vez	AS1: 'Bonpain' vs 'Sensas' AS2: 'Espelta Navarra' vs 'Espelta Álava' AS3: 'Sensas' vs 'Espelta Navarra' AS4: 'Bonpain' vs 'Espelta Álava'	Muestras de pan de las variedades: 'Bonpain', 'Espelta Álava', 'Sensas', 'Espelta Navarra' y 'Cracklin'
	Método para establecer el perfil olfato-gustativo. (ISO 6564: 1985) Evaluación de productos alimenticios por métodos que utilizan escalas (ISO 4121: 2003a)	Análisis sensorial de los atributos del pan	AS5: 'Bonpain' AS6: 'Espelta Álava' AS7: 'Sensas' AS8: 'Espelta Navarra' AS9: 'Cracklin'	

Los panes objeto de estudio se cocieron el mismo día de la prueba y se dejaron enfriar para su posterior evaluación, luego se cortaron en rebanadas de 15 mm y se envolvieron en papel de aluminio para su correcta conservación y presentación a los jueces. Se evaluó una rebanada completa de pan para cada muestra (incluida la miga y la corteza).

Se sugirió a los jueces el siguiente orden para el análisis sensorial de los atributos del pan: primero la fase olfativa, llevándose la muestra cerca de la nariz, debían olerla con inhalaciones largas y fuertes al mismo tiempo que apretaban suavemente dos veces, con el fin de liberar los compuestos aromáticos. El mismo procedimiento se repitió con la corteza. Luego debían seguir por la fase apariencia, seguidamente pasar a la fase textura (tanto en mano como en boca) y concluir con la fase flavor.

2.2.11.- Análisis de datos

El análisis estadístico de los datos obtenidos en las pruebas de calidad harino-panadera y en los análisis instrumentales y sensoriales de los panes se realizó con el paquete estadístico SAS 6.12 (SAS Institute, 1996).

Los resultados de las pruebas triangulares se analizaron comparando el número total de respuestas correctas con el número mínimo de respuestas requeridas para la significación estadística (ISO 4120, 2004).

RESULTADOS

3.- RESULTADOS

3.1.- Genética de los cultivares

3.1.1.- Análisis de homogeneidad de los cultivares

Mediante electroforesis SDS-PAGE, se analizaron 100 granos tomados al azar de cada cultivar para determinar su homogeneidad. Los cultivares ‘Bonpain’, ‘Sensas’ y ‘Craklin’ y el ‘Espelta Navarra’ resultaron homogéneos, al presentar todos los granos el mismo perfil electroforético (Figura 34). En el ‘Espelta Álava’ se observaron diferencias entre prolaminas de los granos, indicando que es una variedad heterogénea (Figura 35). Este análisis también permitió identificar las gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS).

3.1.2.- Composición en gluteninas HMW-GS

Para la caracterización de las gluteninas HMW-GS, se emplearon variedades testigo según el “*Catalogue of genes symbols for wheat*” (McIntosh et al., 2008, 2011). En las Figuras 34 y 35 se pueden identificar las subunidades de gluteninas HMW-GS de los cultivares codificadas por los loci *Glu-1* y en la Tabla R1 se presenta su composición en gluteninas HMW-GS.

Figura 34.- Fraccionamiento de prolaminas por electroforesis en geles SDS-PAGE. Granos de ‘Bonpain’ (1-5), testigo ‘Bonpain’ (6), testigo ‘Ablaca’ (7), granos de ‘Craklin’ (8-17), testigo ‘Craklin’ (18), granos de ‘Sensas’ (19-23). A la izquierda de la figura se pueden observar detalladamente las gluteninas HMW-GS de las tres variedades comerciales ‘Bonpain’, ‘Craklin’ y ‘Sensas’.

Resultados

Figura 35.- Fraccionamiento de prolaminas por electroforesis en geles SDS-PAGE. Granos de ‘Espelta Navarra’ (1-9), granos de ‘Espelta Álava’ (10-13 y 16-18), testigo ‘Lankota’ (13) y testigo ‘Cajeme 71’ (15). A la izquierda de la figura se pueden observar detalladamente las gluteninas HMW-GS de ‘Espelta Navarra’ y de ‘Espelta Álava’.

Codificadas por el locus *Glu-A1* (Tabla 16), se identificaron cuatro subunidades de gluteninas HMW-GS. Se encontraron, la subunidad 1 (alelo *a*) en la variedad ‘Sensas’ y en el ‘Espelta Navarra’, la subunidad 2* (alelo *b*) en la variedad ‘Bonpain’, la subunidad Nula (alelo *c*) en ‘Craklin’ y el ‘Espelta Álava’ tenía las subunidades 1 y 2•• (alelos *a* e *y*, respectivamente). Siguiendo el método descrito por Gobaa et al. (2007) y Giraldo et al. (2010) se identificó, mediante PCR, la subunidad 2•• y se la diferenció de la 2*. Se puede observar, en la Figura 36A, que hay entre ambas subunidades una diferencia de 18 pb.

Codificadas por el locus *Glu-B1* (Tabla 16), se identificaron los siguientes pares de gluteninas HMW-GS: el par 7+8 (alelo *b*) en la variedad ‘Craklin’, el par 7*+9 (sin alelo asignado en el “*Catalogue of genes symbols for wheat*”) en la variedad ‘Sensas’, el par 17+18 (alelo *i*) en la variedad ‘Bonpain’, el par 6*+8* (alelo *w*) en el ‘Espelta Navarra’, y en el ‘Espelta Álava’ se identificaron los pares de gluteninas HMW-GS 13+18 (alelo *at*) y 13+16 (alelo *f*). La identificación de las subunidades 7 y 7* presentes en las variedades ‘Craklin’ y ‘Sensas’, respectivamente, se realizó mediante PCR según el método descrito por Espí et al.

(2012). En la Figura 36B se puede observar que la diferencia entre ambas subunidades es de 18pb.

Figura 36.- Discriminación mediante PCR de subunidades de gluteninas HMW-GS de los loci *Glu-A1* (A) y *Glu-B1* (B). A): subunidades 2* (118 pb) y 2** (100 pb) de los testigos ‘Ablaca’ y ‘Ribeiro’, respectivamente, y de ‘Bonpain’ (3) y ‘Espelta Álava’ (4). B): subunidades 7 (182 pb) y 7* (164 pb). En ambas figuras se puede observar en la izquierda el marcador del peso molecular.

Codificadas por el locus *Glu-D1* (Tabla 16), se identificaron los pares de subunidades 2+12 (alelo *a*) en ‘Craklin’ y en el ‘Espelta Navarra’, y 5+10 (alelo *d*) en las variedades ‘Bonpain’ y ‘Sensas’. En el ‘Espelta Álava’, se identificaron los pares de subunidades 2+12 y 2+12* (alelos *a* y *j* respectivamente).

Tabla 16.- Composición en subunidades de gluteninas HMW-GS codificadas por los loci *Glu-1* de los cultivares

Variedad	Loci, subunidades y alelos de gluteninas HMW-GS		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>
‘Bonpain’	2* (<i>b</i>)	17+18 (<i>i</i>)	5+10 (<i>d</i>)
‘Craklin’	Nula (<i>c</i>)	7+8 (<i>b</i>)	2+12 (<i>a</i>)
‘Sensas’	1 (<i>a</i>)	7*+9	5+10 (<i>d</i>)
‘Espelta Navarra’	1 (<i>a</i>)	6*+8* (<i>w</i>)	2+12 (<i>a</i>)
‘Espelta Álava’	1 (<i>a</i>)/ 2** (<i>y</i>)	13+18 (<i>at</i>) /13+16 (<i>f</i>)	2+12 (<i>a</i>)/2+12* (<i>j</i>)

3.1.3.- Composición en puroindolinas

Para determinar la composición en las proteínas puroindolinas, que controlan el tipo de dureza de los trigos panaderos, se llevó a cabo la determinación alélica de cada uno de los parentales mediante PCR con cebadores específicos y secuenciación de la región codificante completa.

La variedad ‘Craklin’, el ‘Espelta Álava’ y el ‘Espelta Navarra’ portaban el alelo de tipo silvestre para ambas puroindolinas A y B (alelos *pina-D1a* y *pinb-D1a*), por lo que la textura

Resultados

del endospermo era de tipo blando (“soft”). Mientras que las variedades ‘Bonpain’ y ‘Sensas’ portaban el alelo silvestre de la puroindolina A (alelo *pina-D1a*), y en el gen de la puroindolina B llevaban una mutación producida por la sustitución de un nucleótido que origina el cambio Gly46→Ser46 (alelo *pinb-D1b*). Por este cambio, la textura del endospermo es del tipo duro (“hard”). En la Tabla 17, se presenta la composición en puroindolinas y el tipo de textura del endospermo de los cinco cultivares.

Tabla 17.- Composición en puroindolinas y textura del endospermo de los cultivares

Variedad	Puroindolinas		Textura del endospermo
	<i>pina-D1</i>	<i>pinb-D1</i>	
‘Bonpain’	<i>a</i>	<i>b</i>	Duro
‘Craklin’	<i>a</i>	<i>a</i>	Blando
‘Sensas’	<i>a</i>	<i>b</i>	Duro
‘Espelta Navarra’	<i>a</i>	<i>a</i>	Blando
‘Espelta Álava’	<i>a</i>	<i>a</i>	Blando

3.2.- Calidad de los cultivares

3.2.1.- Calidad del grano: peso de mil semillas, dureza del endospermo, contenido en cenizas, contenido en proteína y contenido en minerales Fe y Zn

Para llevar a cabo las pruebas de calidad del grano, se obtuvo la harina mediante molienda con un Molino Tekator y malla de 1mm.

Para evaluar la calidad del grano, se determinó en los cultivares: el peso de mil semillas, la dureza, el contenido en cenizas, el contenido en proteína al 14 % de humedad y el contenido en los minerales hierro y zinc.

El análisis de la varianza tomando como fuente de variación al cultivar, indicó una alta explicación del modelo y efecto significativo de la variación para todos los parámetros de calidad del grano (Tabla 18).

Tabla 18.- Análisis de la varianza para parámetros de la calidad del grano. Se indica el valor del cuadrado medio y el grado de significación. R (%) indica la explicación del modelo para el análisis de la varianza

Fuente de variación	PMS	Dureza	Cenizas	Proteína	Fe	Zn
Cultivar	26,5**	25,2**	0,05**	5,1**	31,7**	224,7**
Error	0,1	0,3	0,0	0,0	0,18	0,15
R (%)	99,7	98,6	74,27	99,9	99,3	99,9

** Significativo al 1 %.

Abreviatura: PMS: peso de mil semillas.

El análisis de la comparación múltiple de Tukey de los valores medios de los parámetros de calidad del grano (Tabla 19) indicó que para el parámetro peso de mil semillas había diferencia significativa entre los valores medios de los cinco cultivares, teniendo ‘Craklin’ el mayor valor medio y las variedades ‘Sensas’ y ‘Bonpain’ el menor, situándose ambos espeltas en los valores centrales. Para el parámetro dureza del endospermo, los valores medios de las variedades ‘Bonpain’ y ‘Sensas’ eran significativamente superiores al de la variedad ‘Craklin’ y a los de los trigos espeltas. ‘Craklin’ tuvo el menor valor medio para el contenido en cenizas y no hubo diferencias significativas entre el resto de los cultivares. En el contenido en proteína, el mayor valor medio significativo fue el de ‘Bonpain’, seguido del ‘Espelta Navarra’, siendo el menor el de ‘Craklin’, mientras que entre los valores medios de ‘Espelta Álava’ y ‘Sensas’ no se encontró diferencia significativa.

Para los minerales hierro y zinc, se observó diferencia significativa entre los valores medios de los cultivares. El ‘Espelta Navarra’ presentó el valor medio mayor para contenido en Fe y en Zn, mientras que ‘Bonpain’ y el ‘Espelta Álava’ tuvieron el menor valor medio en Fe y en Zn y, para este último, acompañados por ‘Sensas’ (Tabla 19).

Tabla 19.- Comparación múltiple de Tukey de los valores medios (*) de los parámetros de calidad del grano de los cinco cultivares

Variedad	PMS (g)	Dureza	Cenizas (% BS)	Proteína (%)	Fe (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
‘Bonpain’	50,1e	41,0a	1,14a	10,0a	26,8d	25,9c
‘Craklin’	59,1a	33,0c	0,78b	6,0d	30,0c	36,1b
‘Sensas’	51,5d	41,5a	1,10a	9,0c	31,8b	26,1c
‘E. Navarra’	52,3c	36,5b	1,04a	9,6b	36,6a	50,0a
‘E. Álava’	55,3b	36,5b	1,06a	8,8c	27,2d	25,7c

(*) Valores en la misma columna y con la misma letra no presentan diferencia significativa ($p < 0,05$).

Abreviaturas: PMS: peso de mil semillas; BS: base seca.

3.2.2.- Calidad harino-panadera: prueba del volumen de sedimentación, Alvéografo de Chopin, Consistógrafo de Chopin, RVA e Índice de Caída

Para llevar a cabo las pruebas de calidad harino-panadera, se molieron granos de los cinco cultivares siguiendo el mismo esquema de molienda. Se obtuvo en las harinas la siguiente tasa de extracción: ‘Bonpain’ (0,76), ‘Craklin’ (0,69), ‘Sensas’ (0,59), ‘Espelta Navarra’ (0,82) y ‘Espelta Álava’ (0,82).

De las pruebas de calidad harino-panadera realizadas, se pudo determinar: el volumen de sedimentación (SDSS), los parámetros del Alvéografo: fuerza (W), tenacidad (P), extensibilidad (L) y equilibrio (P/L) y la realización del alveograma a las dos horas permitió conocer el parámetro degradación (W’). Mediante el Consistógrafo se determinó la

Resultados

capacidad de absorción de agua de la harina (HYD) y los parámetros que explican el comportamiento de la masa durante el amasado: tiempo en alcanzar la presión máxima (Tprmax), tolerancia (Tol) y debilitamiento de la masa a los 250 y 450 segundos (D_{250} y D_{450} , respectivamente). Los parámetros de viscosidad del almidón, pico de viscosidad (PV) y Setback (diferencia entre el valor de la viscosidad final y de la mínima viscosidad), se determinaron mediante el RVA (Rapid Visco Analyser) y, por último, se determinó el índice de caída (IC) o actividad α -amilásica.

El análisis de la varianza para los parámetros de calidad harino-panadera (Tabla 20), indicó una alta explicación del modelo y efecto significativo de la variación para todos los parámetros determinados, con excepción del setback.

El análisis de la comparación múltiple de Tukey de los valores medios de los parámetros de calidad harino-panadera (Tabla 21) presentó diferencia significativa entre los valores medios del volumen de sedimentación (SDSS) para los cinco cultivares, siendo el mayor valor medio el de Bonpain' y el menor el de 'Craklin'. Para los parámetros del alveógrafo, los valores medios de la fuerza (W) de 'Bonpain' y de 'Sensas' eran significativamente mayores que los de ambas espeltas y 'Craklin', mientras que en la degradación (W') el mayor valor medio fue el de 'Bonpain' y los menores los de ambas espeltas y 'Craklin'. El valor medio de la tenacidad (P) de 'Sensas' fue significativamente el mayor, seguido del de 'Bonpain'; en cambio en la extensibilidad (L), el valor medio del 'Espelta Álava' fue significativamente superior al del 'Espelta Navarra', al de 'Sensas' y al de 'Craklin'. Para la relación P/L, los valores medios de ambas espeltas fueron inferiores. En la figura 37 se pueden observar algunos alveogramas de los cultivares.

La determinación de los parámetros consistográficos para el cultivar 'Craklin' no pudo hacerse ya que en el ensayo a hidratación constante (HC) no se alcanzó la presión objetivo de 2200 mb, como se puede apreciar en la Figura 37. En los parámetros del consistograma, se pudo observar un comportamiento diferente entre trigos espelta y comerciales. Los espeltas tuvieron menores valores medios de hidratación (HYD), tiempo en alcanzar la presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol), y mayores valores medios de debilitamiento de la masa a los 250 y 450 segundos (Tabla 21). En la figura 37 se pueden observar algunos consistogramas de los cultivares.

El valor medio del pico de viscosidad (PV) de 'Craklin', medido por el RVA, fue significativamente mayor que el del 'Espelta Navarra' y el de 'Bonpain'. Mientras que, para

el índice de caída (IC), el valor medio de los cinco cultivares estuvo por encima de los 320 s, valor que se encuentra en el rango que no va a generar dificultades en panificación (Tabla 21).

Figura 37.- Alveógramas a los 28 min (A), a las 2h (B) y consistogramas a hidratación adaptada (HA) (C), de los cultivares.

Resultados

Tabla 20.- Análisis de la varianza para los parámetros de calidad harino-panadera. Se indica el valor del cuadrado medio y el grado de significación. R (%) indica la explicación del modelo para el análisis de la varianza

Fuente de Variación	SDSS (mm)	Alveógrafo					Consistógrafo					RVA		IC (s)
		W (10 ⁻⁴ J)	P (mm)	L (mm)	P/L	W' (10 ⁻⁴ J)	HYD (%)	Tprmax (s)	Tol (s)	D ₂₅₀ (mb)	D ₄₅₀ (mb)	PV (RVU)	Setback	
Cultivar	2396,9**	13289,0**	7751,2**	930,4**	37,7**	13367,8**	14,6**	8628,3**	6966,8*	583421,8**	208446,8*	2270,7**	62,2	5217,9**
Error	0,52	30,6	10,3	16,3	0,04	95,0	0,35	353,8	483,8	18322,5	16083,3	197,1	35,1	311,9
R (%)	99,9	99,7	99,8	97,9	99,8	99,12	96,9	94,8	91,5	96,0	90,7	90,21	58,66	93,04

**, *: significativo al 1 % y al 5 %, respectivamente.

Abreviaturas: SDSS: volumen de sedimentación; **W:** fuerza; **P:** tenacidad; **L:** extensibilidad; **P/L:** equilibrio; **W':** degradación; **HYD:** capacidad de hidratación de la harina; **Tprmax:** tiempo en alcanzar la presión máxima; **Tol:** tolerancia al amasado; **D₂₅₀:** debilitamiento de la masa a los 250 s; **D₄₅₀:** debilitamiento de la masa a los 450 s; **PV:** pico de viscosidad; **Setback:** viscosidad final-mínima viscosidad; **IC:** índice de caída.

Tabla 21.- Comparación múltiple de Tukey de los valores medios (*) de los parámetros de calidad harino-panadera de los cultivares

Cultivar	SDSS (mm)	Alveógrafo					Consistógrafo					RVA	IC (s)
		W (10 ⁻⁴ J)	P (mm)	L (mm)	P/L	W' (10 ⁻⁴ J)	HYD (%)	Tprmax (s)	Tol (s)	D ₂₅₀ (mb)	D ₄₅₀ (mb)	PV (RVU)	
'Bonpain'	115,5a	200,0a	103,5b	55,0ab	1,9b	220,0a	55,3ab	166,5a	195,0a	310b	851,5ab	324,1c	526,0a
'Craklin'	31,5e	33,5b	82,5c	9,0c	9,4a	40,5c	-	-	-	-	-	413,8a	396,5b
'Sensas'	106,5b	187,5a	191,0a	21,5c	8,8a	175,0b	57,2a	208,0a	196,5a	92b	716,0b	378,1abc	511,0a
'E. Navarra'	51,0d	49,0b	43,0d	39,5b	1,1bc	54,5c	53,0bc	71,0b	89,0b	1110a	1311,5a	351,6bc	466,5ab
'E. Álava'	76,3c	55,0b	36,5d	59,5a	0,6c	60,0c	51,0c	84,5b	98,5b	1137a	1356,0a	380,5ab	494,5a

(*) Valores en la misma columna y con la misma letra no presentan diferencias significativas (p<0,05).

Abreviaturas: SDSS: volumen de sedimentación; **W:** fuerza; **P:** tenacidad; **L:** extensibilidad; **P/L:** equilibrio; **W':** degradación; **HYD:** capacidad de hidratación de la harina; **Tprmax:** tiempo en alcanzar la presión máxima; **Tol:** tolerancia al amasado; **D₂₅₀:** debilitamiento de la masa a los 250 s; **D₄₅₀:** debilitamiento de la masa a los 450 s; **PV:** pico de viscosidad; **Setback:** viscosidad final-mínima viscosidad; **IC:** índice de caída.

3.2.3.- Correlaciones entre los parámetros de calidad de los cultivares

El resultado del estudio de la correlación de Pearson entre los parámetros de calidad de los cultivares se presenta en la tabla 22.

El peso de mil semillas (PMS) presentó correlación significativa y negativa con la dureza, el contenido en proteína, el volumen de sedimentación (SDSS), el índice de caída (IC), el contenido en cenizas, la fuerza del alveógrafo (W y W') y con los parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol); y correlación significativa y positiva con el pico de viscosidad del almidón (PV) y con los parámetros del consistógrafo debilitamiento de la masa a los 250 y a los 400 segundos (D₂₅₀ y D₄₅₀).

La dureza del grano mostró correlación positiva y significativa con el contenido en proteína, con el índice de caída (IC), con el contenido en cenizas, con los parámetros del alveógrafo fuerza (W y W') y tenacidad (P), y con los parámetros del consistógrafo hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol), y correlación negativa y significativa con el pico de viscosidad del almidón (PV) y con los parámetros del consistógrafo debilitamiento de la masa a los 250 y a los 450 segundos (D₂₅₀ y D₄₅₀).

El contenido en proteína presentó correlación positiva y significativa, con el volumen de sedimentación (SDSS), con el índice de caída (IC), con el contenido en cenizas y con la extensibilidad (L), mientras que la correlación fue significativa y negativa con la relación P/L (equilibrio) y con el pico de viscosidad del almidón (PV).

El volumen de sedimentación (SDSS) presentó correlación significativa y positiva con el índice de caída (IC), con el contenido en cenizas, con la fuerza del alveógrafo (W y W'), y con los parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol), y negativa con el debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s (D₂₅₀ y D₄₅₀).

El índice de caída mostró correlación significativa y positiva con el contenido en cenizas, con la fuerza (W y W'), con la extensibilidad (L) y con los parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD) y tiempo de presión máxima (Tprmax). Por otra parte presentó correlación negativa con el pico de viscosidad del almidón (PV) y con el debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s (D₂₅₀ y D₄₅₀).

Resultados

Se observó correlación significativa y positiva entre el contenido en cenizas y la extensibilidad (L) y negativa entre el contenido en cenizas con la relación P/L y con el pico de viscosidad del almidón.

De los parámetros del alveógrafo, la fuerza (W) presentó correlación positiva y significativa con la tenacidad (P), con la W', con el setback y con los parámetros del consistógrafo hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol), y correlación negativa y significativamente con el contenido en Zn y, con los parámetros del consistógrafo debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s. La tenacidad (P) presentó correlación positiva con la relación P/L y con la W', e igualmente, con los parámetros del consistógrafo hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol) y presentó correlación negativa con los parámetros del consistógrafo debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s. La correlación de la extensibilidad (L) con la relación P/L fue negativa y también lo fue con el pico de viscosidad del almidón (PV) y con la hidratación (HYD) del consistógrafo. La relación P/L presentó correlación positiva con el pico de viscosidad del almidón (PV) y con los parámetros del consistógrafo hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol) y correlación negativa con los parámetros del consistógrafo, debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s (D_{250} y D_{450}).

El contenido en hierro mostró correlación significativa y positiva con el contenido en zinc. Los tres parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol) mostraron correlación negativa con los dos parámetros de decaimiento D_{250} y D_{450} .

Se observó correlación significativa y positiva entre el contenido en cenizas y la extensibilidad (L) y negativa entre el contenido en cenizas con la relación P/L y con el pico de viscosidad del almidón.

De los parámetros del alveógrafo, la fuerza (W) presentó correlación positiva y significativa con la tenacidad (P), con la W', con el setback y con los parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol), y correlación negativa y significativamente con el contenido en Zn y los parámetros del consistógrafo, debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s (D_{250} y D_{450}).

Tabla 22.- Matrices de coeficientes de correlación de Pearson (r) entre los parámetros de calidad de los cultivares

	PMS	Dureza	Proteína	SDSS	IC	Cenizas	Alveógrafo					Minerales		RVA		Consistógrafo			
							W	P	L	P/L	W'	Fe	Zn	PV	SB	HYD	Tprmax	Tol	D ₂₅₀
PMS	-																		
Dureza	-0,91**	-																	
Proteína	-0,92**	0,76**	-																
SDSS	-0,81**	0,95**	0,70*	-															
IC	-0,85**	0,88**	0,86**	0,90**	-														
Cenizas	-0,82**	0,73*	0,88**	0,70*	0,80**	-													
Alveógrafo	W	-0,79**	0,94*	n.s.	0,93**	0,75**	n.s.	-											
	P	n.s.	0,65*	n.s.	n.s.	n.s.	0,76**	-											
	L	n.s.	n.s.	0,72*	n.s.	0,64*	0,72*	n.s.	n.s.	-									
	P/L	n.s.	n.s.	-0,68*	n.s.	-	-0,63*	n.s.	0,67*	-0,92**	-								
	W'	-0,78**	0,90**	n.s.	0,91**	0,74*	n.s.	0,98**	0,68*	n.s.	n.s.	-							
Fe	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-							
Zn	n.s.	n.s.	n.s.	-0,70*	n.s.	n.s.	-0,60*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,84**	-						
RVA	PV	0,82**	-0,64*	-0,86**	n.s.	-0,70*	-0,86**	n.s.	n.s.	-0,69*	0,63*	-0,61*	n.s.	n.s.	-				
	SB	n.s.	n.s.	n.s.	0,62*	n.s.	n.s.	0,67*	n.s.	n.s.	n.s.	0,70*	n.s.	n.s.	n.s.	-			
Consistógrafo	HYD	-0,84**	0,89**	n.s.	0,70*	n.s.	n.s.	0,86**	0,93**	-0,71*	0,84**	0,80**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-		
	Tprmax	-0,70*	0,96**	n.s.	0,88**	0,80**	n.s.	0,92**	0,93**	n.s.	0,81**	0,86**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,90**	-	
	Tol	-0,76**	0,96**	n.s.	0,90**	0,89**	n.s.	0,95**	0,83**	n.s.	0,65*	0,93**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,87**	0,97**	-
	D ₂₅₀	0,79**	-0,98**	n.s.	-0,87**	-0,80**	n.s.	-0,95**	-0,92**	n.s.	-0,77**	-0,90**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,94**	-0,99**	-0,98**
	D ₄₅₀	0,78**	-0,95**	n.s.	-0,83**	-0,78**	n.s.	-0,92**	-0,90**	n.s.	-0,76**	-0,88**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,93**	-0,98**	-0,98**

**, *: significativo al 1 % y al 5 %, respectivamente.

Abreviaturas: PMS: peso de mil semillas; SDSS: volumen de sedimentación; IC: índice de caída; W: fuerza; P: tenacidad; L: extensibilidad; P/L: equilibrio; W': degradación; PV: pico de viscosidad; Setback: viscosidad final-mínima viscosidad; HYD: capacidad hidratación; Tprmax: tiempo de presión máxima; Tol: tolerancia al amasado; D₂₅₀: debilitamiento a los 250 s; D₄₅₀: debilitamiento a los 450 s.

Resultados

La tenacidad (P) mostró correlación positiva con la relación P/L y con la W', con los parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol) y correlación negativa con los parámetros del consistógrafo, debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s. La correlación de la extensibilidad (L) con la relación P/L fue negativa y también lo fue con el pico de viscosidad del almidón (PV) y con la hidratación (HYD) del consistógrafo. La relación P/L presentó correlación positiva con el pico de viscosidad del almidón (PV) y con los parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol) y correlación negativa con los parámetros del consistógrafo, debilitamiento de la masa a los 250 s y a los 450 s (D_{250} y D_{450}).

El contenido en hierro tuvo una correlación significativa y positiva con el contenido en zinc. Y los tres parámetros del consistógrafo, hidratación (HYD), tiempo de presión máxima (Tprmax) y tolerancia al amasado (Tol) mostraron correlación negativa con los dos parámetros de decaimiento D_{250} y D_{450} .

3.3.- Panificación experimental y calidad de los panes

3.3.1.- Protocolo de panificación

Para poner a punto el protocolo de panificación que permitiera obtener la mayor calidad posible con los cinco cultivares empleados en este trabajo, se realizaron sucesivas pruebas a escala piloto. De esta forma se pudieron optimizar parámetros tales como: hidratación, temperaturas y tiempos de amasado, manipulación de la masa y condiciones de fermentación y cocción.

En la tabla 23 se muestran las ocho pruebas que se hicieron para la puesta a punto del protocolo final, indicando para cada una de ellas los parámetros que se fueron modificando y adaptando. Las características de todo el equipamiento utilizado en las pruebas se describe en el apartado **2.2.10.1**. En la tabla 24 se muestra el protocolo final que se definió finalmente para la elaboración de los panes.

