

ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen	III
Abstract	V
Resum	VI
INTRODUCCIÓN	3
Los cereales	3
Estructura de los cereales	3
Valor nutritivo	4
Importancia en la alimentación humana	6
Industrialización de los cereales	8
Industrialización del trigo	8
Industrialización de la cebada	10
Industrialización del maíz	10
Industrialización del sorgo	13
Industrialización de avena	14
El pan	15
Proceso de panificación	16
Mercado de cereales implicados en estudio	18
BIBLIOGRAFÍA	21
OBJETIVO GENERAL	26
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	26
CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE LOS CEREALES A ESTUDIO: TRIGO, AVENA, MAÍZ Y SORGO.	
INTRODUCCIÓN	30
MATERIALES Y MÉTODOS	
Materias primas	34
Caracterización de las harinas	34
Composición química	34
Distribución del tamaño de partícula (DTP)	34
Determinación de color	35
Capacidad de retención de agua (CRA)	35
Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser (RVA)	35
Análisis estadístico	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Composición química	38
Distribución del tamaño de partícula (DTP)	40
Determinación de color	42
Capacidad de retención de agua (CRA)	43
Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser (RVA)	45

Análisis multivalente de componentes principales (PCA) del conjunto de todas las variables	51
CONCLUSIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55
CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA PANIFICACIÓN UTILIZANDO HARINA DE TRIGO SUSTITUIDA PARCIALMENTE POR HARINA DE AVENA, MAÍZ O SORGO.	
INTRODUCCIÓN	64
MATERIALES Y MÉTODOS	
Materias primas	67
Caracterización de las mezclas binarias de harinas	67
Distribución del tamaño de partícula (DTP)	67
Determinación de color de las harinas	67
Capacidad de retención de agua (CRA)	67
Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser (RVA)	67
Análisis de las masas	67
Fuerza (F), extensibilidad (E) y trabajo de deformación (TD)	67
Capacidad fermentativa	68
Análisis en pan	69
Elaboración	69
Pérdida de peso durante el horneado	69
Análisis del perfil de textura (TPA, Texture Profile Analysis)	69
Actividad de agua (a_w)	70
Determinación de color de las migas	70
Análisis sensorial	70
Análisis estadístico	71
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Caracterización de las mezclas binarias de harinas	72
Distribución del tamaño de partícula (DTP)	72
Determinación de color de las harinas	74
Capacidad de retención de agua (CRA)	76
Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser (RVA)	78
Análisis de las masas	86
Fuerza (F), extensibilidad (E) y trabajo de deformación (TD)	86
Capacidad fermentativa	89
Análisis en pan	90
Pérdida de peso durante el horneado	90
Análisis del perfil de textura (TPA, Texture Profile Analysis)	91

Actividad de agua (a_w)	95
Determinación de color de las migas	97
Análisis sensorial	99
CONCLUSIONES	101
BIBLIOGRAFÍA	102
CAPÍTULO III. MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS HARINAS DE AVENA, MAÍZ Y SORGO PARA INCIDIR SOBRE SU CAPACIDAD PANIFICADORA.	
INTRODUCCIÓN	111
MATERIALES Y MÉTODOS	
Tratamiento térmico de las harinas	113
Preparación de las mezclas de harinas	113
Caracterización de las harinas	113
Distribución del tamaño de partícula (DTP)	113
Determinación de color	113
Capacidad de retención de agua (CRA)	113
Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser (RVA)	113
Análisis en masas	114
Elaboración de la masa	114
Capacidad fermentativa	114
Análisis en pan	114
Elaboración de pan y pérdida de peso durante el horneado	114
Análisis de envejecimiento	114
Evaluación de textura (Texture Profile Analysis (TPA))	114
Variación de peso	114
Actividad de agua (a_w)	114
Análisis sensorial	115
Análisis estadístico	115
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Caracterización de las harinas	116
Distribución del tamaño de partícula (DTP)	116
Determinación de color	118
Capacidad de retención de agua (CRA)	121
Análisis de viscosidad: Rapid Visco Analyser (RVA)	125
Análisis en masas	130
Capacidad fermentativa	130
Análisis en pan	135
Pérdida de peso durante el horneado	135
Análisis de envejecimiento	137
Evaluación de textura (Texture Profile Analysis (TPA))	138
Variación de peso	147
Actividad de agua (a_w)	148