Tabla 23.- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación

	Formulación	Amasado	Reposo, formado y fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 1	<div><div>Ingredientes (peso)</div><div><div>Harina V18: 800 g</div><div>Agua: 440 g</div><div>Levadura deshidratada: 5 g</div><div>Sal: 18 g</div><div>Levadura: 1,5 g</div><div>Harina V18: 200 g</div><div>Agua: 100 g</div></div><div>Masa madre⁽¹⁾</div><div>- Hidratación de la masa: 54 %</div></div> <div> </div> <div>⁽¹⁾Masa madre</div>	<div>- t: 5 min</div> <div>- T_{final} masa: 24 ± 1 °C</div> <div>- Testigo: 100 g⁽²⁾</div>	<div><div>• Reposo en bloque:<div>- 60 min / 23 °C</div><div>- 24 h / 8 °C</div></div><div>• Atemperado: 1 h / 21 °C</div><div>• División piezas: 770 ± 10 g</div><div>• Formado mecánico (ajuste reglaje formadora)</div><div>• Colocación de las piezas en moldes en batería triple y cuádruple (26x8x8 y 30x10x10)</div><div>• Fermentación: 60 min / 23 °C</div></div>	<div><div>• Precocción:<div>- T₁= 215 °C</div><div>- T₂= 200 °C</div><div>- t₁₋₂= 5 min</div><div>-vapor = 8 s</div><div>- t_{precocción}= 15 min</div><div>- últimos 5 min sin molde</div></div><div>• Enfriamiento:<div>120 min / 20 °C</div></div><div>• Congelación :<div>-30 °C / v=1,5 m/s</div></div><div>• Embolsado: 60 min después de congelado</div><div>• Almacenamiento: -18 °C</div></div>	<div><div>• Atemperado:<div>1 h / 23 °C</div></div><div>• Cocción final:<div>- T₁= 220 °C</div><div>- T₂= 200 °C</div><div>- t₁₋₂= 5 min</div><div>- t_{cocción}= 15 min</div></div></div>	<div> </div> <div>Panes precocidos (*)</div> <div><div>• Problemas para desmoldar</div><div>• Exceso de coloración corteza piezas precocidas (*)</div><div>• Volumen de los panes insuficiente</div><div>• Miga seca por masa excesivamente dura</div><div>• Interior de miga cruda</div></div>

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

Resultados

Tabla 23 (continuación).- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación ⁽³⁾

	Formulación	Amasado	Reposo, formado y fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 2: reajuste hidratación masa, tiempo y temperatura precocción	Ingredientes (peso) Harina V18: 800 g Agua: 465 g Levadura deshidratada: 5 g Sal: 18 g Levadura: 1,5 g Harina V18: 200 g Agua: 100 g - Hidratación de la masa: 56 %	- t: 5 min - T _{final} masa: 24 ± 1 °C - Testigo: 100 g ⁽²⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Reposo en bloque: <ul style="list-style-type: none"> - 60 min / 23 °C - 24 h / 8 °C • Atemperado: 1 h / 21 °C • División piezas: 770 ± 10 g • Formado mecánico • Colocación de las piezas en moldes en batería triple y cuádruple (26x8x8 y 30x10x10) • Fermentación: 60 min / 23 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • Precocción: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 215 °C - T₂= 185 °C - t₁₋₂= 5 min - vapor = 8 s - t_{precocción}= 15 min - últimos 5 min sin molde • Enfriamiento: 120 min / 20 °C • Congelación : -30 °C / v=1,5 m/s • Embolsado: 60 min después de congelado • Almacenamiento: -18 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • Atemperado: 1 h / 23 °C • Cocción final: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 220 °C - T₂= 200 °C - t₁₋₂= 5 min - t_{cocción}= 15 min	<p>Panes cocidos crudos ^(*)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problemas para desmoldar • Excesivo color corteza en precocidos • Volumen de los panes insuficiente • Miga seca por masa excesivamente dura • Interior de miga cruda ^(*)

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

⁽³⁾ Sombreadas en gris las modificaciones incorporadas respecto a la prueba anterior.

Tabla 23 (continuación).- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación ⁽³⁾

	Formulación	Amasado	Reposo, formado y fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 3: reajuste hidratación y tiempo de precocción	<div>Ingredientes (peso)</div> <div><div>Harina V18: 800 g</div><div>Agua: 500 g</div><div>Levadura deshidratada: 5 g</div><div>Sal: 18 g</div><div>Levadura 1,5 g</div><div>Harina V18: 200 g</div><div>Agua: 100 g</div></div> <div>Masa madre⁽¹⁾</div> <div>- Hidratación de la masa: 60 %</div>	<div>- t: 5 min</div> <div>- T_{final} masa: 24 ± 1 °C</div> <div>- Testigo: 100 g ⁽²⁾</div>	<div>• Reposo en bloque:</div> <div>- 60 min / 23 °C</div> <div>- 24 h / 8 °C</div> <div>• Atemperado: 1 h / 21 °C</div> <div>• División piezas: 770 ± 10 g</div> <div>• Formado mecánico</div> <div>• Colocación de las piezas en moldes en batería triple y cuádruple (26x8x8 y 30x10x10)</div> <div>• Fermentación: 60 min / 23 °C</div>	<div>• Precocción:</div> <div>- T₁= 215 °C</div> <div>- T₂= 185 °C</div> <div>- t₁₋₂= 5 min</div> <div>- vapor = 8 s</div> <div>- t_{precocción} 17 min</div> <div>- últimos 5 min sin molde</div> <div>• Enfriamiento:</div> <div>120 min / 20 °C</div> <div>• Congelación :</div> <div>-30 °C / v=1,5 m/s</div> <div>• Embolsado: 60 min después de congelado</div> <div>• Almacenamiento: -18 °C</div>	<div>• Atemperado:</div> <div>1 h a 23 °C</div> <div>• Cocción final:</div> <div>- T₁= 220 °C</div> <div>- T₂= 200 °C</div> <div>- t₁₋₂= 5 min</div> <div>- t_{cocción}= 15 min</div>	<div> </div> <div>Panes precocidos (*)</div> <div>• Problemas para desmoldar</div> <div>• Excesivo color corteza pan precocido (*)</div> <div>• Volumen de los panes insuficiente</div> <div>• Miga seca por masa excesivamente dura</div> <div>• Interior de miga cruda</div>

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

⁽³⁾ Sombreadas en gris las modificaciones incorporadas respecto a la prueba anterior.

Resultados

Tabla 23 (continuación).- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación ⁽³⁾

	Formulación	Amasado	Reposo, formado fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 4: cambio harina, reajuste hidratación masa y parámetros proceso	<p>Ingredientes (peso)</p> <p>Harina Marfil ^(*): 800 g</p> <p>Agua: 530 g</p> <p>Levadura deshidratada: 5 g</p> <p>Sal: 18 g</p> <p>Levadura: 1,5 g</p> <p>Harina Marfil: 200 g</p> <p>Agua: 100 g</p> <p>Masa madre ⁽¹⁾</p> <p>-Hidratación de la masa: 63 %</p> <p>^(*) Cambio de harina por una de mayor fuerza que admite más cantidad de agua, mayor tiempo de amasado y reposo en bloque</p>	<p>- t: 6 min</p> <p>- T_{final} masa: 24 ± 1 °C</p> <p>- Testigo: 100 g ⁽³⁾</p> <p>Se varía el tiempo de amasado para el correcto desarrollo de la masa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reposo en bloque: <ul style="list-style-type: none"> - 3 h / 23 °C - 24 h / 8 °C • Atemperado: 1 h / 21 °C • División piezas: 770 ± 10 g • Formado mecánico • Colocación de las piezas en moldes en batería triple y cuádruple (26x8x8 y 30x10x10) • Fermentación: hasta duplicar volumen en masa 	<ul style="list-style-type: none"> • Precocción: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 215 °C - T₂= 185 °C - t₁₋₂= 5 min - vapor = 8 s - t_{precocción}= 17 min - últimos 5 min sin molde • Enfriamiento: 120 min / 20 °C • Congelación : -30 °C / v=1,5 m/s • Embolsado: 60 min después de congelado • Almacenamiento: -18 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • Atemperado: 1 h a 23 °C • Cocción final: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 220 °C - T₂= 200 °C - t₁₋₂= 1 min - t_{cocción}= 15 min	<p>Panes cocidos crudos ^(*)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problemas para desmoldar • Excesivo color corteza pan precocido • Volumen de los panes insuficiente • Miga seca por masa excesivamente dura • Interior de miga cruda ^(*)

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

⁽³⁾ Sombreadas en gris las modificaciones incorporadas respecto a la prueba anterior.

Tabla 23 (continuación).- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación ⁽³⁾

	Formulación	Amasado	Reposo, formado y fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 5: reajuste hidratación masa, tiempo de amasado, parámetros de proceso y greñado de las piezas	Ingredientes (peso) Harina Marfil: 800 g Agua: 550 g Levadura deshidratada: 5 g Sal: 18 g Levadura: 1,5 g Harina Marfil: 200 g Agua: 100 g Masa madre ⁽¹⁾ -Hidratación de la masa: 65 %	- t: 6,5 min - T _{final} masa: 24 ± 1 °C - Testigo: 100 g ⁽²⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Reposo en bloque: <ul style="list-style-type: none"> - 3 h / 23 °C - 24 h / 8 °C • Atemperado: 1 h / 21 °C • División piezas: 770 ± 10 g • Formado mecánico • Colocación de las piezas en moldes en batería triple y cuádruple (26x8x8 y 30x10x10) • Fermentación: hasta duplicar volumen en masa • Greñado 	<ul style="list-style-type: none"> • Precocción: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 215 °C - T₂= 185 °C - t₁₋₂= 5 min - vapor = 8 s - t_{precocción}= 18, 19 y 20 min - últimos 5 min sin molde • Enfriamiento: 120 min / 20 °C • Congelación : -30 °C / v=1,5 m/s • Embolsado: 60 min después de congelado • Almacenamiento: -18 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • Atemperado: 1 h a 23 °C • Cocción final: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 230 °C - T₂= 200 °C - t₁₋₂= 1 min - t_{cocción}= 15 min	<p>Panes precocidos (*)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problemas para desmoldar • Excesivo color corteza pan precocido (*) • Volumen de los panes insuficiente • Miga seca por masa excesivamente dura • Interior de miga cruda

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

⁽³⁾ Sombreadas en gris las modificaciones incorporadas respecto a la prueba anterior.

Resultados

Tabla 23 (continuación).- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación ⁽³⁾

	Formulación	Amasado	Reposo y formado Fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 6: reajuste hidratación masa, tiempo de amasado y de fermentación, peso piezas, eliminación reposo en frío, incorporación pliegues y formado manual	<div><div><div>Ingredientes (peso)</div><div>Harina Marfil: 600 g</div><div>Agua: 270 g</div><div>Levadura deshidratada: 5 g</div><div>Sal: 18 g</div><div>Levadura:1,5 g</div><div>Harina: 200 g</div><div>Agua: 100 g</div><div>Harina: 200 g</div><div>Agua: 300 g</div></div><div><div>Masa madre ⁽¹⁾</div><div>Pre⁽⁴⁾ gelatinizado</div></div></div> <div><div>-Hidratación de la masa: 67 %</div><div> </div></div>	<div><div>- t: 7 min</div><div>- T_{final} masa: 24 ± 1 °C</div><div>- Testigo: 100 g ⁽²⁾</div></div>	<div><div>• Reposo en bloque: 60 min/28 °C</div><div>• Plegado de la masa</div><div>• Reposo en bloque: 30 min/28 °C</div><div>• División piezas: 750 g</div><div>• Formado manual de las piezas y colocación en moldes individuales (30x11x8)</div><div>• Fermentación: 30 min / 28°C</div><div>• Greñado</div></div>	<div><div>• Precocción:</div><div>- T₁= 215 °C</div><div>- T₂= 185 °C</div><div>- t₁₋₂= 5 min</div><div>- vapor = 8 s</div><div>- t_{precocción}= 20 min</div><div>- Últimos 5 min sin molde</div><div>• Enfriamiento:</div><div>120 min / 20 °C</div><div>• Congelación :</div><div>-30 °C / v=1,5 m/s</div><div>• Embolsado: 60 min después de congelado</div><div>• Almacenamiento: -18 °C</div></div>	<div><div>• Atemperado:</div><div>1 h a 23 °C</div><div>• Cocción final:</div><div>- T₁= 230 °C</div><div>- T₂= 200 °C</div><div>- t₁₋₂= 1 min</div><div>- t_{cocción}= 15 min</div></div>	<div><div>• Problemas para desmoldar</div><div>• Excesivo color corteza pan precocido (Figura R9)</div><div>• Volumen de los panes insuficiente</div><div>• Miga seca por masa excesivamente dura</div><div>• Interior de miga cruda</div></div>
	<div><div>⁽⁴⁾ Masa madre, pre-gelatinizado, harina, sal y levadura deshidratada.</div></div>					

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

⁽³⁾ Sombreadas en gris las modificaciones incorporadas respecto a la prueba anterior.

⁽⁴⁾ Pre-gelatinizado: se prepara mezclando una quinta parte de la harina total con agua hirviendo 24h antes de su utilización.

Tabla 23 (continuación).- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación ⁽³⁾

	Formulación	Amasado	Reposo, formado y fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 7 : reajuste hidratación masa, temperatura y tiempo de precocción y cocción y control de temperatura piezas	<div>Ingredientes (peso)</div> <div><div>Harina Marfil: 600 g</div><div>Agua: 290 g</div><div>Levadura deshidratada: 5 g</div><div>Sal: 18 g</div><div><div>Levadura: 1,5 g</div><div>Harina: 200 g</div><div>Agua: 100 g</div><div>Harina: 200 g</div><div>Agua: 300 g</div></div><div>Masa⁽¹⁾ madre</div><div>Pre⁽⁴⁾ gelatinizado</div></div> <div>-Hidratación de la masa: 69 %</div>	<div>- t: 7 min30 s</div> <div>- T_{final} masa: 24 ± 1 °C</div> <div>- Testigo: 100 g ⁽²⁾</div>	<div>• Reposo en bloque: 60 min/28 °C</div> <div>• Plegado de la masa</div> <div>• Reposo en bloque: 30 min/28 °C</div> <div>• División piezas: 750 g</div> <div>• Formado manual de las piezas y colocación en moldes individuales (30x11x8)</div> <div>• Fermentación: 30 min / 28°C</div> <div>• Greñado</div>	<div>• Precocción:</div> <div>- T₁= 230 °C</div> <div>- T₂= 180 °C</div> <div>- t₁₋₂= 1 min</div> <div>- vapor = 8 s</div> <div>- t_{precocción}= 22 min⁽⁵⁾</div> <div>• Enfriamiento:</div> <div>120 min / 20 °C</div> <div>• Congelación :</div> <div>-30 °C / v=1,5 m/s</div> <div>• Embolsado: 60 min después de congelado</div> <div>• Almacenamiento: -18 °C</div>	<div>• Atemperado:</div> <div>1 h a 23 °C</div> <div>• Cocción final:</div> <div>- T₁= 210 °C</div> <div>- t_{cocción}= 16 min</div>	<div> </div> <div>Panes precocidos (*)</div> <div>• Color corteza pan precocido aceptable (*)</div> <div>• Miga seca por masa excesivamente dura</div>

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

⁽³⁾ Sombreadas en gris las modificaciones incorporadas respecto a la prueba anterior.

⁽⁴⁾ Pre-gelatinizado: se prepara mezclando una quinta parte de la harina total con agua hirviendo 24h antes de su utilización.

⁽⁵⁾ Control de temperatura en el centro de la pieza a 90 °C tras precocción.

Resultados

Tabla 23 (continuación).- Resumen de las ocho pruebas llevadas a cabo para ajustar el protocolo final de panificación ⁽³⁾

	Formulación	Amasado	Reposo, formado y fermentación	Precocción y conservación	Acabado	Problemas encontrados
Prueba 8: reajuste hidratación masa y condiciones de fermentación	Ingredientes (peso) Harina Marfil: 600 g Agua: 320 g Levadura deshidratada: 5 g Sal: 18 g Levadura: 1,5 g Harina: 200 g Agua: 100 g Harina: 200 g Agua: 300 g -Hidratación de la masa: 72 %	t: 7 min30 s T _{final} masa: 24 ± 1 °C Testigo: 100 g ⁽²⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Reposo en bloque: 60 min / 25 °C • Plegado de la masa en cuatro pasos • Reposo en bloque: 30 min/ 25 °C • División piezas: 750 g • Formado manual de las piezas y colocación en moldes individuales (30x11x8) • Fermentación: 50 min / 25 °C • Greñado 	<ul style="list-style-type: none"> • Precocción: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 230 °C - T₂= 180 °C - t₁₋₂= 1 min - vapor = 8 s - t_{precocción}= 22 min • Enfriamiento: <ul style="list-style-type: none"> 120 min / 20 °C • Congelación : <ul style="list-style-type: none"> -30 °C / v=1,5 m/s • Embolsado: 60 min después de congelado • Almacenamiento: -18 °C 	<ul style="list-style-type: none"> • Atemperado: 1 h a 23 °C • Cocción final: <ul style="list-style-type: none"> - T₁= 210 °C - t_{cocción}= 16 min <p>Panes cocidos</p>	

Abreviaturas: T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

⁽¹⁾ Masa madre al 50 % de hidratación y con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización.

⁽²⁾ Porción de masa de 100 g, en vasos graduados, para control de fermentación.

⁽³⁾ Sombreadas en gris las modificaciones incorporadas respecto a la prueba anterior.

⁽⁴⁾ Pre-gelatinizado: se prepara mezclando una quinta parte de la harina total con agua hirviendo 24h antes de su utilización.

Tabla 24.- Protocolo final para la elaboración de pan con los cinco cultivares

FORMULACIÓN	INGREDIENTES			
	Harina: 600 g			
	Sal: 18 g		Sal: 1,8 % ⁽⁴⁾	
	Levadura deshidratada: 5 g		Levadura liofilizada: 0,65 % ⁽⁴⁾	
	Levadura deshidratada: 1,5 g		Masa Madre ⁽¹⁾	Agua: 72 % ⁽⁴⁾
	Harina: 200 g			
	Agua: 100 g			
	Agua: 320 g (excepto 'Craklin': 270 g ⁽²⁾)			
	Agua: 300 g		Pre-gelatinizado ⁽³⁾	
	Harina: 200 g			
⁽¹⁾ Masa madre: Masa madre al 50 % de hidratación con 0,05 % de levadura deshidratada elaborada a 23 °C 24 h antes de su utilización				
⁽²⁾ La capacidad de absorción de agua del Craklin era mucho menor, de hecho no se pudo realizar el consistograma a HC				
⁽³⁾ Pre-gelatinizado: se prepara con agua hirviendo y se deja enfriar hasta 23 °C un día antes de su utilización				
⁽⁴⁾ porcentajes en base al peso de harina (peso total harina: 1000 g)				
PROTOCOLO FINAL				
AMASADO	Hasta el correcto desarrollo de la masa ⁽⁵⁾ Tª final de la masa: 24 ± 1 °C			
REPOSO EN BLOQUE	90 min (24 ± 1 °C / 80 % HR) Pliegue de la masa a los 60 min			
DIVISIÓN	Dos piezas de 750 g			
FORMADO	Manual			
FERMENTACIÓN	50 min (24 ± 1 °C/80 % HR)			
PRECOCCIÓN	T ₁ = 230 °C T ₂ = 180 °C t ₁₋₂ = 1 min t _{total} = 22 min vapor = 8 s			
ENFRIAMIENTO	120 min / 20 °C			
CONGELACIÓN	-30 °C (v del aire=1,5 m/s)			
EMBOLSADO	En bolsas de polietileno a los 60 min de congelación			
ALMACENAMIENTO	-18 °C			
DESCONGELACIÓN	60 min a 23 °C			
COCCIÓN	T ₁ = 210 °C t _{total} =16 min			
ENFRIAMIENTO	120 min			

⁽⁵⁾ tiempo de amasado de 7min30s para todos los cultivares, excepto para 'Craklin' que fue de 6 minutos.

Abreviaturas: HR: humedad relativa; T₁: temperatura inicial horno; T₂: Temperatura final horno; t₁₋₂: tiempo que permanece la T₁.

Resultados

3.3.2.- Calidad instrumental de los panes: volumen, densidad y humedad de los panes, parámetros de textura, estructura alveolar y color de la miga.

Los parámetros instrumentales que permitieron caracterizar la calidad de los panes elaborados fueron: volumen y densidad del pan, humedad de la miga, los parámetros de textura: firmeza y resiliencia de la miga determinadas al enfriarse el pan a la salida del horno (F_0 y R_0) y a las 48 hs de su elaboración (F_{48} y R_{48}). De esta forma se pudo calcular el incremento de firmeza ($\ln F_{0-48}$) y el decremento de resiliencia ($\text{De} R_{0-48}$) de los panes elaborados. También se realizó el análisis de la imagen de la rebanada por medio del C-Cell donde se obtuvo el área total de alvéolos como porcentaje del área de la muestra (AC), la media del diámetro de los alvéolos (CD) y la elongación promedio del alvéolo (AvC). De la lectura del color se obtuvieron las magnitudes adimensionales L^* , a^* y b^* .

El análisis de la varianza (Tabla 25), tomando como fuente de variación el cultivar, mostró diferencias significativas para todos los parámetros excepto para el incremento de firmeza ($\ln F_{0-48}$) y el decremento de resiliencia ($\text{De} R_{0-48}$) y en el parámetro L^* del color.

La tabla 26 muestra el análisis de la comparación múltiple de Tukey de los valores medios de los cultivares para los parámetros de calidad instrumental. De los cinco panes elaborados, el que tuvo mayor volumen fue el de 'Espelta Álava' y el menor el de 'Craklin'. El parámetro densidad dio como resultado al pan hecho con 'Craklin' como más denso y al pan hecho con 'Espelta Álava' como menos denso. En la humedad de la miga solo hubo diferencia significativa para 'Craklin' debido al menor contenido de agua que se utilizó para su elaboración.

Los valores medios de firmeza del pan recién elaborado (F_0) mostraron que el de 'Craklin' tenía el mayor valor y el de 'Espelta Álava' el menor. La resiliencia (R_0), medida en las mismas condiciones que la firmeza (F_0), indicó que la miga de pan con mayor resiliencia era la del 'Espelta Navarra' y la del 'Craklin' la menos resiliente. El decremento de la resiliencia ($\text{De} R_{0-48}$) en las primeras 48 horas no mostró diferencias entre los panes.

Los valores medios tomados para el área total de alveolos (AC) y la media del diámetro de los alveolos (CD), fue mayor para 'Espelta Álava'; para la elongación promedio de los alveolos (AvC); 'Bonpain' tuvo el mayor valor. El cultivar 'Craklin' obtuvo el menor valor para los tres parámetros.

Tabla 25.- Análisis de la varianza para los parámetros de calidad instrumental. Se indica el valor del cuadrado medio y el grado de significación. R (%) indica la explicación del modelo para el análisis de la varianza

Fuente de Variación	Volumen (ml)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Firmeza		Resiliencia		Estructura alveolar			Color de la miga		
				F ₀ (g)	InF ₀₋₄₈	R ₀ (g)	DeR ₀₋₄₈	AC	CD	AvC	L*	a*	b*
Cultivar	113159,7**	0,02**	2,5**	1617463,3**	0,00	0,00**	0,00	2,8**	0,09**	0,00**	8,4	2,3**	1,1**
Error	2284,2	0,00	0,1	6217,4	0,00	0,00	0,00	0,2	0,00	0,00	1,8	0,0	0,0
R (%)	97,5	96,1	96,5	98,5	60,9	98,5	42,6	92,9	97,1	99,1	78,9	99,2	95,1

** : significativo al 1 %.

Abreviaturas: F₀: firmeza a la salida del horno; InF₀₋₄₈=(F₄₈-F₀)/F₀: incremento de la firmeza; F₄₈: firmeza a las 48 horas; R₀: resiliencia a la salida del horno; DeR₀₋₄₈=(R₀-R₄₈/R₀): decremento de la resiliencia; R₄₈: resiliencia a las 48 horas; AC: área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra; CD: media del diámetro de los alveolos; AvC: elongación promedio del alveolo; L*: índice de luminosidad; a*: intensidad de color rojo; b*: intensidad de color amarillo.

Tabla 26.- Comparación múltiple de Tukey de los valores medios^(*) de los parámetros de calidad instrumental de los cinco cultivares

Cultivar	Volumen (ml)	Densidad (g/cm ³)	Humedad (%)	Firmeza	Resiliencia	Estructura alveolar			Color de la miga	
				F ₀ (g)	R ₀ (g)	AC	CD	AvC	a*	b*
‘Bonpain’	1166b	0,58b	49,5ab	1175,3bc	0,25bc	51,0bc	2,2b	1,55a	3,8a	19,5a
‘Craklin’	900c	0,77a	47,3b	3197,8a	0,19d	49,5c	2,0c	1,44d	2,2b	19,2a
‘Sensas’	984bc	0,70ab	50,0a	1331,6b	0,22c	50,6bc	2,1bc	1,49bc	4,0a	18,9a
‘E.Navarra’	1049bc	0,65ab	49,0a	1452,6b	0,29a	51,2ab	2,3b	1,48c	2,5b	18,8a
‘E. Álava’	1510a	0,45c	49,9a	959,1c	0,28ab	52,7a	2,6a	1,50b	1,5c	17,6b

(*) Valores en la misma columna y con la misma letra no presentan diferencia significativa (p<0,05).

Abreviaturas: F₀: firmeza a la salida del horno; R₀: resiliencia a la salida del horno; AC: área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra; CD: media del diámetro de los alveolos; AvC: elongación promedio del alveolo; a*: intensidad de color rojo; b*: intensidad de color amarillo.

Resultados

El parámetro a^* mide la intensidad del color rojo y el b^* la intensidad del color amarillo cuando el valor obtenido en la medición es positivo. Para los dos parámetros 'Espelta Álava' fue el que obtuvo el menor valor (Tabla 26).

3.3.3.- Correlaciones entre los parámetros de calidad instrumental de los panes

El estudio de la correlación de Pearson entre los valores de los parámetros de calidad instrumental se muestra en la tabla 27. Se realizó con los valores medios del volumen y densidad del pan, humedad de la miga, los parámetros de textura: firmeza y resiliencia (F_0 y R_0) e incremento y decremento de firmeza y resiliencia de la miga ($\ln F_{0-48}$ y $\text{De}R_{0-48}$), respectivamente, los parámetros de imagen: área total de alvéolos como porcentaje del área de la muestra (AC), la media del diámetro de los alvéolos (CD) y la elongación promedio del alvéolo (AvC) y para los parámetros de color L^* , a^* y b^* .

Tabla 27.- Matrices de los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre los parámetros de calidad instrumental de los cultivares

		Volumen	Densidad	Humedad	Firmeza		Resiliencia		Imagen			Color		
					F ₀	lnF ₀₋₄₈	R ₀	DeR ₀₋₄₈	AC	CD	AvC	L*	a*	b*
Volumen		-												
Densidad		-0,98**	-											
Humedad		n.s.	-0,62*	-										
Firm.	F ₀	-0,67*	0,76**	-0,94**	-									
	lnF ₀₋₄₈	n.s.	n.s.	-0,60*	0,65*	-								
Resil.	R ₀	0,76*	-0,83**	0,66*	-0,84**	-0,64	-							
	DeR ₀₋₄₈	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-						
Imagen	AC	0,90**	-0,90**	0,71*	-0,78**	-0,69*	0,86**	n.s.	-					
	CD	0,88**	-0,90**	0,65*	-0,78**	-0,64*	0,91**	n.s.	0,97**	-				
	AvC	n.s.	-0,60*	0,62*	-0,73*	-0,68*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-			
Color	L*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-		
	a*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,84**	-	
	b*	-0,75**	0,67*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,76**	-0,77**	n.s.	n.s.	0,68*	

**, *: indican significativo al 1 % y al 5 %, respectivamente y n.s. que no es significativo.

Abreviaturas: F_0 : firmeza a la salida del horno; $\ln F_{0-48}=(F_{48}-F_0)/F_0$: incremento de la firmeza; F_{48} : firmeza a las 48 horas; R_0 : resiliencia a la salida del horno; $\text{De}R_{0-48}=(R_0-R_{48})/R_0$: decremento de la resiliencia; R_{48} : resiliencia a las 48 horas **AC**: área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra; **CD**: media del diámetro de los alveolos; **AvC**: elongación promedio del alveolo; **L^*** : índice de luminosidad; **a^*** : intensidad de color rojo; **b^*** : intensidad de color amarillo.

El volumen del pan tiene correlación positiva y significativa con la resiliencia (R_0) y con los parámetros de la imagen: área total de alvéolos como porcentaje del área de la muestra (AC), la media del diámetro de los alvéolos (CD) y negativa y significativa con la densidad, la firmeza (F_0) y el parámetro b^* del color.

El análisis de las correlaciones para la densidad dio positivo y significativo para la firmeza (F_0) y el parámetro b^* del color y negativa y significativa para la humedad, la resiliencia (R_0) y los tres parámetros del color.

La humedad de la miga presentó correlación positiva y significativa con la resiliencia (R_0) y los tres parámetros del color y correlación negativa y significativa con la firmeza e incremento de la firmeza (F_0 e $\ln F_{0-48}$), medidos en la miga de pan.

La correlación para los parámetros de textura, firmeza e incremento de la firmeza (F_0 e $\ln F_{0-48}$) fue negativa y significativa con respecto a la resiliencia (R_0) y los tres parámetros de la imagen; y positiva y significativa entre ellos. Para la resiliencia (R_0) se obtuvo correlación significativa y positiva para los parámetros de la imagen: área total de alvéolos como porcentaje del área de la muestra (AC) y la media del diámetro de los alvéolos (CD).

El parámetro área total de alveolos (AC) presentó correlación significativa y positiva con respecto a la media del diámetro de alvéolos (CD) y negativa con el parámetro b^* de la imagen.

Los parámetros de color L^* y a^* presentaron entre ellos correlación significativa y negativa y el parámetro a^* positiva con el b^* .

3.3.4.- Calidad sensorial de los panes

Los resultados del análisis sensorial se presentan en tres partes. La primera parte contiene los resultados de la selección del panel de cata, la segunda los de entrenamiento de los jueces y validación del panel, y la tercera los del análisis sensorial de los panes elaborados con las cinco harinas de estudio.

3.3.4.1.- Selección de los jueces

Los resultados de las pruebas **Identificación de sabores** y **Familiarización con los diferentes tipos de umbrales** (Tabla 13: S1 y S2, en Material y Métodos) indicaron que 15 de los jueces identificaron correctamente el 67 % de los diferentes sabores. En la prueba **Identificación de olores propios del pan** (Tabla 13: S3, en Material y Métodos), 10 de los jueces identificaron correctamente el 67 % de los diferentes aromas. En las pruebas de clasificación por ordenación **Orden de muestra según un criterio específico**: Color de la corteza y Firmeza de la miga (Tabla 13: S4 y S5, en Material y Métodos), 17 de los 18 jueces ordenaron correctamente las muestras, mientras que en la prueba **Orden de muestras**

Resultados

según un criterio específico: Elasticidad de la miga (Tabla 13: S6, en Material y Métodos), 12 de ellos ordenaron correctamente las muestras. Basándose en estos resultados, 9 de los 18 jueces (5 mujeres y 4 varones) fueron seleccionados para el panel.

3.3.4.2.- Entrenamiento y validación del panel

Durante el periodo de formación de cuatro meses, los jueces adquirieron un marco cualitativo y cuantitativo de referencia común para los principales atributos del perfil descriptivo de pan.

La etapa de entrenamiento consistió en pruebas de comparación por parejas con el objetivo de definir el vocabulario y adquirir familiaridad con las definiciones y escalas (Tabla 14: E1 a E8, en Material y Métodos).

La etapa de validación comprendió seis pruebas triangulares (Tabla 14: V1 a V6, en Material y Métodos), cuyos resultados se presentan en la tabla 28. Los resultados fueron analizados comparando el número total de respuestas correctas con el mínimo de respuestas requeridas para la significación estadística mediante tablas estadísticas (ISO 4120, 2004). La tasa de éxito de la prueba fue considerada significativa como para validar a todos los miembros del panel (Tabla 29).

Tabla 28.- Número de respuestas correctas y nivel de significación en las pruebas triangulares de validación

Entrenamiento y validación del panel		
Código prueba	Respuestas correctas	Nivel de significación
V1	8	0,1 %
V2	9	0,1 %
V3	6	5,0 %
V4	8	0,1 %
V5	9	0,1 %
V6	9	0,1 %

3.3.4.3.- Análisis sensorial de los cinco panes elaborados con los cultivares objeto de estudio

3.3.4.3.1.- Análisis de diferencias entre las muestras mediante pruebas triangulares

Una vez que se tuvo al panel de jueces constituido, se realizaron 4 pruebas de comparación por parejas (Tabla 15: AS1 a AS4, en Material y Métodos) para determinar si los panes objeto de estudio en esta tesis eran sensorialmente diferentes entre sí. Estas

pruebas identificaron aquellos atributos que permitían la discriminación entre panes. A partir de este análisis se estableció la lista de atributos para incluir en la ficha de cata.

En la tabla 29 se presentan los resultados de las 4 pruebas. Dichos resultados permitieron comprobar que los panes eran diferentes entre sí. La ficha de cata final utilizada en el análisis sensorial aparece en la figura 38.

Tabla 29.- Número de respuestas correctas dadas por los nueve jueces y nivel de significación en la evaluación de las muestras

Pruebas de comparación por parejas		
Código prueba	Respuestas correctas	Nivel de significación
AS1	7	1,0 %
AS2	9	0,1 %
AS3	9	0,1 %
AS4	9	0,1 %

Resultados

Ficha de Cata

Fecha: _____

Nombre: _____

Código de Muestra: _____

Código Mantel: _____

Marque una línea vertical sobre la línea de base para describir la intensidad del atributo

Atributos de olor

Miga:

Levadura	A	u	s	e		M	u	y	p	r	o	n	c	i	a	d	o
Acido láctico																	
Vainilla																	
Nuez																	
Ciruela																	
Regaliz																	

Corteza:

Tostado	A	u	s	e		M	u	y	p	r	o	n	c	i	a	d	o
---------	---	---	---	---	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Atributos de apariencia

Color corteza	Marrón claro			Marrón oscuro
Color miga	Blanco			
Homogeneidad alveolos	Baja			Alta
Nº alveolos de la miga	Pocos			Muchos

Atributos de textura

En manos:

Firmeza de la miga	M	u	y	d	é	b		M	u	y	p	r	o	n	c	i	a	d	o
Elasticidad de la miga																			

En boca:

Humedad de la miga	M	u	y	d	é	b		M	u	y	p	r	o	n	c	i	a	d	o
Cohesividad																			

Atributos de flavor

Miga:

Cereal	A	u	s	e		M	u	y	p	r	o	n	c	i	a	d	o
Acido																	
Dulce																	
Intensidad de flavor																	

Corteza:

Intensidad de flavor	A	u	s	e		M	u	y	p	r	o	n	c	i	a	d	o
Otros (especifíquense)																	

Figura 38.- Ficha de cata

3.3.4.3.2.- Perfil sensorial de los panes

El análisis sensorial de los cinco panes (Figuras 39 y 40) se llevó a cabo mediante pruebas de análisis del perfil sensorial (Método para establecer el perfil olfato-gustativo: ISO 6564:1985 y Evaluación de productos alimenticios por métodos que utilizan escalas: ISO 4121:2003a). De esta forma se obtuvieron las puntuaciones de los diferentes atributos presentados en la ficha de cata, para cada uno de los panes, por cada uno de los jueces que integró el panel de cata.

Figura 39.- Rebanadas de los panes de estudio. A: ‘Sensas’, B: ‘Bonpain’, C: ‘Craklin’, D: ‘Espelta Navarra’ y ‘Espelta Álava’.

El análisis de la varianza, tomando como fuente de variación los jueces, se muestra en la tabla 30. Se observaron diferencias significativas para todos los atributos de aroma menos para el “Regaliz” (Re) en la miga, para los atributos de apariencia “Homogeneidad de alveolos en la miga” (H_{alv}) y “Número de alveolos en la miga” (N_{alv}), para todos los atributos de textura excepto para la “Firmeza de la miga” (Fir) y para todos los atributos de flavor excepto para “Ácido” (Ac) e “Intensidad de flavor en la miga” (IF_{mg}).

En la tabla 31 se muestran los valores medios de los atributos sensoriales por grupos (aroma, apariencia, textura y flavor), otorgados por cada uno de los nueve jueces.

El juez “1” dio las puntuaciones más altas para todos los atributos de aroma, mientras que el juez “3” dio las más bajas para los mismos atributos.

Entre los atributos de apariencia, solo hubo efecto significativo de los jueces para el atributo “Número de alveolos en la miga” (N_{alv}), indicando una respuesta consistente del panel para este grupo de atributos.

Resultados

Figura 40.- Rebanadas de los panes de estudio. A: 'Sensas', B: 'Espelta Navarra', C: 'Craklin', D: 'Espelta Álava' y E: 'Bonpain'.

Para los atributos de textura, no hubo efecto significativo de los jueces para el atributo "Firmeza de la miga" (Fir). Para el resto de los atributos de textura, los resultados fueron similares a los de los atributos de aroma, es decir, puntuaban en el mismo orden a los diferentes atributos, pero con diferente intensidad. En este caso, el juez "3" y el juez "9" en general, dieron las puntuaciones más altas, mientras que el juez "2" casi siempre dio las puntuaciones más bajas.

No hubo un efecto significativo del juez para dos de los cinco atributos de flavor "Ácido" (Ac) e "Intensidad de flavor en la miga" (IF_{mg}), pero sí que lo hubo para los otros tres atributos: "Cereal" (Cer), "Dulce" (Du) e "Intensidad de flavor en la corteza" (IF_{cr}).

Resultados

Tabla 30.- Análisis de la varianza para las puntuaciones dadas por los jueces a los atributos sensoriales de los panes. Se indica el valor del cuadrado medio y el grado de significación. R (%) indica la explicación del modelo para el análisis de la varianza

Fuente	Atributos de aroma							Atributos de apariencia				Atributos de textura				Atributos de flavor				
	Miga							Corteza		Miga		Textura en mano		Textura Oral		Miga		Corteza		
	Lev	Lac	Va	Nu	Ci	Re	To	Co _{cr}	Co _{mg}	H _{alv}	N _{alv}	Fir	El	Hu _{mg}	Coh	Cer	Ac	Du	IF _{mg}	IF _{cr}
Jueces	17,70**	14,56**	6,62**	14,95**	13,70*	6,87	14,53**	1,98	4,14	8,24*	8,8**	3,31	11,65**	4,49**	13,41**	17,55**	5,25	28,12**	3,99	5,43**
Error	1,69	1,70	1,69	3,14	3,71	8,56	3,93	2,23	2,00	2,81	1,43	2,51	3,08	1,33	1,07	1,08	2,63	1,48	2,54	1,10
R (%)	70,00	65,62	46,57	51,44	45,08	15,14	45,08	15,14	31,55	39,50	57,74	22,65	45,67	42,76	73,41	78,35	30,73	80,82	25,88	52,30

**, *: significativo al 1 % y al 5 %, respectivamente.

Abreviaturas: Lev: levadura; Lac: ácido láctico; Va: vainilla; Nu: nuez; Ci: ciruela; Re: regaliz; To: tostado; Co_{cr}: color de la corteza; Co_{mg}: color de la miga; H_{alv}: homogeneidad de alveolos en la miga; N_{alv}: número de alveolos en la miga; Fir: firmeza de la miga; El: elasticidad de la miga; Hu_{mg}: humedad de la miga de pan; Coh: cohesividad; Cer: cereal; Ac: ácido; Du: dulce; IF_{mg}: intensidad de flavor en la miga; IF_{cr}: intensidad de flavor en la corteza.

Tabla 31.- Comparación de medias mediante pruebas múltiples de Duncan para los 20 atributos sensoriales dados por jueces

Jueces	Atributos de aroma							Atributos de apariencia				Atributos de textura				Atributos de flavor				
	Miga							Corteza		Miga		Textura en mano		Textura Oral		Miga		Corteza		
	Lev	Lac	Va	Nu	Ci	Re	To	Co _{cr}	Co _{mg}	H _{alv}	N _{alv}	Fir	El	Hu _{mg}	Coh	Cer	Ac	Du	IF _{mg}	IF _{cr}
Juez "1"	7,4 ^a	6,6 ^a	4,2 ^a	7,5 ^a	4,4 ^a	3,4 ^a	8,6 ^a	6,4 ^a	4,4 ^b	6,2 ^a	7,2 ^{ab}	7,2 ^a	3,4 ^{bc}	4,4 ^c	8,2 ^a	3,9 ^d	3,9 ^a	6,6 ^{ab}	5,4 ^{abc}	5,9 ^a
Juez "2"	2,1 ^e	2,0 ^{bcd}	1,6 ^{bc}	2,6 ^{bc}	0,7 ^{cd}	0,8 ^a	3,4 ^c	6,1 ^a	6,0 ^{ab}	4,7 ^a	4,7 ^c	5,4 ^a	3,8 ^{bc}	5,1 ^{bc}	4,6 ^d	4,0 ^d	1,8 ^{ab}	2,5 ^{cd}	4,1 ^c	3,6 ^b
Juez "3"	3,4 ^{cde}	2,2 ^{bcd}	0,1 ^c	1,3 ^c	0,3 ^d	0,9 ^a	3,3 ^c	7,5 ^a	6,1 ^{ab}	6,0 ^a	7,5 ^{ab}	7,5 ^a	6,6 ^a	7,2 ^a	6,9 ^{abc}	4,4 ^a	0,6 ^b	2,1 ^{cd}	5,7 ^{abc}	6,4 ^a
Juez "4"	6,6 ^{ab}	2,6 ^{bc}	2,5 ^{ab}	3,1 ^{bc}	3,2 ^{abc}	1,6 ^a	6,8 ^{ab}	6,2 ^a	7,0 ^a	5,9 ^a	5,8 ^{bc}	6,5 ^a	3,2 ^{bc}	7,0 ^a	2,8 ^e	10 ^a	1,1 ^b	8,0 ^a	4,7 ^{bc}	4,2 ^b
Juez "5"	6,7 ^{ab}	3,8 ^b	1,4 ^{bc}	3,8 ^{bc}	1,0 ^{bcd}	0,2 ^a	5,5 ^{bc}	7,4 ^a	6,6 ^a	6,2 ^a	4,3 ^c	6,1 ^a	4,6 ^{ab}	6,4 ^{ab}	6,4 ^{bc}	6,4 ^{bc}	1,9 ^{ab}	2,4 ^{cd}	6,1 ^{abc}	5,8 ^a
Juez "6"	4,7 ^c	1,8 ^{cd}	2,7 ^{ab}	2,7 ^{bc}	0,7 ^{cd}	0,6 ^a	5,5 ^{bc}	7,0 ^a	7,5 ^a	5,5 ^a	5,3 ^c	7,7 ^a	2,0 ^c	6,8 ^a	6,4 ^{bc}	6,8 ^b	2,3 ^{ab}	5,4 ^b	6,6 ^{ab}	5,6 ^a
Juez "7"	5,1 ^{bc}	0,6 ^d	2,2 ^b	2,9 ^{bc}	3,6 ^{ab}	3,0 ^a	5,9 ^{abc}	5,8 ^a	5,6 ^{ab}	5,9 ^a	6,0 ^{bc}	5,6 ^a	5,3 ^{ab}	6,3 ^{ab}	6,6 ^{bc}	5,2 ^{cd}	3,0 ^{ab}	2,1 ^{cd}	7,0 ^a	6,2 ^a
Juez "8"	4,1 ^{cd}	2,8 ^{bc}	1,8 ^{bc}	3,8 ^{bc}	2,1 ^{abcd}	2,1 ^a	4,4 ^{bc}	7,0 ^a	5,5 ^{ab}	2,2 ^b	4,7 ^c	6,3 ^a	3,6 ^{bc}	6,0 ^{ab}	5,8 ^{cd}	6,5 ^{bc}	1,6 ^{ab}	1,2 ^d	5,4 ^{abc}	6,4 ^a
Juez "9"	2,6 ^{de}	1,8 ^{cd}	3,1 ^{ab}	4,5 ^b	4,3 ^a	2,9 ^a	6,8 ^{ab}	7,1 ^a	6,3 ^{ab}	6,2 ^a	7,9 ^a	6,5 ^a	6,4 ^a	7,1 ^a	7,7 ^{ab}	6,3 ^{bc}	1,2 ^b	3,0 ^c	5,7 ^{abc}	6,6 ^a

(*) Valores en la misma columna y con la misma letra no presentan diferencias significativas (p<0,05).

Abreviaturas: Lev: levadura; Lac: ácido láctico; Va: vainilla; Nu: nuez; Ci: ciruela; Re: regaliz; To: tostado; Co_{cr}: color de la corteza; Co_{mg}: color de la miga; H_{alv}: homogeneidad de alveolos en la miga; N_{alv}: número de alveolos en la miga; Fir: firmeza de la miga; El: elasticidad de la miga; Hu_{mg}: humedad de la miga de pan; Coh: cohesividad; Cer: cereal; Ac: ácido; Du: dulce; IF_{mg}: intensidad de flavor en la miga; IF_{cr}: intensidad de flavor en la corteza.

Resultados

El análisis de la varianza tomando como fuente de variación los panes, se muestra en la tabla 32. La puntuación asignada a cada pan fue significativa para los atributos de aroma “Regaliz” (Re), “Color de la corteza” (Co_{cr}), “Color de la miga” (Co_{mg}), “Homogeneidad de alveolos en la miga” (H_{alv}) y “Firmeza” (Fir) y “Elasticidad de la miga” (El).

La tabla 33 muestra los valores medios de los atributos sensoriales, por grupos (aroma, apariencia, textura y flavor), para cada uno de los cinco panes y en la figura 41 puede verse el diagrama de araña del perfil sensorial para los valores medios de los atributos de los panes analizados.

El análisis de las puntuaciones medias otorgadas por los jueces para cada uno de los cinco panes con la prueba de rango múltiple reveló diferencias significativas para los atributos de textura en mano y para la mayoría de los atributos de apariencia. Sin embargo, para los atributos de aroma y flavor, únicamente el aroma “Regaliz” (Re) fue significativamente diferente entre los distintos panes, siendo especialmente marcado en el pan ‘Espelta Navarra’.

No hubo diferencias significativas para “Intensidad de flavor en la miga” entre los panes elaborados con trigo panadero, pero sí que existieron diferencias entre los dos panes de espelta, siendo la puntuación más elevada para el pan de ‘Espelta Navarra’.

No se encontraron diferencias significativas entre panes para los atributos de flavor “Cereal” (Cer), “Acido” (Ac) y “Dulce” (Du). Las puntuaciones otorgadas a todos los panes para el atributo de flavor “Cereal” (Cer) fueron muy elevadas.

Con respecto a los atributos de apariencia, algunas diferencias se han encontrado entre las puntuaciones para “Color de la corteza” (Co_{cr}) y “Color de la miga” (Co_{mg}). Para la primera de estas, diferencias significativas sólo se han encontrado para el pan ‘Craklin’, que recibió las puntuaciones más bajas. Para el atributo “Color de la miga” (Co_{mg}), las únicas diferencias significativas encontradas fueron para el pan ‘Espelta Álava’, que recibió las puntuaciones más bajas. No se encontraron diferencias significativas para “Número de alveolos en la miga” (N_{alv}), pero si las hubo para “Homogeneidad de alveolos en la miga” (H_{alv}), los panes de trigo espelta recibieron puntuaciones significativamente más bajas que los panes hechos con trigo panadero.

Para los atributos de textura, los panes de espelta tuvieron mayor “Elasticidad de la miga” (El) en comparación con los panes de trigo panadero, con diferencias significativas

entre el pan de 'Espelta Álava' y los elaborados con los trigos panaderos. Los panes de espelta recibieron elevadas puntuaciones para el atributo "Elasticidad de la miga" (El) y puntuaciones significativamente más bajas para el atributo "Homogeneidad de alveolos en la miga" (H_{alv}).

Figura 41.- Perfil sensorial para los valores medios de los atributos de los panes analizados.

Abreviaturas: Lev: levadura; Lac: ácido láctico; Va: vainilla; Nu: nuez; Ci: ciruela; Re: regaliz; To: tostado; Co_{cr} : color de la corteza; Co_{mg} : color de la miga; H_{alv} : homogeneidad de alveolos en la miga; N_{alv} : número de alveolos en la miga; Fir: firmeza de la miga; El: elasticidad de la miga; Hu_{mg} : humedad de la miga de pan; Coh: cohesividad; Cer: cereal; Ac: ácido; Du: dulce; IF_{mg} : intensidad de flavor en la miga; IF_{cr} : intensidad de flavor en la corteza

Resultados

Tabla 32.- Análisis de la varianza tomando como fuente de variación a los panes para los atributos sensoriales. Se indica el valor del cuadrado medio y el grado de significación. R (%) indica la explicación del modelo para el análisis de la varianza

Fuente	Atributos de aroma							Atributos de apariencia				Atributos de textura				Atributos de flavor				
	Miga						Corteza	Corteza	Miga			Textura en mano		Textura Oral		Miga				Corteza
	Lev	Lac	Va	Nu	Ci	Re	To	Co _{cr}	Co _{mg}	Halv	Nalv	Fir	El	Hu _{mg}	Coh	Cer	Ac	Du	IF _{mg}	IF _{cr}
Panes	1,71	1,15	3,96	8,0	11,80	34,34**	0,16	10,76**	11,09**	13,23**	4,18	16,23**	18.58**	3,80	1,51	2,09	3,09	5,19	6,36	0,71
Error	4,89	4,32	2,44	5,01	4,90	5,64	5,49	1,32	1,52	2,85	2,63	1,30	3,24	1,71	3,50	4,27	3,11	6,44	2,44	2,01
R (%)	3,40	2,60	14,00	13,80	19,41	37,83	14,78	44,82	42,21	31,70	13,73	55,53	36,40	18,13	4,13	4,66	9,04	7,46	20,65	3,40

**, *: significativo al 1 % y al 5 %, respectivamente.

Abreviaturas: Lev: levadura; Lac: ácido láctico; Va: vainilla; Nu: nuez; Ci: ciruela; Re: regaliz; To: tostado; Co_{cr}: color de la corteza; Co_{mg}: color de la miga; H_{alv}: homogeneidad de alveolos en la miga; N_{alv}: número de alveolos en la miga; Fir: firmeza de la miga; El: elasticidad de la miga; Hu_{mg}: humedad de la miga de pan; Coh: cohesividad; Cer: cereal; Ac: ácido; Du: dulce; IF_{mg}: intensidad de flavor en la miga; IF_{cr}: intensidad de flavor en la corteza

Tabla 33.- Comparación de medias mediante pruebas múltiples de Duncan de los 20 descriptores para los cinco tipos de panes

Cultivar	Atributos de aroma							Atributos de apariencia				Atributos de textura				Atributos de flavor				
	Miga						Corteza	Corteza	Miga			Textura en mano		Textura Oral		Miga				Corteza
	Lev	Lac	Va	Nu	Ci	Re	To	Co _{cr}	Co _{mg}	H _{alv}	N _{alv}	Fir	El	Hu _{mg}	Coh	Cer	Ac	Du	IF _{mg}	IF _{cr}
‘Bonpain’	4,9 ^a	2,7 ^a	2,5 ^{ab}	3,6 ^{ab}	2,2 ^{ab}	1,0 ^b	5,6 ^{ab}	7,1 ^a	7,1 ^a	5,9 ^{ab}	6,6 ^a	6,4 ^b	4,0 ^{bc}	6,4 ^{ab}	6,6 ^a	6,7 ^a	1,9 ^a	3,0 ^a	5,4 ^{ab}	5,5 ^a
‘Craklin’	4,6 ^a	2,5 ^a	1,2 ^b	3,5 ^{ab}	1,6 ^b	0,4 ^b	4,4 ^b	4,9 ^b	6,2 ^a	6,4 ^a	6,3 ^a	8,5 ^a	2,9 ^c	6,4 ^{ab}	6,5 ^a	6,0 ^a	1,4 ^a	3,8 ^a	5,4 ^{ab}	5,3 ^a
‘Sensas’	4,9 ^a	3,3 ^a	2,5 ^{ab}	3,3 ^{ab}	2,4 ^{ab}	1,2 ^b	4,7 ^{ab}	6,8 ^a	7,1 ^a	6,6 ^a	6,4 ^a	6,9 ^b	3,1 ^c	7,1 ^a	6,1 ^a	6,0 ^a	1,6 ^a	4,3 ^a	5,8 ^{ab}	5,6 ^a
‘Espelta Navarra’	4,0 ^a	2,3 ^a	2,8 ^a	5,0 ^a	4,1 ^a	5,2 ^a	7,0 ^a	7,4 ^a	5,9 ^a	4,5 ^{bc}	5,1 ^a	8,2 ^b	5,3 ^{ab}	6,2 ^{ab}	5,8 ^a	5,7 ^a	2,9 ^a	4,9 ^a	7,0 ^a	6,0 ^a
‘Espelta Álava’	5,2 ^a	2,5 ^a	1,9 ^{ab}	2,4 ^b	1,0 ^b	0,7 ^b	6,1 ^{ab}	7,1 ^a	4,4 ^b	3,9 ^c	5,3 ^a	4,7 ^c	6,2 ^a	5,3 ^b	5,7 ^a	5,3 ^a	1,8 ^a	2,8 ^a	4,6 ^b	5,8 ^a

(*) Valores en la misma columna y con la misma letra no presentan diferencias significativas (p<0,05).

Abreviaturas: Lev: levadura; Lac: ácido láctico; Va: vainilla; Nu: nuez; Ci: ciruela; Re: regaliz; To: tostado; Co_{cr}: color de la corteza; Co_{mg}: color de la miga; H_{alv}: homogeneidad de alveolos en la miga; N_{alv}: número de alveolos en la miga; Fir: firmeza de la miga; El: elasticidad de la miga; Hu_{mg}: humedad de la miga de pan; Coh: cohesividad; Cer: cereal; Ac: ácido; Du: dulce; IF_{mg}: intensidad de flavor en la miga; IF_{cr}: intensidad de flavor en la corteza

3.3.5.- Correlaciones entre los parámetros analizados

El estudio de la correlación de Pearson entre los valores de los parámetros de calidad instrumental y los atributos de los panes analizados se muestra en la tabla 34.

El atributo sensorial “Tostado” (T_o) de los panes presentó correlación positiva con los parámetros instrumentales, volumen, resiliencia (R_o), área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC) y con la media del diámetro de los alveolos (CD); en cambio la correlación fue negativa para la densidad.

El atributo “Color de la corteza” (Co_{cr}) presentó correlación positiva con cuatro de los parámetros instrumentales: humedad, firmeza (F_o), resiliencia (R_o) y contenido en cenizas. La correlación para el atributo “color de la miga” (Co_{mg}) fue positiva para los parámetros instrumentales, densidad y los parámetros de color a^* (intensidad de color rojo) y b^* (intensidad de color amarillo) y negativa para el volumen, el área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC), con la media del diámetro de los alveolos (CD) y con el L^* (índice de luminosidad).

El atributo “Homogeneidad de los alveolos” (H_{alvr}) presentó correlación positiva con tres de los parámetros instrumentales: densidad y los parámetros de color a^* (intensidad de color rojo) y b^* (intensidad de color amarillo) y negativa para el volumen, la resiliencia (R_o) y los parámetros de imagen área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC) y con la media del diámetro de los alveolos (CD). El “Número de alveolos en la miga” mostró correlación negativa con la resiliencia (R_o), con el decremento de resiliencia (DeR_o) y con la media del diámetro de los alveolos (AvC).

El atributo sensorial “Firmeza de la miga” (Fir) presentó correlación negativa con los parámetros: volumen de los panes, humedad, resiliencia (R_o), decremento de resiliencia (DeR_o), área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC), media del diámetro de los alveolos (CD) y cenizas; y positiva con los parámetros instrumentales: densidad, firmeza (F_o), incremento de firmeza (InF_o) y b^* (intensidad de color amarillo).

El atributo “elasticidad de la miga” (El) presentó correlación negativa con los parámetros instrumentales: densidad y b^* (intensidad de color amarillo) y positiva con el volumen, la resiliencia

Resultados

(R_0), el decremento de resiliencia (DeR_0), el área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC) y la media del diámetro de los alveolos (CD).

El atributo sensorial “Humedad de la miga” presentó correlación negativa con los parámetros instrumentales: volumen, resiliencia (R_0), decremento de resiliencia (DeR_0), área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC) y media del diámetro de los alveolos (CD), y correlación positiva con los parámetros: densidad y b^* (intensidad de color amarillo).

El atributo sensorial “Cohesividad de la miga” (Coh) mostró correlación negativa con los parámetros instrumentales: volumen, resiliencia (R_0), área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC) y media del diámetro de los alveolos (CD), y correlación positiva con los parámetros: densidad y b^* (intensidad de color amarillo).

El atributo “Cereal” (Ce) presentó correlación positiva con los parámetros de color a^* y b^* (intensidad de color rojo y amarillo, respectivamente) y correlación negativa con el área total de alveolos como porcentaje del área de muestra (AC) y la media del diámetro de los alveolos (CD)

Tabla 34.- Correlaciones entre parámetros instrumentales y atributos sensoriales

Parámetros Instrumentales y sensoriales	Volumen	Densidad	Humedad	F ₀	InF ₀	R ₀	DeR ₀	AC	CD	AvC	L*	a*	b*	Cenizas
Levadura	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ácido láctico	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,64*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Vainilla	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Nuez	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ciruela	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Regaliz	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Tostado	0,75*	-0,79**	n.s.	n.s.	n.s.	0,84**	n.s.	0,79**	0,80**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Color corteza	n.s.	n.s.	0,75*	0,83**	n.s.	0,77**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,81**
Color miga	-0,74*	0,65*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,70*	-0,70*	n.s.	-0,71*	0,88**	0,88**	n.s.
Homogeneidad alveolos	-0,72*	0,72*	n.s.	n.s.	n.s.	-0,78**	-0,70*	-0,72*	-0,84**	n.s.	n.s.	0,63*	0,70*	n.s.
Numero de alveolos	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,77**	-0,69*	n.s.	-0,69*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Firmeza miga	-0,90**	0,92**	-0,72*	0,84**	0,67*	-0,91**	-0,67*	-0,91**	-0,93**	n.s.	n.s.	n.s.	0,64*	-0,65*
Elasticidad miga	0,72*	-0,75*	n.s.	n.s.	n.s.	0,84**	0,67*	0,69*	0,83**	n.s.	n.s.	n.s.	-0,66*	n.s.
Humedad miga	-0,86**	0,84**	n.s.	n.s.	n.s.	-0,78**	-0,70*	-0,89**	-0,91**	n.s.	n.s.	n.s.	0,73*	n.s.
Cohesividad miga	-0,63*	0,63*	n.s.	n.s.	n.s.	-0,75*	n.s.	-0,70*	-0,76*	n.s.	n.s.	n.s.	0,80**	n.s.
Cereal	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,66*	-0,72*	-	n.s.	0,65*	0,90**	n.s.
Ácido	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,70*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Dulce	0,70*	0,66*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Flavor miga	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Flavor corteza	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* , **: indican significativo al 5 % y el 1 % respectivamente y n.s. que no es significativo.

Abreviaturas: PMS: F₀: firmeza determinada a la salida del horno; InF₀=(F₄₈-F₀)/F₀: incremento de la firmeza; R₀: resiliencia a la salida del horno; DeR₀=(R₀-R₄₈)/R₀: decremento de la resiliencia; AC: área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra; CD: media del diámetro de los alveolos; AvC: elongación promedio del alveolo; L*: índice de luminosidad; a*: intensidad de color rojo; b*: intensidad de color amarillo.

DISCUSIÓN

4.- DISCUSIÓN

El interés que han adquirido en los últimos años productos de trigo considerados por los consumidores como “naturales”, “menos alterados”, “beneficiosos” o “nutraceúticos”, elaborados con trigos ancestrales como el trigo espelta, ha incrementado la investigación sobre diferencias entre variedades de trigo modernas y ancestrales.

Algunos autores, mediante análisis electroforéticos de prolaminas de trigo panadero y de trigo espelta, encontraron diferencias para cada una de estas subespecies, permitiéndoles diferenciar variedades de ambas sólo mediante la electroforesis (Siedler et al., 1994; Harsch et al., 1997). Otros, en cambio, también analizando perfiles electroforéticos de subespecies de *Triticum* (*vulgare*, *espelta*, *macha*, *sphaerococcum* y *carthlicum*, *vavilovii*) no encontraron diferencias entre ellas (Johnson, 1972; Lafiandra et al., 1989), lo que avalaba la teoría de McFadden y Sears (1946) de que estas subespecies tenían un origen monofilético común. En este trabajo tampoco se han encontrado diferencias entre prolaminas de *vulgare* y *spelta*, y sí se ha encontrado variabilidad, para las proteínas analizadas, entre los cultivares de ambas subespecies. Por ello, para diferenciar ambas subespecies es necesario recurrir, entre otros caracteres, a los morfológicos.

4.1. Calidad del grano

El peso de mil semillas es un buen indicador del llenado del grano y, por consiguientemente, del rendimiento de la harina. Valorando los resultados de las cinco muestras en conjunto, los valores para el peso de mil semillas, fueron más elevados en ‘Craklin’ y en los dos espeltas, y superiores a los encontrados por otros autores (Wilson et al., 2008; Mikos et al., 2012; Jankovic et al., 2015). Glamoclija et al. (2013) destacan que el peso de mil semillas depende de factores edafoclimáticos y de las prácticas de cultivo

Para el contenido en cenizas no se encontraron diferencias entre dos de los trigos panaderos, ‘Bonpain’ y ‘Sensas’ y los dos trigos espelta; estos resultados difieren de los obtenidos por otros investigadores que indican en sus estudios un mayor contenido en cenizas en el grano de trigo espelta en comparación con los trigos panaderos (Kohajdová y Karovičová, 2009; Brandolini et al., 2008 e Hidalgo et al., 2008). Ruibal-Mendieta et al. (2005), analizando las diferentes fracciones de la molienda (harina, salvado fino y salvado grueso), de nueve muestras de trigos espelta y de cinco trigos panaderos, encontraron

Discusión

concentraciones superiores de cenizas en las muestras de trigo espelta, especialmente en la fracción de salvado fino, rico en capa de aleurona y en la fracción de salvado grueso. Concentraciones superiores de cenizas han sido encontradas también por otros autores (Bonafaccia et al., 2000; Kohajdová y Karovičová, 2009).