Análisis sensorial	149
CONCLUSIONES	152
BIBLIOGRAFÍA	154
CONCLUSIONES GENERALES	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
INTRODUCCIÓN		
1	Diagrama esquemático de los cereales.	4
2	Diagrama del proceso de panificación.	17
3	Precios medios de los cereales en España campaña 2014/2015.	20
 CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE LOS CEREALES A ESTUDIO: TRIGO, AVENA, MAÍZ Y SORGO.		
I.1	Figura típica del RVA.	36
I.2	Capacidad de retención de agua (CRA) de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	44
I.3	Temperatura de empaste de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	46
I.4	Viscosidad pico de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	47
I.5	Viscosidad final de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	49
I.6	Análisis de componentes principales (PCA) para la totalidad de las variables analizadas [Humedad (% Hd), Proteínas (% P), Lípidos (% G), Cenizas (% C), Carbohidratos (% CH), tamaño de partícula (D[4,3]µm), color (L*, a*, b* C* y H*), capacidad de retención de agua (CRA), viscosidad de las harinas [(temperatura de empaste (Te), viscosidad pico (Vp), viscosidad final (Vf), viscosidad mínima (Vm), viscosidad ruptura (V rup), viscosidad restitución (Vr)].	53
 CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA PANIFICACIÓN UTILIZANDO HARINA DE TRIGO SUSTITUIDA PARCIALMENTE POR HARINA DE AVENA, MAÍZ O SORGO.		
II.1	Capacidad de retención de agua (CRA) de harina de trigo (HT) y las mezclas de HT con harina de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS).	77

II.2	Desarrollo de viscosidad generada por la sustitución de HT con HA en los diferentes niveles (2.5, 5, 7.5 o 10%).	79
II.3	Desarrollo de viscosidad generada por la sustitución de HT con HM en los diferentes niveles (2.5, 5, 7.5 o 10%).	79
II.4	Desarrollo de viscosidad generada por la sustitución de HT con HS en los diferentes niveles (2.5, 5, 7.5 o 10%).	80
II.5	Temperatura de empaste de harina de trigo (HT) y las mezclas de HT con harina de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS).	81
II.6	Viscosidad pico de harina de trigo (HT) y las mezclas de HT con harina de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS).	82
II.7	Viscosidad final de harina de trigo (HT) y las mezclas de HT con harina de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS).	84
II.8	Volumen de la masa (cm ³) de harina de trigo (HT) y las mezclas de HT con harina de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS) a una hora de fermentación.	89
II.9	Pérdida de peso durante el horneado de la masa obtenida de harina de trigo (HT) y las mezclas de HT con harina de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS).	91
II.10	Actividad de agua de panes obtenidos de harina de trigo (HT) y las mezclas de HT con harina de avena (HA), maíz (HM) o sorgo (HS).	96

CAPÍTULO III. MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS HARINAS DE AVENA, MAÍZ Y SORGO PARA INCIDIR SOBRE SU CAPACIDAD PANIFICADORA.

III.1	Gráfico de superficie para los valores de capacidad de retención de agua de la harina HT sustituida al 10 o 20% con HA (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min). — HT: HA 10% (mezcla harina de trigo y harina de avena al 10% sin tratamiento térmico); — HT (harina de trigo).	122
III.2	Gráfico de superficie para los valores de capacidad de retención de agua de la harina HT sustituida al 10 o 20% con HM (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min). — HT: HM 10% (mezcla harina de trigo y harina de maíz al 10% sin tratamiento térmico); — HT (harina de trigo).	123
III.3	Gráfico de superficie para los valores de capacidad de retención de agua de la harina HT sustituida al 10 o 20% con HS (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min). — HT: HS 10% (mezcla harina de trigo y harina de sorgo al 10% sin tratamiento térmico); — HT (harina de trigo).	124
III.4	Temperatura de empaste de las mezclas de HT sustituidas al 10 o 20% con harina de avena (HA), harina de maíz (HM) o harina de sorgo (HS) tratadas a 80, 100 o 130°C durante 30 minutos. — Harina de trigo (HT); — HT: HA 10% sin tratamiento térmico; — HT: HM 10% sin	