Sin embargo, aún no existiendo diferencias entre el contenido en cenizas de los dos trigos espelta y dos de los trigos panaderos, para el contenido en minerales Fe y Zn, uno de los dos espeltas, 'Espelta Navarra', obtuvo concentraciones más elevadas que el resto de las muestras para ambos minerales; en cambio, el 'Espelta Álava', presentó para ambos minerales valores inferiores con respecto a, al menos, dos de los trigos panaderos. Estudios previos (Ruibal-Mendieta et al., 2005; Gómez-Becerra et al., 2010) habían detectado concentraciones de estos minerales superiores a las de los trigos panaderos en algunos genotipos de espelta, mostrando gran estabilidad en diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, Zhao et al. (2009), analizando 125 líneas de trigo panadero y 25 líneas de trigos vestidos, encontraron una considerable variación en el contenido en ambos minerales, si bien, encontraron una correlación altamente positiva entre ambos y el contenido en proteína, correlación que no hemos detectado en este trabajo. Aunque existe un componente ambiental representado, principalmente, por la concentración de esos elementos en el suelo (Carrillo, 2012), en último término, el contenido en el grano de Fe y Zn, y de otros elementos minerales, está sujeto a la acción poligénica de factores genéticos que controlan los diversos procesos fisiológicos implicados en su asimilación desde la raíz al resto de la planta. Algunos autores (Bojňanaská y Frančáková, 2002; Kohajdová y Karovičová, 2008) informan que el mayor contenido en minerales y proteína de los espelta está relacionado con la mayor presencia/participación de la capa de aleurona en el conjunto del grano.

También la variabilidad en el contenido en proteína intra-especies puede ser explicada por las diferentes condiciones de cultivo (ambiente y fertilización nitrogenada) y/o el potencial genético (Gómez-Becerra et al., 2010; Escarnot et al., 2012; Filipčev et al., 2013), pero son varios los autores que han comprobado un elevado contenido en los genotipos de espelta analizados (Abdel-Aal et al., 1997; Bonafaccia et al., 2000; Zanetti et al., 2001; Pruska-Kedzior et al., 2008; Kohajdová y Karovičová, 2009; Gómez-Becerra et al., 2010; Pasqualone et al., 2011; Escarnot et al., 2012; Filipčev et al., 2013; Jablonskytė Raščė et al., 2013). En este estudio, los dos espelta mostraron valores intermedios en el intervalo de los

resultados globales de los cinco cultivares, teniendo el trigo ‘Espelta Navarra’ un valor más elevado que el ‘Espelta Álava’.

4.2.-Genética de los cultivares. Su influencia en la calidad harinopanadera

“The suitability of wheat varieties for bread-making depends on their glutenin subunits. The amino acid composition of these gluten building-blocks have a strong influence on the rheology of the dough and, thus, on the suitability of the variety for bread-making” (Gobaa et al., 2007).

En este trabajo se han analizado, mediante electroforesis SDS-PAGE, 100 granos diferentes tomados al azar para determinar la homogeneidad de los cultivares. El número que se considera en los descriptores utilizados para trigo por el “International Board for Plant Genetic Resources” (IBPGR, 1985) es el de cinco granos por entrada o cultivar necesarios para identificar heterogeneidad. Los resultados han indicado homogeneidad en las tres variedades de trigo panadero (‘Bonpain’, ‘Craklin’, ‘Sensas’) y en el ‘Espelta Navarra’ y heterogeneidad en el ‘Espelta Álava’.

En la identificación de las HMW-GS se encontraron, cuatro subunidades codificadas por el locus *Glu-A1*: subunidades 1, 2*, Nula y 2••. Las tres primeras fueron previamente identificadas por Payne y Lawrence (1983). Rodríguez-Quijano et al. (1990) y Caballero et al. (2001), analizando colecciones de trigo espelta de origen español y An et al. (2005) de Centro Europa, encontraron que la subunidad 1 se encontraba en porcentajes en torno al 80 %, mientras que los de la subunidad 2* y nula eran muy bajos. En cambio, la subunidad 2•• no se nombra en estos trabajos, seguramente por la dificultad que se tiene en su identificación por electroforesis convencional (sólo se diferencia de la subunidad 2* en 18 pb). Sin embargo, en 1997, Igrejas et al., la describieron en poblaciones locales del trigo panadero ‘Barbela’, Brites et al. (2000) en el trigo comercial ‘Ribeiro’, Elia (2007) en un espelta asturiano, Gobaa et al. (2007) en la línea ‘211.12014’ procedente de Suiza y Giraldo et al. (2010) en variedades locales españolas de trigo panadero. En el trabajo de Payne y Lawrence (1983) analizando 300 cultivares de variedades de trigo panadero se encontró una frecuencia similar para las HMW-GS 1 y 2* (un 28 %), mientras que la de la nula era del 44 %. Y en el estudio de Morgunov et al. (1993) donde se analizan 1.380 cultivares de trigo panadero de todo el mundo, se encontraron frecuencias cercanas al 31 % para las tres HMW-GS 1, 2* y nula. En cambio, analizando colecciones de trigo espelta españolas

Discusión

(Rodríguez-Quijano et al., 1990; Caballero et al., 2001) y colecciones de espeltas europeos (Yan et al., 2003; An et al., 2005) se encontraron altas frecuencias de esta subunidad (en torno al 85 %).

Los primeros trabajos que relacionaron la composición en HMW-GS específicas con resultados de pruebas de calidad panadera (Payne et al., 1984; Pogna et al., 1986; Branlard et al., 1992; 2001) ya habían identificado a las HMW-GS 1 y 2* como “buenas” para la calidad panadera, así como a la nula como “mala”. Desde entonces numerosos estudios han identificado a la HMW-GS nula con efectos negativos en la calidad panadera, y a las subunidades 1 y 2* de buena influencia en la fuerza del gluten (revisión Cornish et al., 2006). Sobre la influencia de la HMW-GS 2•• sobre la calidad panadera hay menos información en la literatura. Analizando dobles haploides de trigo panadero, Gobaa et al. (2007) observaron que esta subunidad ejercía un mayor efecto beneficioso sobre la calidad panadera que la subunidad 2* y también llegaron a esa conclusión Giraldo et al. (2010) analizando variedades locales españolas de trigo panadero.

Seis HMW-GS diferentes se encontraron codificadas por el locus *Glu-B1*. De ellas, los pares de subunidades 7+8 y 17+18, identificados por Payne y Lawrence (1983) y el par 7*+9 identificado por Marchylo et al. (1982), se han encontrado en las variedades comerciales de trigo panadero, todos ellos considerados con una buena calidad panadera. En el ‘Espelta Álava’ se encontraron los pares 13+16 y 13+18. Este último, hasta ahora, solo se ha descrito en espeltas de origen español (Rodríguez-Quijano et al., 1990; Caballero et al., 2001) y no se conoce su influencia en la calidad. El par 13+16 en la revisión de Rasheed et al. (2014) está descrito como de buena influencia en la calidad panadera. En colecciones mundiales de trigo panadero analizadas, Payne y Lawrence (1983) lo consideraron “raro” por su baja frecuencia; también lo fue para Morgunov et al. (1993) en el estudio realizado de 1.380 cultivares procedentes de todo el mundo y para Tohver (2007) en su estudio de 229 cultivares del Norte y del Centro de Europa (1,2 % y 0,9 %, respectivamente). Nakamura (2001) y Fang et al. (2009), no encontraron ninguna variedad que tuviera este par de HMW-GS entre las 66 variedades chinas y 174 japonesas que analizaron. En cambio, en variedades locales de trigo panadero portuguesas (Rodríguez-Quijano et al., 1998) y españolas (Giraldo et al., 2010) su frecuencia fue mayor (17,2 % y 14,5 %, respectivamente), datos que pueden indicar que este par se ha conservado en cultivares de la Península Ibérica.

El par 6*+ 8* que se ha encontrado en el 'Espelta Navarra', fue identificado por Ng et al. (1989) y por Pogna et al. (1989) que lo localizaron en variedades de trigo panadero de Canadá y de Italia, respectivamente. Este par de subunidades no se ha descrito entre espeltas españoles (Rodríguez-Quijano et al., 1990; Caballero et al., 2001) y tampoco entre espeltas de Europa Central (Yan et al., 2003; An et al., 2005). No obstante, la Dra. Rodríguez-Quijano (comunicación personal) encontró este par analizando una colección de 100 espeltas procedentes del National Small Grain (Aberdeen, Idaho, USA), entre espeltas de procedencia centroeuropea.

El locus *Glu-D1* ha codificado los pares de HMW-GS 5+10 en las variedades de trigo panadero 'Bonpain' y 'Sensas' y el par 2+12 en el trigo panadero 'Craklin' y en los espeltas 'E. Navarra' y 'E. Álava'. Este último también tenía el par 2+12*, par considerado raro en las variedades comerciales de trigo. Lo identificó Pogna et al. (1989) en cultivares italianos y posteriormente también Rodríguez-Quijano et al. (1990) y Caballero et al. (2001) en cultivares indígenas y en espeltas españoles. Su influencia en la fuerza panadera, medida por el volumen de sedimentación, es similar a la del par 2+12 (comunicación personal Dra. Rodríguez-Quijano), es decir, "mala" (revisión Cornish et al., 2006; revisión de Rasheed et al., 2014).

En cambio, el par de HMW-GS 5+10 está considerado como el más influyente en una buena calidad panadera (revisión de Cornish et al., 2006; revisión de Rasheed et al., 2014). Esto ha llevado a que hoy en día muchas de las variedades comerciales modernas lleven este par en su constitución genética. Se ha intentado explicar esta alta influencia del par en una buena calidad panadera porque la subunidad 5 de tipo-x, lleva un residuo extra de cisteína en su dominio N-terminal, lo que le ayudaría a formar mayor número de macropolímeros (Lafiandra et al., 1993).

Por otra parte, según su composición en puroindolinas, las variedades 'Bonpain' y 'Sensas' al tener genotipo *pina-D1a*, *pinb-D1b* (llevan la mutación de la sustitución de glicina por serina en la posición 46 en la puroindolina b), tienen un tipo de textura del endospermo de dureza intermedia (Bagulho et al., 2003). Mientras que 'Craklin' y los dos espeltas 'E. Alava' y 'E. Navarra', al tener ambas puroindolinas a y b de tipo "salvaje" tienen la textura del endospermo de dureza blanda.

Discusión

Según su composición genética en HMW-GS y en puroindolinas, el comportamiento en la reología de las masas panarias debería ser diferente entre los trigos analizados.

Respecto del parámetro dureza, los resultados han indicado diferencia significativa entre los duros y los blandos coincidiendo con Bagulho et al. (2003), aunque se ha observado que entre los blandos ambos espeltas tienen significativamente una mayor dureza que 'Craklin'. Quizá este último resultado se puede relacionar con el bajo contenido en proteína de esta variedad, porque algunos autores han indicado que hay correlación positiva entre ambos parámetros (Labuschagne et al., 1997; Giroux et al., 2000), resultados que coinciden con los obtenidos en este trabajo.

En el volumen de sedimentación, de acuerdo a la genética de las variedades, se puede observar como 'Bonpain' mostró un mayor volumen que 'Sensas'. La diferencia significativa podría deberse a que el par HMW-GS 17+18 influye en un mayor volumen de sedimentación que el alélico 7*+9, como han indicado Branlard et al. (2001) y Vawser et al. (2002). Este par también puede considerarse como "bueno", porque ambos cultivares tienen altos valores de SDSS (112 mm y 106,5 mm, respectivamente). En cambio, para los trigos espelta los valores para el SDSS fueron menores, coincidiendo con resultados anteriores (Marconi et al, 1999; Bojňanaská y Frančáková, 2002; Schoeber et al (2006). El 'Espelta Álava' presentó un valor significativamente mayor para este parámetro con respecto al 'Espelta Navarra'. Teniendo en cuenta que la diferencia principal entre ambos se debe a la diferencia en las HMW-GS del locus *Glu-B1*, se puede inferir que el par 13+16 es "mejor" que el 6*+8*. El bajo valor de SDSS de 'Craklin', se debe a la "mala" calidad de sus HMW-GS.

En los parámetros del Alveógrafo, fuerza (W), degradación (W') y tenacidad (P) y en todos los parámetros del Consistógrafo, se ha observado que los trigos con mejor reología fueron los trigos panaderos 'Bonpain' y 'Sensas'. Estos resultados están relacionados con un gluten más fuerte, verificado por las correlaciones positivas entre el volumen de sedimentación (SDSS) con los parámetros fuerza (W) y degradación (W') y con los parámetros del Consistógrafo: hidratación (HYD), tiempo en alcanzar la presión máxima (Tprmax) y tolerancia (Tol). De la misma manera, con la correlación negativa entre el volumen de sedimentación (SDSS) y los parámetros debilitamiento de la masa a los 250 s y 450 s respectivamente (D₂₅₀ y D₄₅₀) del consistograma, resultados que coinciden con los obtenidos por Filipčev et al. (2013), quienes, analizando el comportamiento reológico de

tres genotipos de espelta, encontraron en sus masas propiedades reológicas pobres o moderadas y caracterizadas por una baja estabilidad, determinada, en este caso, mediante el Farinógrafo de Brabender. Un gluten más débil en trigo espelta, indicado en los menores tiempos de amasado en el mixógrafo, también fue detectado por Wilson et al. (2008). En este trabajo, como se comentó anteriormente, se obtuvieron valores bajos en el parámetro tiempo en alcanzar la presión máxima del Consistógrafo (T_{prmax}), indicativo también de gluten débil.

Diversos autores (Schoeber et al., 2006; Kohajdová y Karovičová, 2008; Escarnot et al., 2012) encontraron que la ratio gliadinas/gluteninas era significativamente mayor en el trigo espelta al compararlo con el de trigo panadero. En opinión de Pruska-Kedzior et al. (2008), las propiedades reológicas del gluten de los trigos espelta están influenciadas por las gliadinas como plastificante monomérico pegajoso, mientras que las del gluten de los trigos panaderos están influenciadas por las gluteninas como un factor polimérico de entramado. Esto podría estar relacionado con las especiales propiedades reológicas de las masas espeltas que se han encontrado en este trabajo.

Sin embargo, a pesar de que a priori los dos trigos espelta presentaron una reología “peor”, cuando se analizó el volumen de los panes, se constató que el elaborado con ‘Espelta Álava’ obtuvo el mayor volumen y que el elaborado con ‘Espelta Navarra’ ocupó un segundo lugar junto con los de los trigos panaderos de mejor reología, ‘Bonpain’ y ‘Sensas’.

El pan de ‘Espelta Álava’ presentó como característica una miga más elástica (mayor valor del parámetro R_0 , resiliencia), menos firmeza (menor valor del parámetro F_0 , firmeza), menor densidad y una estructura alveolar caracterizada por mayores valores en los parámetros: área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra (AC) y media del diámetro de los alveolos (CD). Pasqualone et al. (2011), comparando propiedades tecnológicas de un trigo panadero con las de un trigo espelta y otros dos trigos ancestrales, encontraron que el volumen del pan estaba también influenciado por el cultivar.

Aunque, como se ha descrito anteriormente, existe cierto consenso en cuanto a la “peor” reología de las masas de espelta, al no haberse realizado en varios de estos estudios ensayos de panificación, es difícil predecir en qué medida estas propiedades pueden llegar a afectar a la calidad del pan. Bojňanaská y Frančáková (2002) y Wilson et al., (2008), al elaborar panes con harinas de trigo espelta concluyeron que tenían valores más bajos en su

Discusión

volumen específico, resultados que difieren con los obtenidos en este trabajo, en el que los dos panes de espelta obtuvieron los valores más altos para el volumen específico (menor densidad).

Estos resultados han podido ser, debido a que en este trabajo se han incorporado varias de las propuestas indicadas en estudios previos para mejorar la calidad de los panes elaborados con estas harinas de espelta: aumentar los tiempos de reposo de la masa e incorporar pliegues intermedios (Filipčev et al., 2013), añadir masas madre y/o incorporar granos escaldados (Hammed y Simsek, 2014). Esto ha podido jugar un papel decisivo en la mejor calidad encontrada en el pan de ‘Espelta Álava’ y en el de ‘Espelta Navarra’.

4.3. Calidad sensorial

4.3.1. Consistencia del panel de jueces que ha realizado la valoración sensorial de los panes

Como se ha comentado en el apartado de resultados, el análisis de la varianza tomando como fuente de variación las puntuaciones dadas por los nueve jueces al mismo pan y a los diferentes atributos como variables, permitió valorar la consistencia del panel de jueces.

Aunque en algunos atributos sensoriales se encontró efecto significativo del juez, lo que podría indicar inconsistencia entre jueces, estas discrepancias son habituales en la evaluación sensorial y pueden ser atribuidas al diferente uso de la escala (Laureattit et al, 2012). Por ejemplo, en nuestros resultados, el juez “1” daba siempre las puntuaciones más altas para los atributos de aroma, en cambio el juez “3” las más bajas para la mayoría de ellos, pero en general, el orden de puntuación de los panes siguió la misma secuencia. Para los atributos de textura, el juez “3” y el juez “9” dieron las puntuaciones mayores, mientras que el juez “2” las más bajas.

Otra manera de analizar la consistencia del panel, fue atender las correlaciones entre los parámetros obtenidos por el panel de jueces y los resultados de las pruebas instrumentales.

Ninguno de los atributos de aroma de la miga presentó correlación con los parámetros instrumentales, y entre los atributos de flavor, solo el “Cereal” (Ce) mostró correlación alta y positiva con uno de los parámetros de color.

Sin embargo, llamó la atención que el atributo de aroma “Tostado” (To) en la corteza, presentase correlación elevada y negativa con la densidad de la miga y positiva con los parámetros instrumentales: volumen del pan, área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra (AC) y media del diámetro de los alveolos (CD). En las migas más alveoladas, de mayor volumen y de baja densidad, se favorece las migraciones de humedad desde el centro a la superficie de la pieza durante la cocción, lo que incrementa la intensidad de las reacciones de Maillard y provoca cortezas con mayor aroma a “Tostado”.

No existió correlación, sin embargo, entre el atributo sensorial de apariencia “Color de la corteza” (Co_{cr}) y los parámetros instrumentales de color L, a^* y b^* . Probablemente debido a que los panes eran de por sí tan oscuros (todas las harinas eran semintegrales), que apenas se notaban diferencias como consecuencia de la mayor o menor intensidad de las reacciones de caramelización. La reacción de caramelización de los azúcares que están en la superficie de la masa puede producir moléculas coloreadas de alto peso molecular, con sabor ácido y amargo, o bien, producir compuestos carbonilos, tales como aldehídos y cetonas (Pozo Bayón, 2006). Sí se detectó correlación entre el atributo sensorial “Color de la corteza” y el parámetro instrumental contenido en cenizas, lo que permitió concluir que el color de la corteza en nuestro estudio estuvo más determinado por la tasa de extracción de la harina que por las reacciones de caramelización durante la cocción. Esta mayor tasa de extracción en las harinas podría justificar la aparición de un mayor valor en la firmeza de los panes, y con ello, la correlación significativa y positiva entre el “Color de la corteza” (sensorial) y la firmeza (F_0) de la miga.

Para el atributo sensorial de apariencia “Color de la miga” (Co_{mg}) las correlaciones más elevadas, como cabía esperar, se encontraron con los parámetros instrumentales a^* y b^* , siendo positivas en ambos casos, lo que volvió a poner de manifiesto la consistencia del panel de jueces.

Un mayor número de correlaciones significativas se encontró entre los parámetros relacionados con la estructura alveolar. De esta manera, se comprobó una elevada y negativa correlación entre los atributos sensoriales “Homogeneidad de alveolos en la miga” (H_{alv}) y “Número de alveolos en la miga” (N_{alv}) y la elasticidad de la miga evaluada instrumentalmente a partir del parámetro R_0 (Resiliencia), es decir, las migas con menor número de alveolos pero de tamaño variable fueron más elásticas.

Discusión

Estudios previos han determinado que el número de alveolos, y la variabilidad del tamaño de los alveolos en la miga influyen en las propiedades texturales del pan. Algunos de ellos (Salmenkallio-Marttila et al., 2008; Lassoued et al., 2008) han encontrado muy buenas correlaciones entre las determinaciones instrumentales de la textura del pan y los datos sensoriales obtenidos mediante el empleo de perfiles descriptivos. En el presente estudio, los atributos sensoriales de textura en mano, “Firmeza de la miga” y “Elasticidad de la miga”, presentan correlación elevada y positiva con los parámetros instrumentales F_0 y R_0 , Firmeza y Resiliencia a la salida del horno, respectivamente

La “Firmeza de la miga” (Fir) evaluada sensorialmente presentó también correlación negativa con los siguientes parámetros instrumentales: volumen del pan, área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra (AC) y media del diámetro de los alveolos (CD), es decir que las migas más densas, con menor volumen, y un alveolado caracterizado por celdas pequeñas dió lugar a migas más firmes, lo cual resulta absolutamente lógico. Con este tipo de estructura alveolar, parece lógico pensar que las migraciones de humedad hacia la superficie de la pieza durante la cocción han sido menores, lo que explicaría una mayor humedad en este tipo de migas, y, por tanto la correlación negativa encontrada entre los parámetros instrumentales área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra (AC) y media del diámetro de los alveolos (CD), con el atributo sensorial “Humedad de la miga del pan” (Hu_{mg}).

4.3.2.-Valoración sensorial de los panes

Respecto a la valoración sensorial de los panes de este trabajo, el análisis de las puntuaciones asignadas por los jueces reveló diferencias para los atributos de textura en mano y apariencia. Entre los atributos de aroma, llamó especialmente la atención el aroma “Regaliz” (Re), que destacó por su intensidad en el pan ‘Espelta Navarra’.

Kaseleht et al. (2010), en un estudio sobre la harina kama, un alimento tradicional de Estonia compuesto por una mezcla de cebada tostada, centeno, trigo y harina de guisante molidos, relacionaron el olor a regaliz con la presencia de acetilpirrol en las muestras. El origen de este compuesto, y otros derivados de pirrol en el pan, se relaciona con las reacciones de Maillard que se producen durante la cocción y producen compuestos aromáticos en la corteza. De acuerdo con Cho y Peterson (2010), de todos los derivados de pirrol, el compuesto con mayor influencia en el aroma es el 2-acetil-1-pirrolina, responsable

del aroma a tostado en la corteza. Sin embargo, hay pocas referencias en la literatura sobre el impacto de derivados de pirrol distintos del 2-acetil-1-pirrolina. Otro aspecto novedoso de los resultados obtenidos es la identificación del atributo de aroma "Regaliz" (Re) en la miga y no en la corteza. Este atributo ha sido descrito también por Vilanova et al. (2009). en una matriz de origen vegetal no sometida a tratamiento térmico, concretamente el cultivar de uva española 'Mencía', lo que sugiere que la presencia de acetilpirrol también puede estar relacionado con la composición química del material vegetal y no sólo como resultado de las reacciones de Maillard.

Dado que todos los panes fueron elaborados con el mismo protocolo, las diferencias significativas encontradas para los atributos de aroma podrían ser atribuidas a la diferente composición química de los cultivares. Estudios previos (Grosch y Schieberle, 1997) han postulado que la harina de trigo es una fuente importante de los aromas del pan. Algunos compuestos aislados de la harina de trigo también han sido previamente identificados como contribuyentes importantes al aroma de la miga del pan (Grosch y Schieberle, 1997). Más recientemente, Starr et al. (2013) evaluaron sensorialmente una muestra compuesta por 24 variedades de granos de trigo cocidos y también encontraron diferencias en atributos de aroma y flavor.

Es importante destacar las elevadas puntuaciones obtenidas en todos los panes para los atributos sensoriales "Intensidad de flavor en la miga" (IF_{mg}) e "Intensidad de flavor la corteza" (IF_{cr}). Esto podría estar relacionado con dos factores: el empleo de harinas semi-integrales y el uso de masas madre (Czerny y Schieberle, 2002; Katina et al., 2006; Heenan et al., 2008). Las capas externas del grano de cereal en las harinas integrales contienen varios compuestos fenólicos que pueden influir en el sabor y por otro parte, la fermentación con masa madre es responsable de la acidificación en la masa panaria, lo que desempeña un papel clave en la inducción de la proteólisis responsable del flavor a tostado (Thiele, 2003).

No hubo diferencias significativas para "Intensidad de flavor en la miga" (IF_{mg}) entre los panes elaborados con trigo panadero, pero sí que existieron estas diferencias entre los dos panes elaborados con harina de espelta. El pan elaborado con 'Espelta Navarra' tuvo las puntuaciones más altas para este atributo, lo que, junto con las altas puntuaciones obtenidas para los atributos de aroma, nos permite concluir que este pan fue el más complejo desde el punto de vista sensorial.

Discusión

Llama la atención que, aunque no se encontraron diferencias significativas entre los panes para los atributos de flavor "Cereal" (Ce), "Ácido" (Ac) y "Dulce" (Du), las puntuaciones otorgadas por los jueces al atributo de flavor "Cereal" fueron muy elevadas. Heenan et al. (2008) han observado que los panes elaborados con harinas integrales poseen un típico aroma a cereal. Por ello, es de esperar que los panes de este estudio, con alto contenido en cenizas, presenten un fuerte flavor a cereal.

Para los atributos de textura, los panes de espelta tuvieron mayor puntuación para el atributo "Elasticidad de la miga" (El) en comparación con los panes de trigo panadero, con diferencias significativas entre el pan de 'Espelta Álava' y los panes elaborados con los trigos panaderos, y puntuaciones más bajas para el atributo "Homogeneidad de alveolos en la miga" (H_{alv}). Cabe destacar, que el contenido en proteína de las cinco harinas, no se puede asociar con las diferencias encontradas en los parámetros de textura entre los panes elaborados con trigo espelta y los panes elaborados con trigo panadero. Sin embargo, podría justificar las diferencias entre los tres panes de trigo panadero, debido a que el pan elaborado con 'Craklin' fue muy diferente a los otros dos panes elaborados con trigo panadero.

La elasticidad de la miga se asocia tradicionalmente con un buen comportamiento panadero (Kihlberg et al., 2006). Mediante la evaluación sensorial, ambos panes de espelta recibieron altas puntuaciones para el parámetro "Elasticidad de la miga" (El) y puntuaciones significativamente más bajas para "Homogeneidad de alveolos en la miga" (H_{alv}), lo que podría estar relacionado con las peculiares propiedades reológicas especiales de las masas de espelta.

Algunos autores han postulado que las masas de trigos espelta son muy extensibles (Kohajdová y Karovičová, 2008; Pruska-Kedzior et al., 2008) y fueron precisamente estos panes en este estudio, los que tuvieron la mayor puntuación para el atributo sensorial "Elasticidad de la miga", lo que puede sorprender para masas muy extensibles. Quizás, el proceso de pre-gelatinización al que fueron sometidas las harinas antes del amasado, junto con el pliegue dado a la masa en la fase de reposo, ha podido contribuir de forma positiva a la textura de la miga, como se ha comentado anteriormente. Se argumenta que podrían reducir la probabilidad de ruptura prematura de las membranas de las células de gas, permitiendo así un prolongado e irregular leudado de la masa durante los primeros

momentos de la cocción, lo que podría explicar la baja puntuación para el atributo sensorial "Homogeneidad de los alveolos" (H_{alv}) recibido por los panes de espelta.

CONCLUSIONES

5.- CONCLUSIONES

1. La identificación de las HMW-GS y de las puroindolinas en los cultivares, permitió identificar diferencias que pudieron verse expresadas en el comportamiento reológico de las variedades.
2. En el ensayo alveográfico los trigos espelta tuvieron valores inferiores para los parámetros: fuerza (W), tenacidad (P), equilibrio (P/L) y degradación (W') con respecto a los trigos panaderos, lo cual indicó un gluten más débil para estos cultivares.
3. El comportamiento durante el amasado de los trigos espelta fue marcadamente diferente al de los trigos panaderos 'Bonpain' y 'Sensas' en términos de hidratación (HYD), tiempo en alcanzar la presión máxima (T_{prmax}), tolerancia al amasado (Tol) y debilitamiento de la masa a los 250 y 450 segundos (D₂₅₀ y D₄₅₀), correspondiéndose con masas con un gluten más débil.
4. A pesar de tener peores valores en la reología de su masa, el volumen del pan de uno de los trigos espelta, 'Espelta Álava', alcanzó valores superiores al resto de los panes; en cambio las diferencias en el volumen entre el pan 'Espelta Navarra' y los dos trigos panaderos de mejor calidad panadera 'Bonpain' y 'Sensas' no fueron significativas. Con los resultados obtenidos cabría pensar que en los trigos espelta la relación Gli/Glu tiene mucha influencia en la reología de sus masas. Situación a tener en cuenta para futuros trabajos.
5. Los panes de espelta mostraron además, una estructura alveolar menos compacta, evaluada por sus valores más bajos en los parámetros instrumentales densidad y en firmeza de la miga (F₀) y más elevados en Resiliencia (R₀), área total de alveolos como porcentaje del área de la muestra (AC) y media del diámetro de los alveolos (CD). Resultados asociados con una buena calidad en el pan.
6. Comparando los resultados obtenidos en la calidad de los panes elaborados con trigo espelta, con los descritos en la literatura, se puede decir que resultó fundamental incorporar las estrategias recomendadas, para la puesta a punto del protocolo de panificación con harinas de trigos espelta.
7. El análisis de la varianza tomando como fuente de variación las puntuaciones dadas por los nueve jueces al mismo pan, junto con el estudio de las correlaciones entre los parámetros instrumentales y sensoriales de calidad del pan, permitió confirmar una elevada consistencia del panel de jueces.

Conclusiones

8. El pan elaborado con 'Espelta Navarra' fue el más complejo desde el punto de vista sensorial, teniendo en cuenta los atributos de aroma y flavor conjuntamente
9. Considerando que las cinco variedades de trigo fueron cultivadas bajo cultivo ecológico y en las mismas condiciones edafoclimáticas, y que las harinas obtenidas fueron sometidas al mismo protocolo de panificación, las diferencias entre los panes pueden atribuirse al cultivar.

BIBLIOGRAFÍA

6.- BIBLIOGRAFÍA

AACC (2010). American Association of Cereal Chemists.

Abdel-Aal, R.E., & Al-Garni, A.Z. (1997). Forecasting monthly electric energy consumption in eastern Saudi Arabia using univariate time-series analysis. *Energy*, 22(11), 1059-1069.

ACC International. (1999). *Approved Methods of Analysis*, 11th Ed. AACC International, St. Paul, MN, U.S.A. Recuperado de: <http://www.aaccnet.org/about/>

AETC (2015). Encuesta de calidad de los trigos españoles. *Asociación Española de Técnicos Cerealistas*. Recuperado de: <http://www.aetc.es/>

AFNOR. (2002). Association Française de Normalisation.

An, X., Li, Q., Yan, Y., Xiao, Y., Hsam, S.L.K. & Zeller, F.J. (2005). Genetic diversity of European spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. em. Thell.) revealed by glutenin subunits variation at the *Glu-1* and *Glu-3* loci. *Euphytica*, 146, 193-201.

Appelbee, M. J., Mekuria, G. T., Nagasandra, V., Bonneau, J. P., Eagles, H. A., Eastwood, R. F., & Mather, D. E. (2009). Novel allelic variants encoded at the *Glu-D3* locus in bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 254-261.

Avivi, L.Y.D.I.A. (1978). High grain protein content in wild tetraploid wheat *Triticum dicoccoides* Korn. In Proc. 5th Int. *Wheat Genetics Symposium*. New Delhi .Vol.1, pp. 372-380.

Axford, D.W.E., McDermott, E. E., & Redman, D. G. (1978). Small scale tests of bread making quality. *Milling Feed Fert.*

Bagulho, A.S., Muacho, M.C., Carrillo, J.M., & Brites, C. (2003). Influence of glutenin and puroindoline composition in the quality of bread wheat varieties commercialized in Portugal. In: *Proc. Of 8th International Gluten Workshop*, D. Lafriandra, S. Masci & R. D'Ovidio (eds). RSC, Vambridge, UK, pp. 113-116.

Bojňanská, T., & Frančáková, H. (2002). The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications. *Rostlinná Výroba*, 48(4), 141-147.

Bonafaccia, G., Galli, V., Francisci, R., Mair, V., Skrabanja, V., & Kreft, I. (2000). Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chemistry*, 68(4), 437-441.

Branlard, G., & Dardevet, M. (1985). Diversity of grain proteins and bread wheat quality: I. Correlation between gliadin bands and flour quality characteristics. *Journal of Cereal Science*, 3(4), 345-354.

Bibliografía

- Branlard, G., Pierre, J., & Rousset, M. (1992). Selection indices for quality evaluation in wheat breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 84(1-2), 57-64.
- Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R., Lagoutte, F., & Gourdon, J. (2001). Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. In *Wheat in a global environment*, pp. 157-169. Springer Netherlands.
- Branlard, G., Dardevet, M., Amiour, N., & Igrejas, G. (2003). Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50(7), 669-679.
- Brites, C., Bagulho, A.S., Rodríguez Quijano, M., & Carrillo, J.M. (2000). Effects of HMW glutenin subunits on some quality parameters of Portuguese landraces of *Triticum aestivum* ssp. *vulgare*. In *Wheat gluten. Proceedings of the 7th International Workshop Gluten 2000, Bristol, UK, 2-6 April 2000*. (pp. 55-60). Royal Society of Chemistry.
- Bushuk, W. (1986). Wheat: Chemistry and uses. *Cereal Foods World*, 31, 218-226.
- Butow, B., Ma, W., Gale, K., Cornish, G., Rampling, L., Larroque, O., Morell, M., & Békés, F. (2003). Molecular discrimination of Bx7 alleles demonstrates that a highly expressed high-molecular-weight glutenin allele has a major impact on wheat flour dough strength. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(8), 1524-1532.
- Butow, B., Gale, K., Ikea, J., Juhasz, A., Bedö, Z., Tamas, L., & Gianibelli, M. (2004). Dissemination of the highly expressed Bx7 glutenin subunit (*Glu-B1 al* allele) in wheat as revealed by novel PCR markers and RP-HPLC. *Theoretical and Applied Genetics*, 109(7), 1525-1535.
- Caballero, L., Martín, L. M., & Álvarez, J.B. (2001). Allelic variation of the HMW glutenin subunits in Spanish accesions of spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L. em. Thell.). *Theoretical and Applied Genetics*, 103(1), 124-128.
- Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H.J., Özkan, H. (2004). *Triticum dicoccoides*: An important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(7), 1047-1054.
- Callejo, M.J. (2011). Present situation on the descriptive sensory analysis of bread. *Journal of Sensory Studies*, 26(4), 255-268.
- Carrillo, J.M. (2012). La mejora genética y la diversidad cultivada en trigo. En: *La agrodiversidad como fuente de beneficio*, Simó Cruayes, J., Casañas Artigas, F. (Ed.), 3º Seminario Int. Sobre Agrodiversidad como estrategia para el mantenimiento del territorio. Barcelona: Fundació d'Estudis Superiors d'Olot (pp. 51-65).

- Chen, F., He, Z., Xia, X., Xia, L., Zhang, X., Lillemo, M., & Morris, C. (2006). Molecular and biochemical characterization of puroindoline *a* and *b* alleles in Chinese landraces and historical cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*, 112(3), 400-409.
- Cho, I.H., Peterson, D.G. (2010). Chemistry of bread aroma: a review. *Food Science and Biotechnology*, 19(3), 575-582.
- CIC (2015). Consejo Internacional de Cereales. *Informe mercado de cereales*. Recuperado de: <http://www.igc.int/es/>
- CIE (1986). *Colorimetry*. Publication CIE no 15.2, Vienna.
- CONCEREAL (2016). Consultores cerealistas. Recuperado de: <http://www.concereal.es/>
- Cornish, G., BurrIDGE, P., Palmer, G., & Wrigley, C. (1993). Mapping the origins of some HMW and LMW glutenin subunit alleles in Australian wheat germplasm. In *Proc. Aust. Cereal Chem. Conf., 43rd. CW Wrigley, ed. R. Aust. Chem. Inst.: Melbourne* (pp. 255-260).
- Cornish, G., Békés, F., Eagles, H.A., Payne, P., Wrigley, C., Bushuk, W. (2006). Prediction of dough properties for bread wheats. *Gliadin and Glutenin. The Unique Balance of Wheat Quality*, 243-280.
- Czerny, M., Schieberle, P. (2002). Important aroma compounds in freshly ground wholemeal and white wheat flour. Identification and quantitative changes during sourdough fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), 6835-6840.
- De Bustos, A., Rubio, P., Soler, C., García, P., & Jouve, N. (2001). Marker assisted selection to improve HMW-glutenins in wheat. In *Wheat in a Global environment* (pp. 171-176). Springer Netherlands.
- Delcour, J.A., Joye, I.J., Pareyt, B., Wilderjans, E., Brijs, K., & Lagrain, B. (2012). Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annual review of food science and technology*, 3, 469-492.
- Dewettink, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 243-257.
- Dick, J.W., & Quick, J.S. (1983). A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chemistry*, 60, 315-318.
- D'Ovidio, R., & Masci, S. (2004). The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. *Journal of Cereal Science*, 39(3), 321-339.
- Eagles, H.A., Eastwood, R.F., Hollamby, G.J., Martín, E.M., & Cornish, G.B. (2004a). Revision of estimates of glutenin gene effects as the *Glu-B1* locus from southern Australian

Bibliografía

- wheat breeding programs. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55, 1093-1096.
- ECPGR, European Cooperative Programme for Plant Genetic Resources European Wheat Database. Recuperado de: <http://genbank.vurv.cz/ewdb/>
- Elia, M., Moralejo, M., Rodríguez-Quijano, M., & Molina-Cano, J.L. (2004). Spanish spelt: a separate gene pool within the spelt germplasm. *Plant breeding*, 123(3), 297-299.
- Elia, M. (2007). Estudios previos a la mejora genética de las escanda (*Triticum spelta* L.) uso de la colección española. Tesis doctoral.
- Elia, M. (2011). A procedure for sensory evaluation of bread: protocol developed by a trained panel. *Journal of Sensory Studies*, 26(4), 269-277.
- Espí, A., Giraldo, P., Rodríguez-Quijano, M., & Carrillo, J.M. (2012). A PCR-based method for discriminating between high molecular weight glutenin subunits Bx7 and Bx7* in *Triticum aestivum* L. *Plant Breeding*, 131(5), 571-573.
- Espí A. (2013). Estudio molecular de gluteninas de alto y bajo peso molecular en *Triticum aestivum ssp. vulgare* L. y su relación con la calidad panadera. Tesis doctoral.
- Espí, A., Rodríguez-Quijano, M., Vázquez, J.F., Carrillo, J.M., Giraldo, P. (2014). Molecular characterization of *Glu-B3* locus in wheat cultivars and segregating populations. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 374-381.
- Fang, J., Liu, Y., Luo, J., Wang, Y., Shewry, P.R., & He, G. (2009). Allelic variation and genetic diversity of high molecular weight glutenin subunit in Chinese endemic wheats (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica*, 166(2), 177-182.
- FAO. (2015). Food and Agriculture Organization. Recuperado de: <http://faostat.fao.org/>
- Feldman, M., & Levy, A.A. (2005). Allopolyploidy - a shaping force in the evolution of wheat genomes. *Cytogenet Genome Res*, 109(1-3), 250-258.
- Feuillet, C., Langridge, P., & Waugh, R. (2008). Cereal breeding takes a walk on the wild side. *Trends in Genetics*, 24(1), 24-32.
- Filipčev, B., Šimurina, O., Bodroža-Solarov, M., & Obreht, D. (2013). Comparison of the bread-making performance of spelt varieties grown under organic conditions in the environment of northern Serbia and their responses to dough strengthening improvers. *Hemijska Industrija*, 67(3), 443-453.
- Forman, J., & Silverstein, J. (2012). Organic food: health and environmental advantages and disadvantages, 130(5), e1406-e1415.
- Gautier, M., Aleman, M., Guirao, A., Marion, D., Joudrier, P. (1994). *Triticum aestivum* puroindolines, two basic cystine-rich seed proteins: cDNA sequence analysis and developmental gene expression. *Plant Molecular Biology*, 25(1), 43-57.

- Gil, M. J., Callejo, M. J., Rodríguez, G., & Ruiz, M. V. (1999). Keeping qualities of white pan bread upon storage: effect of selected enzymes on bread firmness and elasticity. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und-Forschung A*, 208(5-6), 394-399.
- Giraldo, P., Rodríguez-Quijano, M., Simón, C., Vázquez, J.F., & Carrillo, J.M. (2010). Allelic variation in HMW glutenins in Spanish wheat landraces and their relationship with bread quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(4), 1012-1023.
- Giroux, M.J., & Morris, C.F. (1997). A glycine to serine change in puroindoline b is associated with wheat grain hardness and low levels of starch-surface friabilin. *Theoretical and Applied Genetics*, 95(5-6), 857-864.
- Giroux, M.J., & Morris, C.F. (1998). Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindoline *a* and *b*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(11), 6262-6266.
- Giroux, M.J., Talbert, L., Habernicht, D.K., Lanning, S., Hemphill, A., & Martin, J.M. (2000). Association of puroindoline sequence type and grain hardness in hard red spring wheat. *Crop Science*, 40(2), 370-374.
- Glamoclija, Đ., Jankovic, S., Popovic, V., Ugrenovic, V., Zekic, N., Ikanovic, J., & Rakic, S. (2013). Morphological and production characteristics of spelt wheat on the chernozem and degraded soil. In *Fourth International Scientific Symposium "Agrosym 2013", Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 3-6 October, 2013. Book of Proceedings*. (pp. 364-369). Faculty of Agriculture, University of East Sarajevo.
- Gobaa, S., Kleijer, G., & Stamp, P. (2007). 2*, a new high molecular weight glutenin subunit coded by *Glu-A1*: its predicted structure and its impact on bread-making quality. *Plant Breeding*, 126(1), 1-4.
- Gómez-Becerra, H.F., Erdem, H., Yazici, A., Tutus, Y., Torun, B., Ozturk, L., & Cakmak, I. (2010). Grain concentrations of protein and mineral nutrients in a large collection of spelt wheat grown under different environments. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 342-349.
- Graveland, A., Bosveld, P., Lichtendonk, W.J., Marseille, J.P., Moonen, J.H.E., & Scheepstra, A. (1985). A model for the molecular structure of the glutenins from wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 3(1), 1-16.
- Greenwell, P., & Schofield, J.D. (1986). A starch granule protein associated with endosperm softness in wheat. *Cereal Chemistry*, 63(4), 379-380.
- Grosch, W., & Schieberle, P. (1997). Flavor of cereal products: a review. *Cereal Chemistry*, 74 (2), 1-97.
- Gupta, R.B., Singh, N.K., & Shepherd, K.W. (1989). The cumulative effect of allelic variation in LMW and HMW glutenin subunits on dough properties in the progeny of two bread wheats. *Theoretical and Applied Genetics*, 77(1), 57-64.

Bibliografía

- Gupta, R.B., & Shepherd, K.W. (1990). Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutelin. *Theoretical and Applied Genetics*, 80(1), 65-74.
- Gupta, R.B., Bekes, F., & Wrigley, C.W. (1991). In Bread Wheats: Correlation Studies. *Cereal Chemistry*, 68(4), 328-333.
- Gupta, R.B., & MacRitchie, F. (1994). Allelic variation at glutenin subunit and gliadin loci, *Glu-1*, *Glu-3* and *Gli-1* of common wheats. II. Biochemical basis of the allelic effects on dough properties. *Journal of Cereal Science*, 19(1), 19-29.
- Hammed, A.M., & Simsek, S. (2014). Review: Hulled wheats: A review of nutritional properties and processing methods. *Cereal Chemistry*, 91(2), 97-104.
- Harsch, S., Günther, T., Rozynek, B., Hesemann, C.U., & Kling, C.I. (1997). Characterization of spelt (*Triticum spelta* L.) forms by gel electrophoretic analyses of seed storage proteins. I. The gliadins. *Theoretical and Applied Genetics*, 94(1), 52-60.
- Heenan, S.P., Dufour, J., Hamid, N., Harvey, W., & Delahunty, C.M. (2008). The sensory quality of fresh bread: descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Research International. Int.* 41(10), 989-997.
- Hidalgo, A., Brandolini, A., & Gazza, L. (2008). Influence of steaming treatment on chemical and technological characteristics of einkorn (*Triticum monococcum* L. ssp. *monococcum*) wholemeal flour. *Food chemistry*, 111(3), 549-555.
- Hoseney, R.C. (1985). The mixing phenomenon. *Cereal Foods World*, 30, 453-457.
- Hung, P.V., Maeda, T., Yamauchi, H., & Morita, N. (2005). Dough and breadmaking properties of various strong wheat grains cultivated in Japan. *Journal of Applied Glycoscience*, 52, 15-21.
- Ikeda, T., Branlard, G., Peña, R., Takata, K., Liu, L., He, Z., Lerner, S., Kolman, M., Yoshida, H., & Rogers, W. (2008). International collaboration for unifying *Glu-3* nomenclature system in common wheats. In: 11th International *Wheat Genetics Symposium proceedings*. Appels R, Eastwood R, Lagudah E, Langridge P, Mackay M (Eds.). Lynne, Sydney University Press, p. 130.
- Ikeda, T.M., Rogers, W.J., Branlard, G., Peña, R.J., Lerne, S.E., Arrigoni, A., Rudi Appels, W.M.A., Lukow, O., Hurkman, W., Appelbee, S., Carrillo, J.M., & He, E. (2013). Proposal of International Gluten Research Group. Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium, Yokohama, Japan. Yasunari Ogihara, Shige Takumi, Hirokazu Handa Editors. In: *Advances in Wheat Genetics: From Genome to Field*, pp: 279-285.
- ISO 6564 (1985). Sensory Analysis. Flavour Profile Methods. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 4121 (2003a). Sensory Analysis. Evaluation of Food Products by Methods Using Scales. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.

- ISO 13299 (2003b). Sensory Analysis. General Guidance to Establish a Sensory Profile. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 4120 (2004). Sensory Analysis. Triangular Test. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 5495 (2005). Sensory Analysis. Methodology. Paired Comparison Test. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 5496 (2006). Sensory Analysis. Initiation and Training of Assessors in the Detection and Recognition of Odours. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 8587 (2006). Sensory Analysis. Ranking. International Organization of Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 8589 (2007). Sensory Analysis. General Guidance for the Design of Test Rooms. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 3972 (2011). Sensory Analysis. Method for Investigating Sensitivity of Taste. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- ISO 8586 (2012). Sensory Analysis. General Guidance for the Selection, Training and Monitoring of Assessors. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- Jablonskytė Raščė, D., Maikštėnienė, S., & Mankevičienė, A. (2013). Evaluation of productivity and quality of common wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt (*Triticum spelta* L.) in relation to nutrition conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 100(1) 45–56.
- Jackson, E.A., Holt, L.M., Payne, P.I. (1983). Characterization of the high-molecular-weight gliadin and low-molecular-weight glutenin subunits of wheat endosperm by two-dimensional electrophoresis and the chromosomal location of their controlling genes. *Theoretical and Applied Genetics*, 66, 29-37.
- Jackson, E.A., Morel, M.H., Sontag Stroh, T., Branlard, G., Metakovsky, E.V., & Redaelli, R. (1996). Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3* loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Genetics & Breeding*, 50, 321-336.
- Jankovic, J., & Ikanovic, J. (2015). Morphological and productive traits of spelt wheat – *Triticum spelta* L. *Agriculture & Forestry*, 61(2), 173-182.
- Johnson, B.L. (1972). Seed protein profiles and the origin of the hexaploid wheats. *American Journal of Botany*, 59, 952-960.

Bibliografía

- Jolly, C.J., Glenn, G.M., & Rahman, S. (1996). GSP-1 genes are linked to the grain hardness locus (*Ha*) on wheat chromosome 5D. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(6), 2408-2413.
- Joppa, L.R., Cantrell, R.G. (1990). Chromosomal location of genes for grain protein-content of wild tetraploid wheat. *Crop Science*, 30, 1059-1064.
- Joppa, L.R., Du, C.H., Hart, G.E., & Hareladn, G.A. (1997). Mapping gene(s) for grain protein in tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) using a population of recombinant inbred chromosome lines. *Crop Science*, 37, 1586-1589.
- Joshi, P., & Brimelow, C.J.B. (2002). Colour measurement of foods by colour reflectance. *Colour in Foods: Improving Quality*. Woodhead, Cambridge, England, 80-114.
- Kasarda, D.D, King, G., & Kumosinski, T.F. (1994). Comparison of spiral structures in wheat high molecular weight glutenin subunits and elastin by molecular modeling, pp. 209–220. In *Computer Molecular Modelling*. Kumosinski TF and Liebman M (Eds.). American Chemical Society, Washington DC.
- Kaseleht, K., Leitner, E., & Paalme, T. (2011). Determining aroma-active compounds in Kama flour using SPME-GC/MS and GC–olfactometry. *Flavour and Fragrance Journal*, 26(2), 122-128.
- Katina, K. (2005a). Sourdough: a tool for the improved flavour, texture and shelf-life of wheat bread. *VTT Publications* 569.
- Katina, K., Arendt, E., Liukkonen, K. H., Autio, K., Flander, L., & Poutanen, K. (2005b). Potential of sourdough for healthier cereal products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(1), 104-112.
- Katina, K., Heiniö, R.L., Autio, K., & Poutanen, K. (2006). Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT-Food Science and Technology*, 39(10), 1189-1202.
- Kerfal S. (2008). Calidad harino-panadera en trigo blando (*T. aestivum*): influencia de las prolaminas y microsatélites relacionados. Tesis Doctoral.
- Kihlberg, I., Johansson, L., Kohler, A., & Risvik, E. (2004). Sensory qualities of whole wheat pan bread—influence of farming system, milling and baking technique. *Journal of Cereal Science*, 39(1), 67-84.
- Kihlberg, I., Öström, A., Johansson, L., & Risvik, E. (2006). Sensory qualities of plain white pan bread: Inflence of farming system, year of harvest and baking technique. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 15-30.
- Kohajdová, Z., & Karovičová, J. (2008). Nutritional value and baking applications of spelt wheat. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment*, 7(3), 5-14.

- Kohajdová, Z., & Karovičová, J. (2009). Application of hydrocolloids as baking improvers. *Chemical Papers*, 63(1), 26-38.
- Labuschagne, M.T., Claassen, A., & Van Deventer, C.S. (1997). Biscuit-making quality of backcross derivatives of wheat differing in kernel hardness. *Euphytica*, 96, 263-266.
- Lafiandra, D., Benedettelli, S., Margiotta, B., & Porceddu, E. (1989). Chromosomal location of gliadin coding genes in *T. aestivum* ssp. *spelta* and evidence on the lack of components controlled by *Gli-2* loci in wheat aneuploids. *Theoretical and Applied Genetics*, 78(2), 177-183.
- Lafiandra, D., D'ovidio, R., Porceddu, E., Margiotta, B., & Colaprico, G. (1993). New data supporting high M r glutenin subunit 5 as the determinant of quality differences among the pairs 5+ 10 vs. 2+12. *Journal of Cereal Science*, 18(2), 197-205.
- Lang, L. (2006). Improvement of protein content and adaptation of winter barley, triticale and spelt for organic farming. In: Bedo, Z., Kovács, G. (Eds.), *Organic Breeding and Farming of Cereals*. Agroinform Publishing House, Budapest, pp. 88-92.
- Lassoued, N., Delarue, J., Launay, B., & Michon, C. (2008). Baked product texture: Correlations between instrumental and sensory characterization using Flash Profile. *Journal of Cereal Science*, 48(1), 133-143.
- Laureati, M., Giussani, B., & Pagliarini, E. (2012). Sensory and hedonic perception of gluten-free bread: Comparison between celiac and non-celiac subjects. *Food Research International*, 46(1), 326-333.
- Lei, Z.S., Gale, K.R., He, Z.H., Gianibelli, C., Larroque, O., Xia, X.C., & Ma, W. (2006). Y-type gene specific markers for enhanced discrimination of high-molecular weight glutenin alleles at the *Glu-B1* locus in hexaploid wheat. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 94-101.
- Lew, E.J.L., Kuzmicky, D.D., & Kasarda, D.D. (1992). Characterization of low molecular weight glutenin subunits by reversed-phase high-performance liquid chromatography, sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis, and N-terminal amino acid sequencing. *Cereal Chemistry*, 69, 508-508.
- Lillemo, M., & Morris, C.F. (2000). A leucine to proline mutation in puroindoline b is frequently present in hard wheats from Northern Europe. *Theoretical and Applied Genetics*, 100(7), 1100-1107.
- Lindsay, M.P., & Skerrett, J.H. (1999). The glutenin macropolymer of wheat flour doughs: structure–function perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 10(8), 247-253.
- Liu, L., Ikeda, T.M., Branlard, G., Peña, R.J., Rogers, W.J., Lerner, S.E., & Appels, R. (2010). Comparison of low molecular weight glutenin subunits identified by SDS-PAGE, 2-DE, MALDI-TOF-MS and PCR in common wheat. *BMC Plant Biology*, 10(1), 124.

Bibliografía

- Lucas R. (2008). Prolaminas, proteínas waxy y puroindolinas en trigo blando: herencia, influencia e interacción en la calidad. Tesis Doctoral.
- Ma, W., Zhang, W., & Gale, K.R. (2003). Multiplex-PCR typing of high molecular weight glutenin alleles in wheat. *Euphytica*, 134(1), 51-60.
- MacRitchie, F., & Lafiandra, D. (1997). Structure-functionality relationships of wheat proteins. In: *Food proteins and their applications*. S. Damodaran, A. Paraf, eds. Marcel Dekker, Inc., New York, pp: 293-324.
- MAGRAMA (2015). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.magrama.gob.es/es/>
- MAGRAMA (2016). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.magrama.gob.es/es/>
- Marchylo, B.A., & Kruger, J.E. (1982). Separation of wheat α -amylase isoenzymes by chromatofocusing. In: *Proceedings of the Third International Symposium on Preharvest Sprouting Damage in Cereals*.
- Marconi, U. M. B., & Tarazona, P. (1999). Dynamic density functional theory of fluids. *The Journal of Chemical Physics*, 110(16), 8032-8044.
- McFadden, E. S., & Sears, E. R. (1946). The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploid relatives. *Journal of Heredity*, 37(4), 107-116.
- McIntosh, R.A., Devos, K.M., Dubcovsky, J., Rogers, W.J., Morris, C.F., Appels, R., Somers, D.J., & Anderson, O.A. (2008). *Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2008 Supplement*. Recuperado de: <http://wheat.pw.usda.gov>
- McIntosh, R.A., Dubcovsky, J., Rogers, W.J., Morris, C., Appels, R., & Xia, X.C. (2011). *Catalogue of Gene Symbols for Wheat: 2011 Supplement*. Recuperado de: <http://wheat.pw.usda.gov>
- Metakovsky, E.V., Akhmedov, M.G., & Sozinov, A.A. (1986). Genetic analysis of gliadin-encoding genes reveals gene clusters as well as single remote genes. *Theoretical and Applied Genetics*, 73(2), 278-285.
- Metakovsky, E.V., Annicchiarico, P., Boggini, G.E., & Pogna, N.E. (1997). Relationship between gliadin alleles and dough strength in Italian bread wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 25(3), 229-236.
- Mikos, M., & Podolska, G. (2012). Bread-making quality of old common bread (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L.) and spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) wheat cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(3), 221-224.
- Morgunov, A.I., Peña, R.J., Crossa, J., & Rajaram, S. (1993). Worldwide distribution of *Glu-1* alleles in bread wheat. *Journal of Genetics & Breeding*, 47: 53-60.

- Morris, C.F., Greenblatt, G.A., Bettge, A.D., & Malkawi, H. I. (1994). Isolation and characterization of multiple forms of friabilin. *Journal of Cereal Science*, 20(2), 167-174.
- Morris, C.F. (2002). Puroindolines: the molecular genetic basis of wheat grain hardness. *Plant Molecular Biology*, 48(5-6), 633-647.
- Nakamura, H. (2001). Genetic diversity of high-molecular-weight glutenin subunit compositions in landraces of hexaploid wheat from Japan. *Euphytica*, 120(2), 227-234.
- Ng, P.K.W., Pogna, N.E., Mellini, F., & Bushuk, W. (1989). *Glu-1* allele compositions of the wheat cultivars registered in Canada. *Journal of Genetics & Breeding*, 43, 53-59.
- Nieto-Taladriz, M.T., & Carrillo, J.M. (1996). Complexity of the *Gli-A3* locus in bread wheat. *Plant Breeding*, 115(3), 192-194.
- Nieto-Taladriz, M.T., Rodríguez-Quijano, M., & Carrillo, J. M. (1998). Biochemical and genetic characterisation of a D glutenin subunit encoded at the *Glu-B3* locus. *Genome*, 41(2), 215-220.
- Oda, S. (1994). Two dimensional electrophoretic analysis of friabilin. *Cereal Chemistry*, 71, 394-395.
- Olmos, S., Distelfeld, A., Chicaiza, O., Schlatter, A. R., Fahima, T., Echenique, V., & Dubcovsky, J. (2003). Precise mapping of a locus affecting grain protein content in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(7), 1243-1251.
- Ortiz-Escobar, M.E., & Hue, N.V. (2007). Current developments in organic farming. *Recent Research Developments in Soil Science*, 2, 29-62.
- Osborne, T.B. (1907). The proteins of the wheat kernel (No. 84). Carnegie institution of Washington.
- Pasqualone, A., Piergiovanni, A. R., Caponio, F., Paradiso, V. M., Summo, C., & Simeone, R. (2011). Evaluation of the technological characteristics and bread-making quality of alternative wheat cereals in comparison with common and durum wheat. *Food Science and Technology International*, 1082013210381547.
- Payne, P.I., Corfield, K.G., & Blackman, J.A. (1979). Identification of a high-molecular-weight subunit of glutenin whose presence correlates with bread-making quality in wheats of related pedigree. *Theoretical and Applied Genetics*, 55(3-4), 153-159.
- Payne, P.I., Holt, L.M., Worland, A.J., & Law, C.N. (1982). Structural and genetical studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin. *Theoretical and Applied Genetics*, 63(2), 129-138.

Bibliografía

- Payne, P.I., & Lawrence, G.J. (1983). Catalogue of alleles for the complex gene loci, *Glu-A1*, *Glu-B1*, and *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Research Communications*, 11(1), 29-35.
- Payne, P.I., Jackson, E.A., Holt, L.M., & Law, C.N. (1984). Genetic linkage between endosperm storage protein genes on each of the short arms of chromosomes 1A and 1B in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 67(2-3), 235-243.
- Payne, P.I. (1987a). Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. *Annual Review of Plant Physiology*, 38(1), 141-153.
- Payne, P.I., Nightingale, M.A., Krattiger, A.F., & Holt, L.M. (1987b). The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 40(1), 51-65.
- Payne, P.I., Seekings, J.A., Worland, A.J., Jarvis, M.G., & Holt, L.M. (1987). Allelic variation of glutenin subunits and gliadins and its effect on breadmaking quality in wheat: Analysis of F₅ progeny from Chinese Spring × Chinese Spring (Hope 1A). *Journal of Cereal Science*, 6(2), 103-118.
- Payne, P.I., Holt, L.M., Krattiger, A.F., & Carrillo, J.M. (1988). Relationships between seed quality characteristics and HMW glutenin subunit composition determined using wheats grown in Spain. *Journal of Cereal Science*, 7(3), 229-235.
- Pogna, N.E., & Mellini, F. (1986). Alla ricerca delle basi biochimiche e genetiche della qualità del glutine. Campagna granaria 1986: l'intensificazione culturale. *Informatore Agrario*.
- Pogna, N.E., Mellini, F., Beretta, A.M., Dal Belin Peruffo, A. (1989). The HMW-GS of common wheat cultivars grown in Italy. *Journal of Genetics & Breeding*, 43, 17-24.
- Pogna, N.E., Autran, J.C., Mellini, F., Lafiandra, D., & Feillet, P. (1990). Chromosome 1B-encoded gliadins and glutenin subunits in durum wheat: genetics and relationship to gluten strength. *Journal of Cereal Science*, 11(1), 15-34.
- Pogna, N.E., Metakovsky, E.V., Redaelli, R., Raineri, F., & Dachkevitch, T. (1993). Recombination mapping of *Gli-5*, a new gliadin-coding locus on chromosomes 1A and 1B in common wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 87(1-2), 113-121.
- Pozo Bayón, M.A., Guichard, E., & Cayot, N. (2006). Flavor control in baked cereal products. *Food Reviews International*, 22(4), 335-379.
- Pruska Kedzior, A., Kedzior, Z., & Klockiewicz Kaminska, E. (2008). Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *European Food Research and Technology*, 227(1), 199-207.
- RAE (2001). *Diccionario de la Real Academia Española*. 22ª edición.

- Ragupathy, R., Naeem, H.A., Reimer, E., Lukow, O. M., Sapirstein, H.D., & Cloutier, S. (2008). Evolutionary origin of the segmental duplication encompassing the wheat *GLU-B1* locus encoding the overexpressed Bx7 (Bx7OE) high molecular weight glutenin subunit. *Theoretical and Applied Genetics*, 116(2), 283-296.
- Rahman, S., Jolly, C.J., Skerriitt, J.H., & Walloscheck, A. (1994). Cloning of a wheat 15-kDa grain softness protein (GSP). *European Journal of Biochemistry*, 223(3), 917-925.
- Rahman, S., Li, Z., Batey, I., Cochrane, M.P., Appels, R., & Morell, M. (2000). Genetic alteration of starch functionality in wheat. *Journal of Cereal Science*, 31(1), 91-110.
- Rasheed, A., Xia, X., Yan, Y., Appels, R., Mahmood, T., & He, Z. (2014). Wheat seed storage proteins: Advances in molecular genetics, diversity and breeding applications. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 11-24.
- Redaelli, R., Pogna, N.E., Dachkevitch, T., Cacciatori, P., Biancardi, A.M., & Metakovsky, E.V. (1992). Inheritance studies of the 1AS/1DS chromosome translocation in the bread wheat variety Perzivan-1. *Journal of Genetics & Breeding*, 46, 253-253.
- Rodríguez-Quijano, M., Vázquez, J.F., & Carrillo, J.M. (1990). Variation of high molecular weight glutenin subunits in Spanish landraces of *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* and ssp. *spelta*. *Journal of Genetics & Breeding*, 44(2), 121-126.
- Rodríguez-Quijano, M., & Carrillo, J.M. (1996a). Relationship between allelic variation of *Glu-1* and *Gli-1/Glu-3* prolamin loci and gluten strength in hexaploid wheat. *Euphytica*, 91(2), 141-148.
- Rodríguez-Quijano, M., Nieto Taladriz, M.T., & Carrillo, J.M. (1996b). Linkage mapping of prolamin and isozyme genes on the 1S¹ chromosome of *Aegilops longissima*. *Theoretical and Applied Genetics*, 93(1-2), 295-299.
- Rodríguez-Quijano, M., Vázquez, J.F., Moita-Brites, C., & Carrillo, J.M. (1998). Allelic variation of HMW glutenin subunits in Portuguese landraces of *Triticum aestivum* ssp. *vulgare*. *Journal of Genetics & Breeding*, 52, 95-98.
- Rogers, W.J., Payne, P.L., Seekings, & J.A., Sayers, E.J. (1991). Effect on breadmaking quality of x-type and y-type high molecular weight subunits of glutenin. *Journal of Cereal Science*, 14, 209-221.
- Ruibal-Mendieta, N.L., Delacroix, D. L., Mignolet, E., Pycke, J.M., Marques, C., Rozenberg, R., & Delzenne, N.M. (2005). Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) as a source of breadmaking flours and bran naturally enriched in oleic acid and minerals but not phytic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7), 2751-2759.
- Salmenkallio-Marttila, M., Roininen, K., & Autio, K. (2008). Effects of gluten and transglutaminase on microstructure, sensory characteristics and instrumental texture of oat bread. *Agricultural and Food Science*, 13(1-2), 138-150.

Bibliografía

- SAS Institute Inc. (1996). The SAS system for Windows. 6.12 edition. SAS Institute Inc. (Ed.). Cary NC. U.S.A.
- Schober, T.J., Bean, S.R., & Kuhn, M. (2006). Gluten proteins from spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) cultivars: A rheological and size-exclusion high-performance liquid chromatography study. *Journal of Cereal Science*, 44(2), 161-173.
- Shewry, P.R., Halford, N.G., & Tatham, A.S. (1989). High molecular weight subunits of wheat, barley and rye: genetics, molecular biology, chemistry and role in wheat gluten structure and functionality. *Oxford Surveys of Plant Molecular and Cell Biology*.
- Shewry, P.R., Halford, N.G., & Tatham, A.S. (1992). High molecular weight subunits of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science*, 15(2), 105-120.
- Shewry, P.R., Halford, N.G., & Lafiandra, D. (2003). Genetics of wheat gluten proteins. *Advances in Genetics*, 49, 111-184.
- Shewry, P.R. (2007). Improving the protein content and composition of cereal grain. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 239-250.
- Siedler, H., Messmer, M. M., Schachermayr, G.M., Winzeler, H., Winzeler, M., & Keller, B. (1994). Genetic diversity in European wheat and spelt breeding material based on RFLP data. *Theoretical and Applied Genetics*, 88(8), 994-1003.
- Singh, N.K., & Shepherd, K.W. (1988). Linkage mapping of genes controlling endosperm storage proteins in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 75(4), 628-641.
- Singh, N.K., Shepherd, K.W., & Cornish, G.B. (1991). A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *Journal of Cereal Science*, 14(3), 203-208.
- Sourdille, P., Perretant, M.R., Charmet, G., Leroy, P., Gautier, M.F., Joudrier, P., Nelson, J.C., Sorrells, M.E., & Bernard, M. (1996). Linkage between RFLP markers and genes affecting kernel hardness in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 93, 580-586.
- Sozinov, A.A., & Poperelya, F.A. (1980). Genetic classification of prolamines and its use for plant breeding. In *Annales de Technologie Agricole*, 29(2), 229-245.
- Sozinov, A.A., & Poperelya, F.A. (1982). Polymorphism of prolamins and variability of grain quality. *Plant Foods for Human Nutrition*, 31(3), 243-249.
- Sreeramulu, G., & Singh, N.K. (1997). Genetic and biochemical characterization of novel low molecular weight glutenin subunits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genome*, 40(1), 41-48.
- Starr, G., Bredie, W.L.P., & Hansen, Å.S. (2013). Sensory profiles of cooked grains from wheat species and varieties. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 295-303.

- Tatham, A.S., Field, J.M., Smith, S.J., & Shewry, P.R. (1987). The conformations of wheat gluten proteins, II, aggregated gliadins and low molecular weight subunits of glutenin. *Journal of Cereal Science*, 5(3), 203-214.
- Thiele, R. (2003). Price Incentives, Non-price Factors and Agricultural Production in Sub-Saharan Africa: A Cointegration Analysis. *African Development Review*, 15(2-3), 425-438.
- Tohver, M. (2007). High molecular weight (HMW) glutenin subunit composition of some Nordic and Middle European wheats. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(1), 67-81.
- Tranquilli, G., Heaton, J., Chicaiza, O., & Dubcovsky, J. (2002). Substitutions and deletions of genes related to grain hardness in wheat and their effect on grain texture. *Crop Science*, 42(6), 1812-1817.
- Uauy, C., Distelfeld, A., Fahima, T., Blechl, A., & Dubcovsky, J. (2006). A NAC gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. *Science*, 314(5803), 1298-1301.
- Vawser, M., Cornish, G.B., & Shepherd, K.W. (2002). Rheological dough properties of Aroona isolines differing in glutenin subunit composition. *Cereals*, 52, 53-58.
- Vilanova, M., Masa, A., Tardaguilla, J. (2009). Evaluation of the aroma descriptors variability in Spanish grape cultivars by a quantitative descriptive analysis. *Euphytica*, 165, 383-389.
- Wieser, H., Bushuk, W., & MacRitchie, F. Wrigley, C., Békés, F. & Bushuk, W. (Ed.) (2006). The polymeric glutenins. In *Gliadin and Glutenin: The Unique Balance of Wheat Quality*, 213-240.
- Wilson, J.D., Bechtel, D.B., Wilson, G.W.T., Seib, P.A. (2008). Bread quality of spelt wheat and its starch. *Cereal Chemistry*, 85, 629-638.
- Wrigley, C.W., Robinson, P.J., & Williams, W.T. (1982). Associations between individual gliadin proteins and quality, agronomic and morphological attributes of wheat cultivars. *Crop and Pasture Science*, 33(3), 409-418.
- Wrigley, CW. (1994). Developing better strategies to improve grain quality for wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 45, 1- 17.
- Yan, Y., Hsam, S.L.K., Yu, J.Z., Jiang, Y., Ohtsuka, I., & Zeller, F.J. (2003). HMW and LMW glutenin alleles among putative tetraploid and hexaploid European spelt wheat (*Triticum spelta* L.) progenitors. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(7), 1321-1330.
- Zanetti, S., Winzeler, M., Feuillet, C., Keller, B., & Messmer, M. (2001). Genetic analysis of bread-making quality in wheat and spelt. *Plant Breeding*, 120(1), 13-19.

Bibliografía

Zhao, F.J., Su, Y.H., Dunham, S.J., Rakszegi, M., Bedo, Z., McGrath, S.P., & Shewry, P.R. (2009). Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 290-295.

ANEXOS

PUBLICACIONES

Selection, training and validation process of a sensory panel for bread analysis: Influence of cultivar on the quality of breads made from common wheat and spelt wheat

María Jesús Callejo ^{a,*}, María-Eugenia Vargas-Kostiuk ^a, Marta Rodríguez-Quijano ^b

^a Department of Food Technology, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain

^b Unit of Genetics, Department of Biotechnology, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 June 2014

Received in revised form

22 September 2014

Accepted 26 September 2014

Available online 24 November 2014

Keywords:

Wheat bread

Spelt wheat

Sensory analysis

Training protocol

ABSTRACT

A protocol of selection, training and validation of the members of the panel for bread sensory analysis is proposed to assess the influence of wheat cultivar on the sensory quality of bread. Three cultivars of bread wheat and two cultivars of spelt wheat organically-grown under the same edaphoclimatic conditions were milled and baked using the same milling and baking procedure. Through the use of triangle tests, differences were identified between the five breads. Significant differences were found between the spelt breads and those made with bread wheat for the attributes “crumb cell homogeneity” and “crumb elasticity”. Significant differences were also found for the odor and flavor attributes, with the bread made with ‘Espelta Navarra’ being the most complex, from a sensory point of view. Based on the results of this study, we propose that sensory properties should be considered as breeding criteria for future work on genetic improvement.

© 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The suitability for bread-making of a particular variety of wheat is determined mainly by its genetic make-up. A wheat variety is more suitable for bread-making when the ability of its proteins to form the dimensional networks of gluten during kneading is greater. Environmental factors, such as nitrogen fertilization, water and temperature influence protein content. By contrast, protein quality is largely under genetic control.

Currently, about 95% of the wheat grown worldwide is allohexaploid bread wheat (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* L., genome AABBDD, $2n = 6x = 42$), while small amounts of other wheat species (einkorn, emmer, spelt) are still grown in some regions including Spain, Turkey, the Balkans and the Indian subcontinent.

Spelt wheat (*T. aestivum* ssp. *spelta*) is one of the husked hexaploid wheats that possesses the same genomes as bread wheat. Spelt has received interest in the last 20–30 years due to its high nutritional potential and suitability for low-input farming systems.

It has a lower yield and its long straw makes it susceptible to lodging (stem breakage), especially if too much nitrogen fertilizer is applied. Furthermore, as spelt is a hulled grain, a de-hulling step prior to milling is required. The recent renaissance of spelt as a niche product may be due to the perception that it is a ‘healthier’, more ‘natural’, or less ‘over-bred’ grain than modern wheat (Pruska-Kedzior et al., 2008).

Some authors have shown that spelt possesses a high nutritional potential due to its protein content and composition, as well as its lipids and crude fiber (Kohajdová and Karovicová, 2008). Spelt and common wheat gluten represent convenient natural models of gluten structures, differing significantly in their elementary building blocks, i.e. gliadins and glutenin subunits and Gli/Glu ratio. Spelt gluten tends to be more extensible and less elastic than modern wheat gluten, giving the typical, weaker spelt doughs (Kohajdová and Karovicová, 2008; Pruska-Kedzior et al., 2008), which are often too soft and sticky after kneading.

For this reason, baking procedures used for wheat flour breads cannot be applied directly to spelt flours. Differing experimental results on sensorial and instrumental analysis regarding spelt bread quality can be explained not only by differences in baking procedures, but also by the genetic material used (Cubadda and Marconi, 2002). The technological behavior of pure spelt cultivars or lines, for example, is radically different from that of varieties from spelt and wheat.

Abbreviations: Cer, Cereal; Coh, Cohesiveness; Dmd, crumb darkness; Dst, crust darkness; El, Crumb elasticity; Fir, Crumb firmness; Halv, Crumb cells homogeneity; IOCmb, Intensity of overall crumb flavor; IOCst, Intensity of overall crust flavor; Lac, lactic; Lico, licorice; Mst, Moistness bread crumb; Nalv, Crumb cells number; Nut, nutty; Pl, plum; So, Sourness; Sw, sweetness; To, toasted; Van, vanilla; Ye, yeasty.

* Corresponding author. Tel./fax: +34 91 336 5745.

E-mail address: mj.callejo@upm.es (M.J. Callejo).

Table 1

Sensory evaluation: methodology, objectives and material.

Phase	Methodology	Objectives	Test code	Material
Selection	Method of Investigating sensitivity of taste (ISO 3972, 2011)	Recognizing basic tastes	S1/Tastes	- 50 ml plastic cups with solutions of 5 basic tastes. Crystallized citric acid (monohydrated)/(0.43 g/l), - Crystallized caffeine (monohydrated)/(0.195 g/l), - Anhydrous sodium chloride/(1.19 g/l), - Sucrose/(5.76 g/l), -Anhydrous sodium glutamate/(0.595 g/l), Neutral water
		Familiarization with different threshold types	S2/Tastes	- 50 ml of each sample for each dilution in plastic cups,- Crystallized citric acid (monohydrated),- Crystallized caffeine (monohydrated),- Anhydrous sodium chloride,- Sucrose, Neutral water
		Identification of bread odors	S3/Odors	Screw-top glass jars covered in aluminum foil with 40 g of grated bread (Brand: Hacendado) to which were added different concentrations of substances that allowed the identification of the following aromas (per sample): shelled walnuts (6 g),- crushed aniseed (0.05 g),- Skimmed milk powder (Brand: Central Lechera Asturiana) (15 g),- Licorice (4 g),- Chopped and crushed vanilla pods (0.15 g),- Prunes (Brand: Hacendado) (2 g),- Compressed yeast (Brand: Lesaffre) (5 g),- Grated roasted crust bread (4 g),- Honey (Honey sweets, Brand: Pajuelo) (2 crushed sweets).
	Ranking (ISO 8587, 2006)	Ordering samples according to specified criteria	S4/Crust darkness S5/Crumb firmness S6/Crumb elasticity	Assessors presented with 4 loaves (par-baked, Brand: Mercadona) that had been baked in a BOSCH domestic oven for different periods of time: 17 min, 22 min, 30 min, 40 min Five commercial breads were used that had previously been evaluated for crumb firmness and elasticity with a texturometer: Sourdough seed bread (Brand: Panflor),- Round white loaf (Brand: Panflor),- Frozen pre-baked rustic loaf (Brand: Hacendado), Rye loaf (Brand: La tahona de Humilladero),- White tin loaf (Brand: Bimbo)
Training	Paired comparison test (ISO 5495, 2005)	Define vocabulary and acquire familiarity with the definitions and scale.	T1/Crumb firmness	- Rye bread (Brand: La tahona de humilladero) (high crumb firmness) and "spanish pistola" bread (low crumb firmness)
			T2/Crumb elasticity	- Two samples of white tin loaf (Brand: Bimbo), one of which (low elasticity) was kept in a refrigerator to enhance starch retrogradation, which results in the loss of elasticity.
			T3/Moistness bread crumb	- "Spanish candeal" bread, with low humidity and Artisan style loaf (Brand: Panflor) with high humidity
			T4/Cohesiveness	- Toasted bread (Brand: Diatosta Mini grill) (low cohesiveness) and "spanish candeal" bread (high cohesiveness)
			T5/Crumb cells number	"Spanish pistola" bread (low crumb cell number) and "spanish candeal" bread (high crumb cell number)
			T6/Crumb cells homogeneity	Ciabatta bread (low crumb cells homogeneity) and "spanish candeal" bread (high crumb cells homogeneity)
			T7/Lactic odor and flavor in the crumb	"Spanish pistola" bread (low lactic odor and flavor in the crumb) and Lactic sourdough bread (high lactic odor and flavor in the crumb)
			T8/Acetic odor and flavor in the crumb	- "Spanish pistola" bread (low acetic odor and flavor in the crumb) Acetic sourdough bread (high acetic odor and flavor in the crumb)
Validation	Triangle test (ISO 4120, 2004)	Identify the discriminating capacity, repeatability and reproducibility for each panelist	V1: A vs B V2: A vs D V3: C vs B	Acetic and lactic flavor
			V4: E vs F V5: F vs G V6: E vs G	Appearance and texture attributes

4 different breads with the same ingredients varying the quality of the sourdough and conditions of fermentation: A: baker's yeast; B: baker's yeast and acetic sourdough; C: baker's yeast and lactic sourdough; D: acetic sourdough
3 different breads made with the same protocol but with different flours: E: wholemeal wheat bread; F: wholemeal spelt bread; G: wholemeal rye bread

Sensory evaluation of sample breads	Triangle test (ISO 4120, 2004)	Assess whether there are differences between the 5 breads by comparing 2 breads at a time	Evaluate sensory attributes of bread	Flavor profile methods (ISO 6564, 1985) Evaluation of food products by methods using scales (ISO 4121, 2003)	E1: 'Bonpain' vs 'Sensas'	Samples: 'Bonpain', 'Espelta Álava', 'Sensas', 'Espelta Navarra' and 'Cracklin' bread samples
					E2: 'Espelta Navarra' vs 'Espelta Álava'	
					E3: 'Sensas' vs 'Espelta Navarra'	
					E4: 'Bonpain' vs 'Espelta Álava'	
					E5: 'Bonpain'	
					E6: 'Espelta Álava'	
					E7: 'Sensas'	
					E8: 'Espelta Navarra'	
					E9: 'Cracklin'	

Spelt flour is also reputed to possess a unique flavor, with a very distinctive taste (Cubadda and Marconi, 2002). Some authors describe the breads as having a strong 'bread smell' (Bojnanská and Francaková, 2002). As the consumption of spelt food products is steadily increasing, there is a need to evaluate their sensory quality relative to normal wheat products.

The sensory quality of bread, an important component of total product quality, can be evaluated by analytical (objective) methods. This requires a well-trained testing panel and the use of specific and adequate attributes that are easily perceived and differentiated for different bread samples.

The aim of the present work was to investigate the influence of the wheat cultivar on the sensory quality of bread. The vegetal materials went through the same milling and dough-making processes, and the same bread-making protocol. A methodology is proposed for the selection, training and validation of a panel of judges for sensory analysis of five types of bread.

2. Materials and methods

2.1. Plant material

Breads were made with three commercial varieties of bread wheat (*T. aestivum* ssp. *vulgare* L.): 'Bonpain', 'Cracklin' and 'Sensas', and two local varieties of spelt wheat (*T. aestivum* ssp. *spelta* L.): 'Espelta Álava' and 'Espelta Navarra'. For the study, 25 kg of grain of each wheat variety, grown organically in 2010/2011 in Vitoria (Álava, Spain) (42° 51' N, 2° 40' W), were kindly provided by the Diputación Foral de Álava.

2.2. Baking procedure

All wheat varieties were milled using a Ceramic Heger GmbH and Co. HG, Kv10 mill. After milling with the same procedure, the fractions extracted from each one of the five cultivars were mixed for 20 min in a Chopin flour blender at 48 rpm. Once mixed, the ash content (ICC 104/1, 2000), on a dry matter basis, was determined (1.14% 'Bonpain', 0.78% 'Cracklin', 1.04% 'Espelta Navarra', 1.06% 'Espelta Álava' and 1.10% 'Sensas') and the flours were used to make five different breads.

The recipe was as follows: 600 g flour, 500 g pregelatinized, 300 g yeasted sourdough, 18 g salt, 5 g commercial Lesaffre baker's yeast and an amount of water determined by consistograph data (320 g water for all breads except for 'Cracklin', which required 270 g). Pregelatinized was a mixture of 200 g of flour and 300 g of boiling water, prepared 24 h in advance and left to cool to 23 °C before adding to the mixer. This is a technique used for making spelt breads to avoid weak doughs, since spelt wheat gluten tends to be more extensible and less elastic than gluten of modern cultivars of wheat. Yeasted sourdough was made from 500 g flour, 250 g water and 2.5 g commercial Lesaffre baker's yeast, fermented at 24 °C for 24 h before adding to the mixer. Yeasted sourdough benefits lactic acid fermentation of fortuitous flora originating from flour (Katina et al. 2006).

For the baking process, all ingredients were mixed into a dough using a Teddy W5A Bear Varimixer. Mixing times were determined by the feel and appearance of the dough during mixing. Dough temperature was 24 ± 1 °C after mixing. Resting time was 90 min at 25 ± 1 °C and a relative humidity of 80%, during which the dough was folded. After resting in a Sveba Dahlen Smartbox Retarder/Prover, the dough was divided into 750 g loaves, molded by hand and proved in tins for 50 min at 25 ± 1 °C and 80% relative humidity. The loaves were then baked in a Sveba Dahlen S200 oven. The oven temperature initially was 230 °C, but was immediately reduced to 180 °C when the loaves were put in. At the beginning of the baking process, steam was added for 8 s. The loaves were partially baked for 22 min. After cooling

for 2 h at room temperature, the parbaked bread was frozen at -30°C with an air speed of 1.5 m s^{-1} . After freezing, the parbaked bread was packed in polyethylene bags and stored in a freezer at -18°C . Before sensory evaluation, the samples were removed from the freezer, thawed at room temperature for 1 h and then put in the oven at 210°C to complete the baking process (about 16 min). After removal from the oven, the samples were left to cool for 2 h at room temperature and then sliced ready for the sensory analysis.

2.3. Sensory evaluation

Sensory analysis was carried out in a sensory evaluation laboratory compliant with international standards (ISO 8589, 2007). In order to describe the sensory properties of the five types of bread, the sensory profiling method was applied (ISO 13299, 2003). This method consisted of two phases, an initial phase to select, train and validate the assessors and a subsequent phase focusing on the evaluation of the samples.

2.3.1. Tasting panel

Eighteen adults (nine female and nine male) aged between 27 and 65 years took part in this study. They were selected, screened and recruited following international standards (ISO 8586, 2012). Fifteen of them were university faculty staff members, thirteen of which had previously received theoretical and practical training in sensory analysis and had experience in tasting different products such as bread, wine or cheese. The other five had not taken part in a panel before. The assessors received no remuneration for participating in the panel.

2.3.2. First phase: selection, training and validation of the assessors

2.3.2.1. Selection phase. Eighteen people took part in the selection phase and carried out the tests described in Table 1. These tests can be summarized as follows:

1. Evaluating the assessors' sensitivity to tastes (ISO 3972, 2011). Selection criteria were established based on their ability to recognize the taste of thirteen solutions comprising five basic tastes at a time (S1, Table 1) and their concentration thresholds for different tastes (S2, Table 1).
2. Initiation and training of assessors in the detection and recognition of odors (ISO 5496, 2006). 40 g of grated bread were placed in a screw-top glass jar covered in aluminum foil, to which specific concentrations of different substances were added in order to test the assessors' detection of certain bread odors, as shown in Table 1 (S3, Table 1).
3. Ranking (ISO 8587, 2006). Ranking the samples according to the attributes "crust color" (S4, Table 1), "crumb firmness" (S5, Table 1) and "crumb elasticity" (S6, Table 1).

Once the results from this phase were analyzed, nine members were selected and trained.

2.3.2.2. Training of the nine selected members of the panel. Training took place over a period of four months with one session per week. Each assessor took part in a maximum of three tests per session with a maximum of four samples per test and a 15 min break between tests.

The aim of the basic training was to develop each member's sensory memory and the use of vocabulary and scales for describing breads. Sessions comprised two parts, with the first part consisting of a theoretical class in sensory analyses and bread attributes and the second part consisting of tests focused on the detection and recognition of smells, tastes, textures etc. Sensory attributes were classified based on four characteristics: odor

(olfactory perception), appearance (visual perception), texture (tactile and oral texture) and flavor (oral and retronasal).

Paired comparison tests (ISO 5495, 2005) were used, which gave the assessors reference points for the following attributes:

Texture: crumb firmness (T1, Table 1); crumb elasticity (T2, Table 1); moistness bread crumb (T3, Table 1); cohesiveness (T4, Table 1).

Appearance: crumb cells number (T5, Table 1); crumb cells homogeneity (T6, Table 1).

Aroma and flavor: lactic odor and flavor of the crumb (T7, Table 1); acetic odor and flavor of the crumb (T8, Table 1).

As the training progressed, descriptive terms and the relevant reference standards were established through panel discussions. Attribute definitions were taken from Callejo (2011). The selected attributes of the sensory profile described the odor, appearance, texture and flavor (simultaneous perception of odor, taste and trigeminal nerve response). During this phase, the assessors became familiar with the scales used.

2.3.2.3. Panel validation. After 48 h of training, a study was carried out to assess the discriminating ability and repeatability for each panelist as well as the group as a whole through the use of Sensory Triangle tests (ISO 4120, 2004). Each panelist evaluated three bread samples presented to them in a random order.

A total of seven different breads were baked for the validation exercise. Four of them (V1, V2, V3, Table 1) were made with the same ingredients, varying the quality of the sourdough and conditions of fermentation in order to generate different values of the flavor attributes, lactic acid and acetic acid (Chavan and Chavan, 2011). In particular, the dough yield $[DY = (\text{amount of flour} + \text{amount of water}) \times 100 / \text{amount of flour}]$ of a sourdough will significantly influence its flavor profile. The firmer the sourdough (lower DY), the more acetic acid is produced and the less lactic acid. The other three breads (V4, V5, V6, Table 1) were made following the same protocol but using base flours of differing qualities: whole wheat flour, spelt wheat flour or rye flour.

2.3.3. Second phase: evaluation of the samples

Once the panel was trained and validated, the assessors carried out the sensory analysis of the five breads evaluated in this study.

2.3.3.1. Triangle tests. The first analysis was aimed to determine whether the assessors were able to distinguish between samples, and if so, identify differences between the five breads. This was done through Triangle tests (ISO 4120, 2004) (E1 to E4, Table 2). In order to generate the descriptive terms to be used in the Sensory

Table 2

Number of correct responses by the 9 assessors and level of significance in training and validation phase and in triangle tests.

Test code	Correct responses	Level of significance
Training and validation of the panel		
V1	8	0.1%
V2	9	0.1%
V3	6	5.0%
V4	8	0.1%
V5	9	0.1%
V6	9	0.1%
Triangle tests		
E1	7	1.0%
E2	9	0.1%
E3	9	0.1%
E4	9	0.1%

Abbreviations: V1 to V6: see Table 1. E1 to E4: see Table 1.

Triangle test, the assessors were asked to list the attributes for which they had identified differences between the breads. The Triangle tests were repeated twice.

2.3.3.2. The sensory profiling method. This phase evaluated the 5 sample breads following international standards (ISO 6564, 1985; ISO 4121, 2003) (E5 to E9, Table 1). The intensity of each attribute was scored on an unstructured 10 cm straight line labeled “not noticeable” and “very strong” at the left and right end points, respectively. All samples were assessed in duplicate.

2.3.4. Evaluation procedure

Sample breads were evaluated 4 h after baking. For analysis, they were sliced (15 mm) on a Krups TR522 slicing machine and placed in plastic sample containers.

Once the panel organizer had given the judges oral instructions, the judges began the analysis with the olfactory phase. They had to open the packet containing the sample, bring the crumb close to the nose and smell the sample with long and strong inhalations at the same time as squeezing it gently twice, in order to release the aromatic compounds. Then, the same process was repeated with the crust.

After the olfactory phase, the following phases were carried out in the order: appearance phase, texture phase (by hand and in mouth) and flavor phase.

One full slice of bread was evaluated for each sample (including the crumb and the crust), which was presented to the assessors with a 3 digit code. Participants were asked not to smoke, eat or drink anything, except water, for 2 h before the sessions. Assessors evaluated the samples at 12:00 midday, always before lunch. In order to minimize the influence of serving order and carry-over, presentation orders were based on a Williams square cross-over design (Laureati et al., 2012) and were systematically varied by participant and by session.

2.4. Statistical analysis

The results of the Triangle tests were analyzed by comparing the total number of correct responses with the minimum number of responses required for statistical significance (ISO 4120, 2004).

Panel performance was evaluated by the analysis of variance (ANOVA) of sensory profile data. The significant effect of replicate, sample and the interactions: assessor $\times$ sample and assessor $\times$ repetition indicates the repeatability, discriminative ability and homogeneity of the panel (Jensen et al., 2010). Where the ANOVA revealed significant differences, a Duncan pairwise comparison of means was used to identify differences between samples. The data were analyzed using SAS statistical software (SAS institute, Inc., 1996).

3. Results and discussion

The results are presented in two parts. The first part contains the results of the selection and training of the assessors while the

second part analyzes the results of the sensory analysis of the five breads studied.

3.1. Selection phase

The results of tests S1 and S2 (See codes in Table 1) show that 15 candidates correctly identified 67% of the different tastes. In test S3 (See code in Table 1), 10 of the candidates correctly identified 67% of the different odors. In the Ranking tests S4 and S5 (See codes in Table 1), 17 of the 18 candidates correctly ordered the samples, while in test S6 (See code in Table 1), 12 of them correctly ordered the samples. Based on these results, 9 (5 female and 4 male) of the 18 candidates were selected for the panel. It has not been possible to compare these results with other studies since no results of this phase have been published previously.

3.2. Training and validation of the panel

During the four month training period, the assessors acquired a common qualitative and quantitative frame of reference for the main attributes of the descriptive profile of bread. The validation phase comprised six triangle tests, the results of which are presented in Table 2. The results were analyzed by comparing the total number of correct responses with the minimum number of responses required for statistical significance using statistical tables (ISO 4120, 2004). The success rate for all assessors was significantly high enough to validate them as members of the panel (Table 2). It was not possible to compare these results with other studies either since no results of this phase have been published previously.

3.3. Analysis of differences between samples in the triangle tests

Four Triangle tests were carried out (E1 to E4, Table 2) in order to determine if the assessors were able to discriminate between samples. The assessors were asked to report the attributes for which they were able to identify differences between the breads, in order to select those which better allow to characterize the five sample breads. From this analysis, the attribute list used in the sensory profiling method was established. The results of the triangle tests are shown in Table 2.

3.4. Sensory profiling of the breads

The assessors' responses for each descriptor for the replicates of each sample were first analyzed separately by ANOVA. Fig. 1 shows a bread sliced photograph obtained from the five samples. The first analysis took the assessor (judge), replicate and the interaction of judge and replicate as the sources of variance, with the different sensory attributes as variables. This showed that the effect of replicate was not significant for any of the sensorial attributes, which indicated a high consistency of the members of the panel overall. The interaction of judge and replicate was significant only for one of the odor attributes (“lactic”) and two flavor attributes (“sweetness” and “sourness”). These results highlight the reliability of the assessors.

Fig. 1. Bread sliced photograph obtained from the five samples.

Table 3
Analysis of variance (mean squares) of the judges and breads for sensory scores.

Source	df	Odor attributes					Appearance attributes					Texture attributes					Flavor attributes				
		Crumb					Crust					Tactile texture					Crumb				
		Ye	Lac	Van	Nut	Pl	Lico	To	D _{st}	Crust	D _{nd}	H _{alv}	N _{alv}	Fir	El	M _{st}	Coh	Cer	So	Sw	IOC _{mb}
Judges	8	17.70**	14.56**	6.62**	14.95**	13.70*	6.87	14.53**	1.98	4.14	8.24*	8.8**	3.31	11.65**	4.49**	13.41**	17.55**	5.25	28.12**	3.99	5.43**
Error	36	1.69	1.70	1.69	3.14	3.71	8.56	3.93	2.23	2.00	2.81	1.43	2.51	3.08	1.33	1.07	1.08	2.63	1.48	2.54	1.10
R (%)		70.00	65.62	46.57	51.44			45.08	15.14	31.55	39.50	57.74	22.65	45.67	42.76	73.41	78.35	30.73	80.82	25.88	52.30
Bread	4	1.71	1.15	3.96	8.0	11.80	34.34**	0.16	10.76**	11.09**	13.23**	4.18	16.23**	18.58**	3.80	1.51	2.09	3.09	5.19	6.36	0.71
Error	40	4.89	4.32	2.44	5.01	4.90	5.64	5.49	1.32	1.52	2.85	2.63	1.30	3.24	1.71	3.50	4.27	3.11	6.44	2.44	2.01
R (%)		3.40	2.60	14.00	13.80	19.41	37.83	14.78	44.82	42.21	31.70	13.73	55.53	36.40	18.13	4.13	4.66	9.04	7.46	20.65	3.40

* And **, significant at 5% and at 1%, respectively.
Abbreviations: Ye: yeast; Lac: lactic; Van: vanilla; Nut: nutty; Pl: plum; Lico: licorice; To: toasted; D_{st}: crust darkness; D_{nd}: crumb darkness; H_{alv}: crumb cells homogeneity; N_{alv}: crumb cells number; Fir: Crumb firmness; El: Crumb elasticity; M_{st}: Moistness bread crumb; Coh: Cohesiveness; Cer: Cereal; So: Sourness; Sw: Sweetness; IOC_{mb}: Intensity of overall crumb flavor; IOC_{st}: Intensity of overall crust flavor.

The second ANOVA took the scores given by the nine assessors for the same bread (judges) as the sources of variance, with the different sensory attributes as variables (Table 3). The main factor (judges) was not significant for the attributes: “licorice” odor, “crust darkness”, “crumb darkness”, “crumb firmness”, “sourness” flavor and “intensity of overall crumb flavor”. For the other sensory descriptors, the effect of the judges was significant, thus indicating some inconsistencies between assessors. However, inconsistencies between judges are common in sensory evaluation and may be ascribed to a different use of the attribute scales (Laureatti et al., 2012).

The third ANOVA took the scores given by the assessors for each of the five bread samples (bread) as the sources of variance, with the different sensory attributes as variables (Table 3). The score for each bread type were significant for the attributes: “licorice” odor, “crust darkness”, “crumb darkness”, “crumb cells homogeneity”, “crumb firmness” and “crumb elasticity”. These results suggest that these attributes can be used to identify differences between the breads.

From the multiple range test (Duncan) (Table 4) for sensory attribute groups (odor, appearance, texture and flavor), it can be seen that assessor “1” gave the highest scores for all odor attributes while assessor “3” gave the lowest scores for most of them. However, nearly all of the attributes of the different breads were ranked by the judges in the same order. These results again highlight small inconsistencies between assessors, which can be attributed to a different use of the scales (Laureatti et al., 2012).

For the appearance attributes (Table 4), the assessors only had a very significant effect for “crumb cells number”, indicating a consistent panel response for this group of attributes.

For the texture attributes, the assessors had no significant effect for “crumb firmness”. For the other texture attributes, the results were similar to those of the odor attributes i.e. from the multiple range test (Table 4), some assessors consistently scored the attributes higher or lower than the other assessors. In this case, assessors “3” and “9” generally gave the highest scores while assessor “2” nearly always gave the lowest scores.

There was no significant effect (Table 4) of assessor for two of the five flavor attributes (“sourness” and “intensity of overall crumb flavor”) but there was for the other three (“cereal”, “sweetness” and “intensity of overall crust flavor”). There was no consistent ranking of this attribute group by the judges.

The analysis of the mean scores given by the assessors for each of the five breads with the multiple range test (Duncan) (Table 5) revealed significant differences for the tactile texture attributes and most of the appearance attributes. However, for the odor and flavor attributes, only “licorice” odor was significantly different between breads, being particularly scored in the ‘Espelta Navarra’ bread.

In a study on kama flour, a traditional Estonian food consisting of a newly-milled powder mixture of roasted barley, rye, wheat and pea flour, related the licorice odor to the presence of acetylpyrrole in the samples. The origin of this compound, and other pyrrole derivatives in bread, is related to the Maillard reactions that occur during bread baking and produce aromatic compounds in the crust. According to Cho and Peterson (2010), of all the pyrrole derivatives, the compound with the largest influence on aroma is 2-acetyl-1-pyrroline, which is responsible for the toasted note of the crust. However, there are few references in the literature on the impact of pyrrole derivatives other than 2-acetyl-1-pyrroline in the crust. We also observed the presence of “toasted” odor in the crust of all five breads, with significant differences between the breads ‘Craklin’ and ‘Espelta Navarra’, which were scored lowest and highest for this attribute, respectively. Another novel aspect of our results is the identification of the attribute “licorice” odor in the crumb and not in the crust. This attribute has also been described in material of vegetable origin not submitted to thermal processes, by Vilanova

Table 4

Duncan pairwise comparison of means for the 20 sensory descriptors given by the 9 judges.

Judge	Odor attributes							Appearance attributes				Texture attributes				Flavor attributes					
	Crumb						Crust	Crust			Crumb			Tactile texture		Oral texture		Crumb			Crust
	Ye	Lac	Van	Nut	Pl	Lico	To	D _{st}	D _{md}	H _{alv}	N _{alv}	Fir	El	M _{st}	Coh	Cer	So	Sw	IOC _{mb}	IOC _{st}	
(1)	7.4 ^a	6.6 ^a	4.2 ^a	7.5 ^a	4.4 ^a	3.4 ^a	8.6 ^a	6.4 ^a	4.4 ^b	6.2 ^a	7.2 ^{ab}	7.2 ^a	3.4 ^{bc}	4.4 ^c	8.2 ^a	3.9 ^d	3.9 ^a	6.6 ^{ab}	5.4 ^{abc}	5.9 ^a	
(2)	2.1 ^e	2.0 ^{bcd}	1.6 ^{bc}	2.6 ^{bc}	0.7 ^{cd}	0.8 ^a	3.4 ^c	6.1 ^a	6.0 ^{ab}	4.7 ^a	4.7 ^c	5.4 ^a	3.8 ^{bc}	5.1 ^{bc}	4.6 ^d	4.0 ^d	1.8 ^{ab}	2.5 ^{cd}	4.1 ^c	3.6 ^b	
(3)	3.4 ^{cde}	2.2 ^{bcd}	0.1 ^c	1.3 ^c	0.3 ^d	0.9 ^a	3.3 ^c	7.5 ^a	6.1 ^{ab}	6.0 ^a	7.5 ^{ab}	7.5 ^a	6.6 ^a	7.2 ^a	6.9 ^{abc}	4.4 ^a	0.6 ^b	2.1 ^{cd}	5.7 ^{abc}	6.4 ^a	
(4)	6.6 ^{ab}	2.6 ^{bc}	2.5 ^{ab}	3.1 ^{bc}	3.2 ^{abc}	1.6 ^a	6.8 ^{ab}	6.2 ^a	7.0 ^a	5.9 ^a	5.8 ^{bc}	6.5 ^a	3.2 ^{bc}	7 ^a	2.8 ^e	10 ^a	1.1 ^b	8.0 ^a	4.7 ^{bc}	4.2 ^b	
(5)	6.7 ^{ab}	3.8 ^b	1.4 ^{bc}	3.8 ^{bc}	1.0 ^{bcd}	0.2 ^a	5.5 ^{bc}	7.4 ^a	6.6 ^a	6.2 ^a	4.3 ^c	6.1 ^a	4.6 ^{ab}	6.4 ^{ab}	6.4 ^{bc}	6.4 ^{bc}	1.9 ^{ab}	2.4 ^{cd}	6.1 ^{abc}	5.8 ^a	
(6)	4.7 ^c	1.8 ^{cd}	2.7 ^{ab}	2.7 ^{bc}	0.7 ^{cd}	0.6 ^a	5.5 ^{bc}	7.0 ^a	7.5 ^a	5.5 ^a	5.3 ^c	7.7 ^a	2.0 ^c	6.8 ^a	6.4 ^{bc}	6.8 ^b	2.3 ^{ab}	5.4 ^b	6.6 ^{ab}	5.6 ^a	
(7)	5.1 ^{bc}	0.6 ^d	2.2 ^b	2.9 ^{bc}	3.6 ^{ab}	3.0 ^a	5.9 ^{abc}	5.8 ^a	5.6 ^{ab}	5.9 ^a	6.0 ^{bc}	5.6 ^a	5.3 ^{ab}	6.3 ^{ab}	6.6 ^{bc}	5.2 ^{cd}	3.0 ^{ab}	2.1 ^{cd}	7.0 ^a	6.2 ^a	
(8)	4.1 ^{cd}	2.8 ^{bc}	1.8 ^{bc}	3.8 ^{bc}	2.1 ^{abcd}	2.1 ^a	4.4 ^{bc}	7.0 ^a	5.5 ^{ab}	2.2 ^b	4.7 ^c	6.3 ^a	3.6 ^{bc}	6 ^{ab}	5.8 ^{cd}	6.5 ^{bc}	1.6 ^{ab}	1.2 ^d	5.4 ^{abc}	6.4 ^a	
(9)	2.6 ^{de}	1.8 ^{cd}	3.1 ^{ab}	4.5 ^b	4.3 ^a	2.9 ^a	6.8 ^{ab}	7.1 ^a	6.3 ^{ab}	6.2 ^a	7.9 ^a	6.5 ^a	6.4 ^a	7.1 ^a	7.7 ^{ab}	6.3 ^{bc}	1.2 ^b	3.0 ^c	5.7 ^{abc}	6.6 ^a	

Means with the same letter are not significantly different (Duncan, $P < 0.05$).

Abbreviations: Ye: yeasty; Lac: lactic; Van: vanilla; Nut: nutty; Pl: plum; Lico: licorice; To: toasted; D_{st}: crust darkness; D_{md}: crumb darkness; H_{alv}: Crumb cells homogeneity; N_{alv}: Crumb cells number; Fir: Crumb firmness; El: Crumb elasticity; M_{st}: Moistness bread crumb; Coh: Cohesiveness; Cer: Cereal; So: Sourness; Sw: sweetness; IOC_{mb}: Intensity of overall crumb flavor; IOC_{st}: Intensity of overall crust flavor.

et al. (2009), who observed it in the Spanish grape cultivar 'Mencia'. This suggests that the presence of acetylpyrrole may also be related to the chemical composition of the vegetable material and not only as a result of the Maillard reactions.

No significant differences were found for the "yeasty" and "lactic" odors of the five breads. Similarly, no significant differences were found for the "plummy" and "nutty" odors for the breads made with bread wheat but were found between the two spelt breads. Taking into account all odor attributes, the bread 'Espelta Navarra' was scored the highest.

Since the breads were all made in exactly the same way, the significant differences found for the odor attributes must be due to different chemical compositions of the cultivars. Previous studies have postulated that wheat flour is an important source of bread odorants. Some compounds isolated in the wheat flour have also previously been identified as important contributors to the aroma of wheat bread crumbs (Grosch and Schieberle, 1997). More recently, Starr et al. (2013) also found differences in odor and flavor among 24 varieties of wheat during sensory evaluation of cooked wheat grain.

It is worth highlighting the high scores obtained by all breads for the attributes "intensity of overall crumb flavor" and "intensity of overall crust flavor". This is probably related to two factors: the high ash content of the breads and the use of yeast sourdoughs, as indicated by Czerny and Schieberle (2002), Katina et al. (2006) and Heenan et al. (2008). Outer layers of cereal kernel in wholemeal flours contain various phenolic compounds that can influence cereal flavor. On the other hand, sourdough fermentation is responsible for acidification, which has been shown to play a key role in the induction of proteolysis, which is responsible for the roast flavor, during sourdough fermentation.

There were no significant differences for "intensity of overall crumb flavor" between the breads made with bread wheat but there were significant differences between the two spelt breads. The bread made with 'Espelta Navarra' was scored the highest for this attribute and, together with the high scores for the odor attributes, allows us to conclude that this bread was the most complex from a sensory point of view. This bread was given the highest scores for the attributes 1–4 and 19–20.

No significant differences were found between the breads for the flavor attributes "cereal", "sourness" and "sweetness". However, it is worth noting the high scores given to all breads for cereal flavor. Previous studies have observed that breads produced with whole grains possess a typical grainy (cereal) odor (Heenan et al., 2008) and so breads with a high ash content, such as those in our study, might be expected to have a strong cereal flavor.

With regard to the appearance attributes, few differences were found between the scores for "crust darkness" and "crumb darkness" (Table 5). For the first of these, significant differences were only found for the 'Craklin' bread, which received the lowest scores. For "crumb darkness", the only significant differences found were for the 'Espelta Álava' bread, which received the lowest scores. No significant differences were found for the attribute "crumb cells number" but were found for "crumb cells homogeneity", with the spelt breads receiving significantly lower scores than the breads made with bread wheat.

For the texture attributes, the spelt breads had a greater "crumb elasticity" when compared with the breads made with bread wheat, with significant differences between the variety 'Espelta Álava' and the bread wheats. It should be emphasized that the 5 flours' protein content employed in this study ('Sensas': 9.24% 'Bonpain': 10.07%, 'Espelta Álava': 9.10% 'Espelta Navarra': 9.67% and

Table 5

Duncan pairwise comparison of means for the 20 sensory descriptors for the five different bread samples.

Bread	Odor attributes							Appearance attributes				Texture attributes				Flavor attributes				
	Crumb						Crust	Crust	Crumb			Tactile texture		Oral texture		Crumb			Crust	
	Ye	Lac	Van	Nut	Pl	Lico	To	D _{st}	D _{md}	H _{alv}	N _{alv}	Fir	El	M _{st}	Coh	Cer	So	Sw	IOC _{mb}	IOC _{st}
EA	5.2 ^a	2.5 ^a	1.9 ^{ab}	2.4 ^b	1.0 ^b	0.7 ^b	6.1 ^{ab}	7.1 ^a	4.4 ^b	3.9 ^c	5.3 ^a	4.7 ^c	6.2 ^a	5.3 ^b	5.7 ^a	5.3 ^a	1.8 ^a	2.8 ^a	4.6 ^b	5.8 ^a
B	4.9 ^a	2.7 ^a	2.5 ^{ab}	3.6 ^{ab}	2.2 ^{ab}	1.0 ^b	5.6 ^{ab}	7.1 ^a	7.1 ^a	5.9 ^{ab}	6.6 ^a	6.4 ^b	4.0 ^{bc}	6.4 ^{ab}	6.6 ^a	6.7 ^a	1.9 ^a	3.0 ^a	5.4 ^{ab}	5.5 ^a
Se	4.9 ^a	3.3 ^a	2.5 ^{ab}	3.3 ^{ab}	2.4 ^{ab}	1.2 ^b	4.7 ^{ab}	6.8 ^a	7.1 ^a	6.6 ^a	6.4 ^a	6.9 ^b	3.1 ^c	7.1 ^a	6.1 ^a	6.0 ^a	1.6 ^a	4.3 ^a	5.8 ^{ab}	5.6 ^a
Cr	4.6 ^a	2.5 ^a	1.2 ^b	3.5 ^{ab}	1.6 ^b	0.4 ^b	4.4 ^b	4.9 ^b	6.2 ^a	6.4 ^a	6.3 ^a	8.5 ^a	2.9 ^c	6.4 ^{ab}	6.5 ^a	6.0 ^a	1.4 ^a	3.8 ^a	5.4 ^{ab}	5.3 ^a
EN	4.0 ^a	2.3 ^a	2.8 ^a	5.0 ^a	4.1 ^a	5.2 ^a	7.0 ^a	7.4 ^a	5.9 ^a	4.5 ^{bc}	5.1 ^a	6.2 ^b	5.3 ^{ab}	6.2 ^{ab}	5.8 ^a	5.7 ^a	2.9 ^a	4.9 ^a	7.0 ^a	6.0 ^a

Means with the same letter are not significantly different (Duncan, $P < 0.05$).

Abbreviations: EA = 'Espelta Álava'; B: 'Bonpain'; Se: 'Sensas'; Cr: 'Craklin'; EN: 'Espelta Navarra'; Ye: yeasty; Lac: lactic; Van: vanilla; Nut: nutty; Pl: plum; Lico: licorice; To: toasted; D_{st}: crust darkness; D_{md}: crumb darkness; H_{alv}: Crumb cells homogeneity; N_{alv}: Crumb cells number; Fir: Crumb firmness; El: Crumb elasticity; M_{st}: Moistness bread crumb; Coh: Cohesiveness; Cer: Cereal; So: Sourness; Sw: sweetness; IOC_{mb}: Intensity of overall crumb flavor; IOC_{st}: Intensity of overall crust flavor.

'Craklin': 6.08%) cannot be associated to the differences at the textural parameters between spelt bread and wheat bread. However it could justify differences between the 3 wheat breads. Note that 'Craklin' is very different to the other two wheat breads. Crumb elasticity is traditionally associated with good baking performance (Khilberg et al., 2006). The spelt breads both received high scores for "crumb elasticity" and significantly lower scores for "crumb cell homogeneity", which could be related to the special rheological properties of the spelt doughs compared with those of bread wheat. Although some authors have found a high ratio of gliadin to glutenin subunits in spelt doughs, which is thought to be responsible for their low extensibility (Kohajdová and Karovicová, 2008; Pruska-Kedzior et al., 2008), it was precisely these breads in our study that had the greatest "crumb elasticity". This could be related to the process of pregelatinization, to which the flours were subjected before mixing and folding. These processes could also reduce the probability of the premature rupture of membranes between gas cells, thus allowing a prolonged and irregular oven rise, which could explain the low scores for "crumb cell homogeneity" received by the spelt breads.

4. Conclusions

Following a process of selection, training and validation of the members of the panel, a high reliability of assessors was obtained, although with some small inconsistencies attributed to a different use of the attribute scales. Through the use of triangle tests, differences were identified between five breads, each made with a single wheat variety, and the attributes that could be used to best characterize their sensory profiles were chosen.

The tactile texture attributes and most of the appearance attributes were significantly different between breads. Significant differences were found between the spelt breads and those made with bread wheat for the attributes "crumb cell homogeneity" and "crumb elasticity". Considering the odor and flavor attributes together, the bread made with 'Espelta Navarra' was the most complex, from a sensory point of view. Considering that all five wheat varieties were grown under the same edaphoclimatic conditions and were submitted to the same baking process, these differences have to be due to the cultivar used.

Until now, wheat sensory properties have not been systematically included as quality parameters in the selection of new wheat varieties, not only because it requires too large sample as well as because there is no standardized protocol for assessment and this work is an approach to this gap. Based on the results of this study, we propose that sensory properties should be considered as breeding criteria for future work on genetic improvement.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Diputación Foral de Álava for their collaboration with this work. We are also grateful to the members of the testing panel and also to Manuel Flecha, master bread makers, who made the breads used to train the assessors. This work was supported by Grant No. AGL 2012-38345 from the Ministerio de Economía y Competitividad in Spain.

References

- Bojnanská, T., Francáková, H., 2002. The use of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) for baking applications. *Rostl. Výroba* 48, (4), 141–147.
- Callejo, M.J., 2011. Present situation on the descriptive sensory analysis of bread. *J. Sens. Stud.* 26, 255–268.
- Chavan, R.S., Chavan, S.R., 2011. Sourdough technology—A traditional way for wholesome foods: a Review. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 10, 170–183.
- Cho, I.H., Peterson, D.G., 2010. Chemistry of bread aroma: a review. *Food Sci. Biotechnol.* 19 (3), 575–582.
- Cubadda, R., Marconi, E., 2002. Spelt wheat. In: Belton, P., Taylor, J. (Eds.), *Pseudo-cereals and Less Common Cereals*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, pp. 153–173.
- Czerny, M., Schieberle, P., 2002. Important aroma compounds in freshly ground wholemeal and white wheat flour. Identification and quantitative changes during sourdough fermentation. *J. Agric. Food Chem.* 50 (23), 6835–6840.
- Grosch, W., Schieberle, P., 1997. Flavor of cereal products: a review. *Cereal Chem.* 74 (2), 91–97.
- Heenan, S.P., Dufour, J., Hamid, N., Harvey, W., Delahunty, C.M., 2008. The sensory quality of fresh bread: descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Res. Int.* 41 (10), 989–997.
- ICC 104/1, 2000. Standard Methods. Determination of Ash in Cereal and Cereal Products. International Association for Cereal Chemistry, Vienna, Austria.
- ISO 3972, 2011. Sensory Analysis. Method for Investigating Sensitivity of Taste. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 4120, 2004. Sensory Analysis. Triangular Test. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 4121, 2003. Sensory Analysis. Evaluation of Food Products by Methods Using Scales. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 5495, 2005. Sensory Analysis. Methodology. Paired Comparison Test. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 5496, 2006. Sensory Analysis. Initiation and Training of Assessors in the Detection and Recognition of Odours. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 6564, 1985. Sensory Analysis. Flavour Profile Methods. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 8586, 2012. Sensory Analysis. General Guidance for the Selection, Training and Monitoring of Assessors. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 8587, 2006. Sensory Analysis. Ranking. International Organization of Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 8589, 2007. Sensory Analysis. General Guidance for the Design of Test Rooms. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO 13299, 2003. Sensory Analysis. General Guidance to Establish a Sensory Profile. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jensen, S., Oestdal, H., Thybo, A.K., 2010. Sensory profiling of changes in wheat and whole wheat bread during a prolonged period of storage. *J. Sens. Stud.* 25, 231–245.
- Katina, K., Heiniö, R.L., Autio, K., Poutanen, K., 2006. Optimization of sourdough process for improved sensory profile and texture of wheat bread. *LWT-Food Sci. Technol.* 39 (10), 1189–1202.
- Kihlberg, I., Öström, A., Johansson, L., Risvik, E., 2006. Sensory qualities of plain white pan bread: Influence of farming system, year of harvest and baking technique. *J. Cereal Sci.* 43 (1), 15–30.
- Kohajdová, Z., Karovicová, J., 2008. Nutritional value and baking applications of spelt wheat. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 7 (3), 5–14.
- Laureati, M., Giussani, B., Pagliarini, E., 2012. Sensory and hedonic perception of gluten-free bread: comparison between celiac and non-celiac subjects. *Food Res. Int.* 46, 326–333.
- Pruska-Kedzior, A., Kedzior, Z., Klockiewicz-Kaminska, E., 2008. Comparison of viscoelastic properties of gluten from spelt and common wheat. *Eur. Food Res. Technol.* 227, 199–207.
- SAS Institute Inc, 1996. The SAS System for Windows, 6.12. ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C. U.S.A.
- Starr, G., Bredie, W.L.P., Hansen, Å.S., 2013. Sensory properties of cooked grains from wheat species and varieties. *J. Food Sci.* 57, 295–303.
- Vilanova, M., Masa, A., Tardaguilla, J., 2009. Evaluation of the aroma descriptors variability in Spanish grape cultivars by a quantitative descriptive analysis. *Euphytica* 165, 383–389.

EXPERIMENTACIÓN EN TRIGO PARA PANIFICACIÓN EN ÁLAVA: VARIEDADES, AGRICULTORES Y CALIDAD

Ruiz de Arcaute R⁽¹⁾, Lauzurika P⁽²⁾, Ibáñez P⁽²⁾, Rodríguez Quijano M⁽³⁾, Callejo MJ⁽³⁾, Vargás-Kostiuk ME⁽⁴⁾

⁽¹⁾Asesor autónomo

⁽²⁾Diputación Foral de Álava. Responsables de finca Eskalmendi;

⁽³⁾ETSI Agrónomos Universidad Politécnica de Madrid;

⁽⁴⁾UPM

> Resumen

La experimentación de algunas variedades de trigo blando panificable y trigo espelta en la zona cerealista de Álava indican que es posible producir en nuestras condiciones trigos de media fuerza utilizando determinadas variedades. Los análisis de calidad de panificación con técnicas de laboratorio no son suficientes para valorar estos trigos y deben incluir evaluaciones sensoriales. Los datos obtenidos de la experimentación junto a los de los análisis de calidad son imprescindibles para una toma de decisiones correcta en la elección de variedades de calidad y con productividad por parte de los agricultores.

> Palabras Clave

- Alveograma
- Análisis sensorial
- Harina
- Trigo
- *Triticum aestivum*

Introducción

Dos de los objetivos prioritarios del Plan de Implantación de la Agricultura Ecológica en Álava – desarrollado por la Diputación Foral de Álava (DFA) en el periodo 2009 a 2012 – han sido, el desarrollo de técnicas de producción ecológica de cultivos extensivos y conocer el comportamiento de distintas variedades de los cultivos en **eco**, orientando al agricultor para mejorar su productividad y la calidad de las producciones extensivas.

Para ello, durante cuatro campañas se realizaron ensayos con variedades de trigo blando y trigo espelta en la finca experimental de Eskalmendi (DFA) y en fincas de agricultores colaboradores. El objetivo fue obtener información sobre la mejor gestión de los cultivos y establecer los puntos clave del itinerario técnico idóneo para obtener trigos de buena calidad para panificación con la máxima productividad posible, para facilitar esta información a los productores.

Se establecieron además criterios nuevos sobre los tipos de análisis de calidad idóneos, ya que las analíticas habituales no reflejan bien los parámetros de calidad requeridos especialmente en la elaboración artesanal.

El trigo moderno (*Triticum aestivum*) se originó a partir de tres especies ancestrales, y se domesticó hace unos 7.000 años. Al incluir la dotación genética de sus tres ancestros, es una especie más productiva, se adapta mejor a condiciones ambientales diversas, y presenta más vigor que sus progenitores. Por su parte el trigo espelta (*Triticum aestivum* ssp. *spelta*) mantiene algunos caracteres propios de trigos antiguos, entre otros, que en cosecha retiene una cáscara/cascarilla protectora del grano maduro frente a ataques de insectos, que se debe eliminar mecánicamente antes del procesamiento del grano. Algunos trigos parecidos a los antiguos vuelven a ganar terreno comercial por sus características únicas de aroma, sabor y beneficios saludables emergentes, avalados científicamente, y por su adecuación para la agricultura ecológica.

Materiales y métodos

Las siembras de las parcelas experimentales se realizaron durante cuatro campañas (2008 a 2012) en la finca experimental de Eskalmendi (42,876618, -2,639331), propiedad de DFA, de 2,8 ha e inscrita en ENEEK. Los suelos son de textura franco-arcillosa, y de tipo calizo con un pH promedio de 8,7 y un contenido elevado de MO. La gestión de cultivos incluyó rotaciones con leguminosas, cereales, forrajes (mezclas leguminosa-gramínea o gramíneas solas) y abonos verdes de leguminosas o crucíferas.

En una primera etapa (2008 a 2009) se cultivaron parcelas experimentales de pequeña superficie para obtener información preliminar. Posteriormente (2010 a

2012) se sembraron en la finca parcelas experimentales de mayor superficie – 3.000 a 5.000 m² por variedad – con dosis de siembra entre 240 y 280 Kg/ha. Simultáneamente agricultores interesados en experimentar realizaron siembras con las variedades de prueba, siempre en sus condiciones particulares.

La elección de las variedades obedeció a un doble criterio: en trigo, variedades de ciclo corto y variedades locales de ciclo largo con buena reputación harinera y disponibilidad de semilla comercial o local. En el trigo espelta se buscaron al menos dos materiales de orígenes diferentes, sin un conocimiento especial de su comportamiento.

Las parcelas experimentales tuvieron como precedente una leguminosa, y cuando fue posible se sembró previamente un abono verde (se utilizaron mostaza o rábano, veza, trigo sarraceno, en función del objetivo y la disponibilidad de semilla). Para la siembra, tras las labores de incorporación del abono verde con grada rápida de discos, se realizó una labor de cultivador o chísel, rastreado, reposo (“falsa siembra”), labor superficial y siembra. La gestión de adventicias se hizo con rastra de púas desde muy pronto hasta el inicio del espigado, lo que en la parcela de Eskalmendi supusieron 2-3 pases de rastra por campaña. Al inicio del ahijado en las campañas de 2009 y 2011 se aportaron 2.000 Kg/ha de compost comercial de riqueza 2-1-2.

Tras la cosecha, los análisis de calidad se realizaron en el laboratorio para la realización del análisis alveográfico. Muestras de la campaña 2011 se utilizaron para la realización de los estudios de la ETSI Agrónomos (UPM) sobre aspectos cualitativos específicos.

Resultados y discusión

Los valores de los parámetros de calidad harinera obtenidos a partir de los alveogramas realizados, basados en

CAMPAÑA 2009-2010

Eskalmendi (Loc = 0) - Siembras: Otoño 19 nov 2009 / Primavera 16 mar 2010
Cosechas: Otoño 17 ago 2010 / Primavera 11 ago 2010

VARIEDAD	ÉPOCA SIEMBRA	Loc	PROT	W	P/L
TRISO	Otoño	0	10,4	128	n/r
BONPAIN	Primavera	0	12,9	250	n/r
SENSAS	Primavera	0	12,6	223	n/r
Otras localidades: Siembras: Otoño dic 2009 / Primavera feb 2010 Cosechas ago 2010					
BONPAIN	Primavera	1	11,2	160	1,36
BONPAIN	Primavera	5	13,0	267	0,92
BONPAIN	Otoño	6	12,4	179	0,80
BONPAIN	Primavera	7	12,2	219	1,11
BONPAIN	Primavera	8	10,9	183	1,50
BONPAIN	Primavera	10	10,9	162	1,02
ROUGE DE BORDEAUX	Otoño	9	13,10	76	0,36
ROJO DE ALAVA	Otoño	1	13,50	36	0,37

CAMPAÑA 2010-2011

Eskalmendi - Siembras: Otoño 20 dic 2010 / Primavera 10 feb 2011 Cosechas: Otoño 4 ago 2011 / Primavera 1 ago 2011

VARIEDAD	ÉPOCA SIEMBRA	Loc	PROT	W	P/L
CRACKLIN	Otoño	0	5,3	37	1,36
NOGAL	Otoño	0	7,9	104	1,10
PALEDOR	Otoño	0	6,5	55	1,18
ROUGE DE BORDEAUX	Otoño	0	9,8	78	0,27
TRISO	Otoño	0	8,8	125	0,86
BONPAIN	Primavera	0	10,5	249	0,87
SENSAS	Primavera	0	10,5	229	1,08
ESPELTA or. Álava	Otoño	0	8,8	55	1,18
ESPELTA or. Navarra	Otoño	0	9,6	49	1,10

Otras localidades: Siembras: Otoño Dic 2010 / Primavera: Feb 2011 Cosechas: Ago 2011

VARIEDAD	ÉPOCA SIEMBRA	Loc	PROT	W	P/L
BONPAIN	Primavera	1	9,5	204	1,13
BONPAIN	Primavera	4	9,3	164	1,04
BONPAIN	Primavera	8	9,4	190	1,92
FLORENCIO - AURORA	Otoño	1	10,8	167	0,95

CAMPAÑA 2011-2012

Eskalmendi - Siembras: Primavera 27 feb 2012 - Cosecha: Primavera 31 jul 2012

VARIEDAD	ÉPOCA SIEMBRA	Loc	PROT	W	P/L
BONPAIN	Primavera	0	10,3	236	1,00
SENSAS	Primavera	0	10,9	229	1,08
Otras localidades: Siembras: Otoño dic 2011 / Primavera feb 2012 Cosechas: jul-ago 2012					
BONPAIN	Otoño	1	9,5	169	1,42
BONPAIN	Otoño	5	7,9	135	3,52
BONPAIN	Primavera	3	7,8	158	1,52
BONPAIN	Primavera	1	10,1	253	0,88
BONPAIN	Primavera	4	7,7	59	0,97
BONPAIN	Primavera	5	10,5	249	0,87
BONPAIN	Primavera	7	9,9	201	1
BONPAIN	Primavera	10	10,7	272	1,24
FLORENCIO - AURORA	Otoño	1	9,5	169	1,42
MEZCLA LOCAL FRANCIA	Otoño	5	8,7	108	3,14

Tabla 1 Trigos ensayados y resultados de análisis de calidad.

contenido en proteínas, el parámetro W (fuerza) y la relación P/L (equilibrio) para cada variedad por campaña y localidad se reflejan en la Tabla 1. En relación con las variedades ensayadas en una misma localidad (Eskalmendi), pueden observarse importantes diferencias entre ellas, y una tendencia a la estabilidad de determinadas variedades concretas (Bonpain y Sensas), con resultados de calidad que las sitúan como trigos de media fuerza y bastante equilibrados, aptos para panificación. Por tanto el genotipo es una de las claves necesarias para conseguir un buen trigo de pan.

Analizando los resultados de la misma variedad en cultivo por distintos

agricultores y en épocas de siembra distintas durante varios años, parecería que las siembras de otoño ofrecen peores resultados de calidad en general. Sin embargo esta idea debe valorarse con cuidado ya que en siembras primaverales en determinadas condiciones, estas mismas variedades ofrecen resultados de calidad muy pobres, lo cual indicaría que la forma de producción tiene también gran importancia en el resultado final de calidad, incluso mayor que la época de siembra para estas variedades.

Por último, el estudio sobre análisis sensoriales de trigos y espeltas señalan una correlación pobre entre los valores de fuerza (W) y la calidad general de los

panes producidos, elaborándose buenos panes a partir de trigos con valores de W relativamente bajos. Por ello se señala la necesidad de incluir los análisis sensoriales en los procesos de obtención de variedades. Así, los panes elaborados con espelta han ofrecido una gran calidad en cuanto a los aromas, y una mayor riqueza en productos beneficiosos para la salud.

Conclusiones

– Es posible obtener trigos ecológicos de media fuerza para panificación en las condiciones climáticas de la Llanada Alavesa. Para ello es preciso gestionar rotaciones, incluir abonos verdes y en ocasiones aportaciones extra de materia orgánica al cultivo.

– El genotipo de las variedades tiene una influencia clave en este proceso.

– Aunque un alto contenido en proteínas se suele correlacionar con un buen valor de fuerza, parece que un valor pequeño de W no es sinónimo de ausencia de calidad de panificación, es preciso elaborar pan para determinar con precisión su calidad.

– Es preciso realizar experimentación para conocer/desarrollar y aplicar a la práctica diaria las técnicas idóneas que mejoren los resultados de calidad de los cultivos. Como ejemplo, tras este proyecto varios agricultores de la comarca siembran este tipo de variedades.

– El trigo espelta puede tener un futuro importante a partir de sus características especiales y su gran calidad. ■

Agradecimientos

A Javier Alonso y Harkaitz Larrauri (Harinas Guría, Campanas, Navarra) por los análisis de calidad realizados. A Xabi Akizu y Marilu Gardoki, panaderos, del caserío Haritzabal Baserría, por el esfuerzo propio que invierten en las pruebas de panificación realizadas cada año con trigos de experimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Callejo, MJ; Vargas-Kostiuk, ME; Rodríguez-Quijano, M. 2014. "Influence of cultivar (*Triticum aestivum* ssp. *vulgare* and ssp. *spelta*) on the sensory quality of wheat bread". Food Research Int. (propuesto para publicación).
- Callejo, MJ; Vargas-Kostiuk, ME; Rodríguez-Quijano, M. 2012. "Influencia del genotipo sobre el comportamiento harino-panadero de cultivares de *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* y ssp. *spelta*". Jornadas Técnicas AETC (Asociación Española de Técnicos Cerealistas) Madrid;
- Meco, R; Lacasta, C; Moreno, MM. 2012. "Agricultura ecológica de secano". Ed. MAGRAMA-SEAE

FORMULARIOS
PRUEBAS SENSORIALES

A) SELECCIÓN

S.1.- Formulario de respuesta para la identificación de sabores

Nombre:.....Fecha:.....							
Clave de los recipientes	Sabor no identificado	Ácido	Amargo	Salado	Dulce	Umami	Metálico
134							
245							
456							
367							
129							
368							
931							
769							
184							
Poner una cruz en la columna apropiada							

S.2.- Formulario de respuesta para la familiarización con los diferentes umbrales

Nombre:.....Fecha:.....					
Sabor nº 1		Orden de presentación de los recipientes			
		1º	2º	3º	4º
Código Nº	Agua	345	120	560	678
Respuestas					
Sabor identificado					
<p>Nota: 0 Ninguna impresión percibida X Sabor percibido XX, XXX, XXXX, etc Diferencia de concentración apreciada</p> <p>Escribir el sabor identificado debajo de la clave del recipiente correspondiente</p>					

S. 3.- Formulario de respuesta para identificación de olores

Nombre:.....Fecha:.....						
Muestra Nº	¿Percibe un olor? ¹⁾		¿Reconoce este olor? ¹⁾		Nombre del olor, descripción del olor o asociación	Comentarios
	Si	No	Si	No		
147						

1) Poner una X en la columna apropiada

S.4.- Formulario de respuesta para discriminación de “Color de la Corteza”

Nombre:.....Fecha:.....										
<p>Observe cada muestra y coloque en orden creciente de “Color de la Corteza” en el cuadro inferior</p> <table border="1" style="margin: 20px auto; width: 80%; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 5px;">Intensidad</td><td style="padding: 5px;">Menos</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">Más</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Código</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td></tr></table>	Intensidad	Menos			Más	Código				
Intensidad	Menos			Más						
Código										
Comentarios:										

S.5.- Formulario de respuesta para discriminación de “Firmeza de la Miga”

Nombre:.....Fecha:.....										
<p>Pruebe cada muestra y coloque en orden creciente de “Firmeza de la Miga” en el cuadro inferior</p> <table border="1" style="margin: 20px auto; width: 80%; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 5px;">Intensidad</td><td style="padding: 5px;">Menos</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">Más</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Código</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td></tr></table>	Intensidad	Menos			Más	Código				
Intensidad	Menos			Más						
Código										
Comentarios:										

S.6.- Formulario de respuesta para discriminación de “Elasticidad de la Miga”

Nombre:.....Fecha:.....										
<p>Pruebe cada muestra y coloque en orden creciente de “Elasticidad de la Miga” en el cuadro inferior</p> <table border="1" style="margin: 20px auto; width: 80%; border-collapse: collapse;"><tr><td style="padding: 5px;">Intensidad</td><td style="padding: 5px;">Menos</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;">Más</td></tr><tr><td style="padding: 5px;">Código</td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td><td style="padding: 5px;"></td></tr></table>	Intensidad	Menos			Más	Código				
Intensidad	Menos			Más						
Código										
Comentarios:										

B) ENTRENAMIENTO:

E.1.- Formulario de respuesta para determinar la “Firmeza de la miga”

Nombre:.....Fecha:..... ...
Objetivo de la prueba: determinar la “Firmeza de la miga”.
Criterio: resistencia a la presión con el dedo índice.
Pregunta: ¿Tiene la muestra 476 más “Firmeza de la miga” que la muestra 378 ?
Si No
Tache la respuesta que considere correcta
Observaciones:

E.2.- Formulario de respuesta para determinar la “Elasticidad de la miga”

Nombre:.....Fecha:..... ...
Objetivo de la prueba: determinar la “Elasticidad de la miga”.
Criterio: rapidez en la recuperación de la miga tras la presión con el dedo índice.
Pregunta: ¿Tiene la muestra 194 más “Elasticidad de la miga” que la muestra 911 ?
Si No
Tache la respuesta que considere correcta
Observaciones:

E.3.- Formulario de respuesta para determinar la “Humedad de la miga”

Nombre:.....Fecha:..... ...
Objetivo de la prueba: determinar la “Humedad de la miga”.
Criterio: cantidad de saliva segregada en la cavidad bucal durante la masticación.
Pregunta: ¿Tiene la muestra 243 más “Humedad de la miga” que la muestra 554 ?
Si No
Tache la respuesta que considere correcta
Observaciones:

E.4.- Formulario de respuesta para determinar la “Cohesividad de la miga”

Nombre:.....Fecha:.....
Objetivo de la prueba: determinar la “Cohesividad de la miga”.
Criterio: grado de deformación de la miga antes de romperse durante la masticación.
Pregunta: ¿Tiene la muestra 786 más “Cohesividad de la miga” que la muestra 120 ?
Si No
Tache la respuesta que considere correcta
Observaciones:

E.5.- Formulario de respuesta para determinar el “Número de alveolos de la miga”

Nombre:.....Fecha:..... ...
Objetivo de la prueba: determinar el “Número de alveolos” de la miga.
Criterio: número de alveolos / cm ² en la región central de la rebanada.
Pregunta: ¿Tiene la muestra 879 más “Número de alveolos” que la muestra 980 ?
Si No
Tache la respuesta que considere correcta
Observaciones:

E.6.- Formulario de respuesta para determinar la “Homogeneidad de los alveolos”

Nombre:.....Fecha:..... ...
Objetivo de la prueba: determinar la “Homogeneidad de los alveolos” en la miga.
Criterio: homogeneidad en el tamaño de los alveolos en la región central de la rebanada.
Pregunta: ¿Tiene la muestra 879 más es mas “Homogeneidad de los alveolos” que la de la muestra 980 ?
Si No
Tache la respuesta que considere correcta
Observaciones:

E.7.- Formulario de respuesta para determinar el “aroma/flavor láctico”

Nombre:.....		Fecha:.....	
...			
Objetivo de la prueba: determinar el “aroma láctico” de la miga.			
Criterio: lácteo, leche fermentada, yogur.			
Pregunta: ¿Tiene la muestra 786 es más “aroma láctico” que la muestra 910 ?			
Si		No	
Tache la respuesta que considere correcta			
Pregunta: ¿Tiene la muestra 786 es más “flavor láctico” que la muestra 910 ?			
Si		No	
Tache la respuesta que considere correcta			
Observaciones:			

E.8.- Formulario de respuesta para determinar “aroma/flavor acético”

Nombre:.....Fecha:.....	
...	
Objetivo de la prueba: determinar el “aroma acético” de la miga.	
Criterio: vinagre, ácido, punzante	
Pregunta: ¿Tiene la muestra 637 es más “aroma acético” que la muestra 821 ?	
Si	No
Tache la respuesta que considere correcta	
Pregunta: ¿Tiene la muestra 637 es más “flavor acético” que la muestra 821 ?	
Si	No
Tache la respuesta que considere correcta	
Observaciones:	

VALIDACION:

V.1.- Formulario de respuesta para validación

Fecha:		Hora:	
Nombre:			
Examine las tres muestras. Rodee con un círculo la clave de la muestra que considera distinta. Es indispensable que señale una de las tres.			
Código Mantel	Clave Muestra (Izquierda)	Clave Muestra (Medio)	Clave Muestra (Derecha)
1:			
2:			
3:			
Observaciones:			

Perfil sensorial de los panes

T.1.- Formulario de respuesta Prueba triangular:

Fecha:		Hora:	
Nombre:			
Examine las tres muestras. Rodee con un círculo la clave de la muestra que considera distinta. Es indispensable que señale una de las tres.			
Juego Nº	Clave (Izquierda)	Clave (Medio)	Clave (Derecha)
Describa la naturaleza de la diferencia detectada:			

Marque una línea vertical sobre la línea de base para describir la intensidad del atributo

Atributos de olor

Miga:

Levadura

Acido láctico

Vainilla

Nuez

Ciruela

Regaliz

Corteza:

Tostado

A u s e n t e

M u y p r o n u n c i a d o

Atributos de apariencia

Color corteza

Marrón claro

Color miga

Blanco

Homogeneidad alveolos

Baja

Nº alveolos de la miga

Pocos

Marrón
oscuro

Alta

Muchos

Atributos de textura

En mano:

Firmeza de la miga

Elasticidad de la miga

En boca:

Humedad de la miga

Cohesividad

M u y d é b i l

M u y p r o n u n c i a d o

Atributos de flavor

Miga:

Cereal

Acido

Dulce

Intensidad de flavor

Corteza:

Intensidad de flavor

Otros (especifíquense)

A u s e n t e

M u y p r o n u n c i a d o

Ensayos
alveográficos y consistográficos

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 13/03/2012
 HORA: 11:34

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.1
 NOMBRE DE FICHERO :03130300A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:27.0 %
 HARINA :BONPAIN MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :526 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 101 mmH2O
 L = 57 mm
 G = 16.8
 W = 200 10E-4J
 P/L = 1.78
 Ie = 44.5 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 28MIN

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 13/03/2012

HORA: 13:06

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.D1

NOMBRE DE FICHERO :03130301A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:26.0 %
HARINA :BONPAIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

P = 99 mmH2O
L = 63 mm
G = 17.7
W = 220 10E-4J
P/L = 1.56
Ie = 48.7 %
W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 13/03/2012
 HORA: 12:14

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.2
 NOMBRE DE FICHERO :03130302A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:26.0 %
 HARINA :BONPAIN MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :526 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 106 mmH2O
 L = 53 mm
 G = 16.1
 W = 200 10E-4J
 P/L = 2.02
 Ie = 44.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 28MIN

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 13/03/2012
HORA: 13:46

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.D2
NOMBRE DE FICHERO :03130303A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :BONPAIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :526 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

P = 97 mmH2O
L = 66 mm
G = 18.1
W = 220 10E-4J
P/L = 1.46
Ie = 48.3 %
W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 14/03/2012
HORA: 10:51

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.1
NOMBRE DE FICHERO :03140300A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:22.0 %
HARINA :BONPAIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :526 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.40 %
PrMax = 2942 mb
WA = 57.0 % b
HYD2200 = 54.5 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 14/03/2012
HORA: 11:09

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.11
NOMBRE DE FICHERO :03140301A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:22.0 %
HARINA :BONPAIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :526 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.40 %
HYD2200 = 54.5 % b
PrMax = 2261 mb
TPrMax = 148 s
Tol = 168 s
D250 = 460 mb
D450 = 992 mb

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 14/03/2012
HORA: 11:41

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.2
NOMBRE DE FICHERO :03140302A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:23.0 %
HARINA :BONPAIN MOLINO :URES
HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :526 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.40 %
PrMax = 3037 mb
WA = 57.4 % b
HYD2200 = 54.9 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 14/03/2012

HORA: 12:19

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.21
NOMBRE DE FICHERO :03140303A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:23.0 %
HARINA :BONPAIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :526 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.40 %
HYD2200 = 54.9 % b
PrMax = 2371 mb
TPrMax = 146 s
Tol = 186 s
D250 = 425 mb
D450 = 956 mb
WAC = 58.5 % b
HYD2200C= 56.0 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ALVEOLINK NG

CONSISTO HA

CHOPIN

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 14/03/2012
HORA: 12:43

REFERENCIA MUESTRA :BONPAIN.A.22
NOMBRE DE FICHERO :03140304A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 24.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :BONPAIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.40 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :526 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.40 %
HYD2200 = 56.0 % b
PrMax = 2150 mb
TPrMax = 185 s
Tol = 222 s
D250 = 160 mb
D450 = 711 mb

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 23/03/2012
 HORA: 12:12

REFERENCIA MUESTRA :CRACKLIN.A.1
 NOMBRE DE FICHERO :03230300A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:30.0 %
 HARINA :CRACKLIN MOLINO :URES
 HUMEDAD : 11.60 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :396 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 79 mmH2O
 L = 9 mm
 G = 6.5
 W = 30 10E-4J
 P/L = 9.18
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 A LOS 28MIN

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 23/03/2012

HORA: 13:44

REFERENCIA MUESTRA : CRACKLIN.ADI

NOMBRE DE FICHERO : 03230301A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.: 30.0 %
 HARINA : CRACKLIN MOLINO : URES
 HUMEDAD : 11.60 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA : 396 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 76 mmH₂O
 L = 11 mm
 G = 7.5
 W = 42 10E-4J
 P/L = 6.70
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V: d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 23/03/2012
 HORA: 13:16

REFERENCIA MUESTRA :CRACKLIN.A.2
 NOMBRE DE FICHERO :03230302A112

PARAMETROS		RESULTADO	
TEMP.LABO: 25.0 °C	HIGRO.LABO.:30.0 %	P = 86	mmH2O
HARINA :CRACKLIN	MOLINO :URES	L = 9	mm
		G = 6.6	
HUMEDAD : 11.60 %	PROTEINAS:	W = 37	10E-4J
A.D. :	ABSORCION:	P/L = 9.62	
ZELENY :	I.CAIDA :396 s	Ie = 0.0 %	
CENIZAS :	EXTRAC. :	W(0) = 0	10E-4J
GLUTEN :			

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 28 MIN

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 23/03/2012
 HORA: 14:47

REFERENCIA MUESTRA :CRACKLIN.AD2
 NOMBRE DE FICHERO :03230303A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:30.0 %
 HARINA :CRACKLIN MOLINO :URES
 HUMEDAD : 11.60 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :396 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 82 mmH2O
 L = 10 mm
 G = 7.0
 W = 39 10E-4J
 P/L = 8.32
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ALVEOLINK NG

CONSISTO HC

CHOPIN

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 22/03/2012
HORA: 12:48

REFERENCIA MUESTRA :CRACKLIN.A.1
NOMBRE DE FICHERO :03220300A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:35.0 %
HARINA :CRACKLIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 11.60 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :396 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 11.60 %
PrMax = 697 mb
WA = 47.0 % b
HYD2200 = 44.5 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 22/03/2012
HORA: 13:07

REFERENCIA MUESTRA :CRACKLIN.A11
NOMBRE DE FICHERO :03220301A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:35.0 %
HARINA :CRACKLIN MOLINO :URES

HUMEDAD : 11.60 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :396 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 11.60 %
HYD2200 = 44.5 % b
PrMax = 992 mb
TPrMax = 84 s
Tol = s
D250 = 158 mb
D450 = 175 mb
WAC = 21.3 % b
HYD2200C= 18.8 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ALVEOLINK NG

ALVEO HC

CHOPIN

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 15/03/2012
HORA: 11:24

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.1
NOMBRE DE FICHERO :03150300A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:30.0 %
HARINA :SENSAS MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :511 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

P = 189 mmH2O
L = 21 mm
G = 10.2
W = 180 10E-4J
P/L = 8.93
Ie = 0.0 %
W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 A LOS 28MIN

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 15/03/2012

HORA: 12:56

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.D.1
 NOMBRE DE FICHERO :03150301A112

PARAMETROS

RESULTADO

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:30.0 %
 HARINA :SENSAS MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :511 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

P = 190 mmH2O
 L = 22 mm
 G = 10.4
 W = 190 10E-4J
 P/L = 8.69
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 15/03/2012

HORA: 12:11

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.2
NOMBRE DE FICHERO :03150302A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:30.0 %
 HARINA :SENSAS MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :511 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 193 mmH2O
 L = 22 mm
 G = 10.6
 W = 195 10E-4J
 P/L = 8.58
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 A LOS 28MIN

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 15/03/2012

HORA: 13:43

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.D.2
 NOMBRE DE FICHERO :03150303A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:32.0 %
 HARINA :SENSAS MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :511 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 187 mmH2O
 L = 19 mm
 G = 9.8
 W = 160 10E-4J
 P/L = 9.66
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ESCALA 1/2:P>140mm

1 ■

2 ■

M □

200

100

0

100

200

300

L(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/03/2012

HORA: 10:26

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.1
NOMBRE DE FICHERO :03160300A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 20.0 °C HIGRO.LABO.:34.0 %
HARINA :SENSAS MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :511 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.00 %
PrMax = 3015 mb
WA = 57.3 % b
HYD2200 = 54.8 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/03/2012
HORA: 10:45

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.11
NOMBRE DE FICHERO :03160301A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 20.0 °C HIGRO.LABO.:33.0 %
HARINA :SENSAS MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :511 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.00 %
HYD2200 = 54.8 % b
PrMax = 2508 mb
TPrMax = 212 s
Tol = 184 s
D250 = 94 mb
D450 = 862 mb
WAC = 59.8 % b
HYD2200C= 57.3 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/03/2012

HORA: 11:10

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.12

NOMBRE DE FICHERO :03160302A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 21.0 °C HIGRO.LABO.:32.0 %
HARINA :SENSAS MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :511 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.00 %
HYD2200 = 57.3 % b
PrMax = 2200 mb
TPrMax = 210 s
Tol = 199 s
D250 = 78 mb
D450 = 664 mb

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/03/2012

HORA: 11:37

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A.2

NOMBRE DE FICHERO :03160303A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:32.0 %
HARINA :SENSAS MOLINO :URES
HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :511 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.00 %
PrMax = 2932 mb
WA = 56.9 % b
HYD2200 = 54.4 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/03/2012
HORA: 11:57

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A21
NOMBRE DE FICHERO :03160304A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:32.0 %
HARINA :SENSAS MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :511 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.00 %
HYD2200 = 54.4 % b
PrMax = 2506 mb
TPrMax = 214 s
Tol = 180 s
D250 = 87 mb
D450 = 793 mb
WAC = 59.6 % b
HYD2200C= 57.1 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/03/2012
HORA: 12:34

REFERENCIA MUESTRA :SENSAS.A22
NOMBRE DE FICHERO :03160305A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:31.0 %
HARINA :SENSAS MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.00 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :511 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.00 %
HYD2200 = 57.1 % b
PrMax = 2354 mb
TPrMax = 206 s
Tol = 194 s
D250 = 106 mb
D450 = 768 mb
WAC = 60.4 % b
HYD2200C= 57.9 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/04/2012
 HORA: 10:51

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.1
 NOMBRE DE FICHERO :04160300A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:32.0 %
 HARINA :E.NAVARRA MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :466 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 44 mmH2O
 L = 34 mm
 G = 13.0
 W = 47 10E-4J
 P/L = 1.28
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 A LOS 28MIN

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/04/2012
 HORA: 11:31

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.2
 NOMBRE DE FICHERO :04160301A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:31.0 %
 HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :466 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 42 mmH2O
 L = 45 mm
 G = 14.9
 W = 51 10E-4J
 P/L = 0.94
 Ie = 17.6 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 A LOS 28MIN

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/04/2012

HORA: 12:22

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.D.1

NOMBRE DE FICHERO :04160302A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 24.0 °C HIGRO.LABO.:30.0 %
 HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES
 HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :466 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 46 mmH2O
 L = 34 mm
 G = 13.0
 W = 52 10E-4J
 P/L = 1.35
 Ie = 0.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 16/04/2012

HORA: 13:03

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.D.2

NOMBRE DE FICHERO :04160303A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

P = 48 mmH2O
L = 39 mm
G = 13.8
W = 57 10E-4J
P/L = 1.23
Ie = 0.0 %
W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 17/04/2012
HORA: 10:04

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.1
NOMBRE DE FICHERO :04170300A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.80 %
PrMax = 2920 mb
WA = 56.9 % b
HYD2200 = 54.4 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 17/04/2012
HORA: 10:49

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.11
NOMBRE DE FICHERO :04170301A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.80 %
HYD2200 = 54.4 % b
PrMax = 1896 mb
TPrMax = 76 s
Tol = 94 s
D250 = 966 mb
D450 = 1110 mb
WAC = 55.8 % b
HYD2200C= 53.3 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 17/04/2012
HORA: 11:23

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.12
NOMBRE DE FICHERO :04170302A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.80 %
HYD2200 = 53.3 % b
PrMax = 2137 mb
TPrMax = 60 s
Tol = 79 s
D250 = 1192 mb
D450 = 1394 mb

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 17/04/2012

HORA: 12:45

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.2
NOMBRE DE FICHERO :04170303A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:23.0 %
HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES
HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.80 %
PrMax = 2786 mb
WA = 56.3 % b
HYD2200 = 53.8 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 17/04/2012
HORA: 13:13

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.21
NOMBRE DE FICHERO :04170304A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.80 %
HYD2200 = 53.8 % b
PrMax = 1801 mb
TPrMax = 78 s
Tol = 97 s
D250 = 936 mb
D450 = 1099 mb
WAC = 55.1 % b
HYD2200C= 52.6 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 17/04/2012
HORA: 13:36

REFERENCIA MUESTRA :ESPNAV.A.22
NOMBRE DE FICHERO :04170305A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 24.0 °C HIGRO.LABO.:24.0 %
HARINA :ESP.NAVARRA MOLINO :URES

HUMEDAD : 12.80 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :466 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 12.80 %
HYD2200 = 52.6 % b
PrMax = 1983 mb
TPrMax = 82 s
Tol = 99 s
D250 = 1028 mb
D450 = 1229 mb
WAC = 54.4 % b
HYD2200C= 51.9 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200
LO DAMOS POR VALIDO

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 10/04/2012
HORA: 08:54

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.1
NOMBRE DE FICHERO :04100300A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:34.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES

HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

P = 38 mmH2O
L = 62 mm
G = 17.5
W = 57 10E-4J
P/L = 0.61
Ie = 24.3 %
W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 A LOS 28MIN

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 10/04/2012
 HORA: 10:26

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.D1
 NOMBRE DE FICHERO :04100301A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:36.0 %
 HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES
 HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :494 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 39 mmH2O
 L = 56 mm
 G = 16.7
 W = 62 10E-4J
 P/L = 0.70
 Ie = 29.8 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 10/04/2012
 HORA: 11:48

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.2
 NOMBRE DE FICHERO :04100302A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:38.0 %
 HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES
 HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :494 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 35 mmH2O
 L = 57 mm
 G = 16.9
 W = 53 10E-4J
 P/L = 0.61
 Ie = 25.8 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 1 3 Y 5 A LOS 28MIN

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 10/04/2012
 HORA: 13:20

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.D2
 NOMBRE DE FICHERO :04100303A112

PARAMETROS

TEMP.LABO: 25.0 °C HIGRO.LABO.:38.0 %
 HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES
 HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :494 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

P = 36 mmH2O
 L = 59 mm
 G = 17.1
 W = 58 10E-4J
 P/L = 0.61
 Ie = 30.0 %
 W(0) = 0 10E-4J

COMENTARIOS

DISCOS 2 Y 4 A LAS 2 HORAS

V:d1.6A+4.6

H(mm)

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012
HORA: 08:11

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.1
NOMBRE DE FICHERO :04110300A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 21.0 °C HIGRO.LABO.:44.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES
HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
PrMax = 2523 mb
WA = 55.1 % b
HYD2200 = 52.6 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
 28040 MADRID ESPANA
 TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
 DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
 UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
 CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012
 HORA: 08:35

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.11
 NOMBRE DE FICHERO :04110301A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 21.0 °C HIGRO.LABO.:44.0 %
 HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES
 HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
 A.D. : ABSORCION:
 ZELENY : I.CAIDA :494 s
 CENIZAS : EXTRAC. :
 GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
 HYD2200 = 52.6 % b
 PrMax = 1899 mb
 TPrMax = 74 s
 Tol = 102 s
 D250 = 950 mb
 D450 = 1167 mb
 WAC = 54.2 % b
 HYD2200C= 51.7 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012
HORA: 09:06

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.12
NOMBRE DE FICHERO :04110302A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 21.0 °C HIGRO.LABO.:44.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES

HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
HYD2200 = 51.7 % b
PrMax = 1900 mb
TPrMax = 81 s
Tol = 98 s
D250 = 1012 mb
D450 = 1186 mb
WAC = 53.5 % b
HYD2200C= 51.0 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012

HORA: 10:04

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.13

NOMBRE DE FICHERO :04110303A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:44.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES

HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
HYD2200 = 51.0 % b
PrMax = 2123 mb
TPrMax = 69 s
Tol = 87 s
D250 = 1222 mb
D450 = 1410 mb

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ALVEOLINK NG

CONSISTO HC

CHOPIN

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012
HORA: 10:34

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.2
NOMBRE DE FICHERO :04110304A412

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:44.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES

HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
PrMax = 2476 mb
WA = 54.9 % b
HYD2200 = 52.4 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012
HORA: 10:59

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.21
NOMBRE DE FICHERO :04110305A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 22.0 °C HIGRO.LABO.:44.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES
HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
HYD2200 = 52.4 % b
PrMax = 1874 mb
TPrMax = 82 s
Tol = 101 s
D250 = 1019 mb
D450 = 1204 mb
WAC = 54.0 % b
HYD2200C= 51.5 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012
HORA: 11:53

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.22
NOMBRE DE FICHERO :04110306A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 23.0 °C HIGRO.LABO.:44.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES
HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
HYD2200 = 51.5 % b
PrMax = 2027 mb
TPrMax = 94 s
Tol = 110 s
D250 = 1053 mb
D450 = 1243 mb
WAC = 53.5 % b
HYD2200C= 51.0 % b

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

ETSIA TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID
28040 MADRID ESPANA
TEL.91 5436772 Y 91 3365745

ETSI AGRONOMOS UPM
DEP. TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
UNIDAD DE OPERACIONES BASICAS
CAMPOS DE PRACTICAS

FECHA: 11/04/2012
HORA: 12:21

REFERENCIA MUESTRA :ESPSAL.A.23
NOMBRE DE FICHERO :04110307A512

PARAMETROS

TEMP.LABO: 24.0 °C HIGRO.LABO.:43.0 %
HARINA :ESP.SALCEDO MOLINO :URES

HUMEDAD : 13.10 % PROTEINAS:
A.D. : ABSORCION:
ZELENY : I.CAIDA :494 s
CENIZAS : EXTRAC. :
GLUTEN :

RESULTADO

H2O = 13.10 %
HYD2200 = 51.0 % b
PrMax = 2085 mb
TPrMax = 100 s
Tol = 110 s
D250 = 1052 mb
D450 = 1302 mb

METODICA : AACC RING TEST PrMax MINI : 0 PrMax OBJET. : 2200

V:d1.6A+4.6

“No esperes que el rigor de tu camino
que tercamente se bifurca en otro,
que tercamente se bifurca en otro,
tendrá fin....”

J.L. Borges, 1969. Laberinto