	tratamiento térmico; — HT: HS 10% sin tratamiento térmico.	126
III.5	Viscosidad pico de las mezclas de HT sustituidas al 10 o 20% con harina de avena (HA), harina de maíz (HM) o harina de sorgo (HS) tratadas a 80, 100 o 130°C durante 30 minutos. — Harina de trigo (HT); — HT: HA 10% sin tratamiento térmico; — HT: HM 10% sin tratamiento térmico; — HT: HS 10% sin tratamiento térmico.	127
III.6	Viscosidad final de las mezclas de HT sustituidas al 10 o 20% con harina de avena (HA), harina de maíz (HM) o harina de sorgo (HS) tratadas a 80, 100 o 130°C durante 30 minutos. — Harina de trigo (HT); — HT: HA 10% sin tratamiento térmico; — HT: HM 10% sin tratamiento térmico; — HT: HS 10% sin tratamiento térmico.	128
III.7	Gráfico de superficie para los valores de volumen de la masa (cm ³) de la harina HT sustituida al 10 o 20% con HA (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min). — HT: HA 10% (mezcla harina de trigo y harina de avena al 10% sin tratamiento térmico); — HT (harina de trigo).	132
III.8	Gráfico de superficie para los valores de volumen de la masa (cm ³) de la harina HT sustituida al 10 o 20% con HM (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min). — HT: HM 10% (mezcla harina de trigo y harina de maíz al 10% sin tratamiento térmico); — HT (harina de trigo).	133
III.9	Gráfico de superficie para los valores de volumen de la masa (cm ³) de la harina HT sustituida al 10 o 20% con HS (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min). — HT: HS 10% (mezcla harina de trigo y harina de sorgo al 10% sin tratamiento térmico); — HT (harina de trigo).	135
III.10	Pérdida de peso durante el horneado de los panes elaborados con harina HT sustituida al 10 y 20% por HA tratada térmicamente a 80, 100 y 130°C, por HM al 10% tratada a 130°C y por HS al 10 y 20% de sustitución tratada a 130°C. — HT: HA 10%; — HT: HM 10%; — HT: HS 10%; — HT, todas ellas sin tratamiento térmico.	137
III.11	Resultados de dureza (N) de los panes elaborados con harina HT sustituida al 10 y 20% por HA tratada térmicamente a 80, 100 y 130°C, por HM al 10% tratada a 130°C y por HS al 10 y 20% de sustitución tratada a 130°C. — HT: HA 10%; — HT: HM 10%; — HT: HS 10%; — HT, todas ellas sin tratamiento térmico.	140
III.12	Resultados de gomosidad de los panes elaborados con harina HT sustituida al 10 y 20% por HA tratada térmicamente a 80, 100 y 130°C, por HM al 10% tratada a 130°C y por HS al 10 y 20% de sustitución tratada a 130°C. — HT: HA 10%; — HT: HM 10%; — HT: HS 10%; — HT, todas ellas sin tratamiento térmico.	142

III.13	Resultados de masticabilidad de los panes elaborados con harina HT sustituida al 10 y 20% por HA tratada térmicamente a 80, 100 y 130°C, por HM al 10% tratada a 130°C y por HS al 10 y 20% de sustitución tratada a 130°C. — HT: HA 10%; — HT: HM 10%; — HT: HS 10%; — HT, todas ellas sin tratamiento térmico.	144
--------	--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
	INTRODUCCIÓN	
1	Valor nutritivo de los principales cereales contenidos en 100 g de grano crudo.	6
2	Precios a futuro de la Bolsa de Granos de Chicago de los cereales implicados en esta investigación (trigo, avena, maíz y sorgo).	19
	CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE LOS CEREALES A ESTUDIO: TRIGO, AVENA, MAÍZ Y SORGO.	
I.1	Composición química de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	40
I.2	Distribución del tamaño de partícula (DTP) de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	41
I.3	Análisis de color de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	42
I.4	Resultado de viscosidad mínima, viscosidad de ruptura y viscosidad de restitución de la harina de trigo, avena, maíz y sorgo.	51
	CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA PANIFICACIÓN UTILIZANDO HARINA DE TRIGO SUSTITUIDA PARCIALMENTE POR HARINA DE AVENA, MAÍZ O SORGO.	
II.1	Distribución del tamaño de partícula (DTP) de HT y de HT sustituida con HA, HM o HS.	73
II.2	Resultados de color de HT y de HT sustituida con HA, HM o HS.	75
II.3	Resultados de viscosidad mínima, viscosidad de ruptura y viscosidad de restitución de HT y de HT sustituida con HA, HM o HS.	85
II.4	Propiedades físicas de las masas obtenidas de HT y las mezclas de HT sustituidas con HA, HM o HS.	88
II.5	Dureza, elasticidad y cohesividad de los panes obtenidos de HT y de HT sustituida con HA, HM o HS.	93

II.6	Gomosidad, masticabilidad y resiliencia de los panes obtenidos de HT y de HT sustituida con HA, HM o HS.	94
II.7	Resultados de color de la miga del pan elaborado con HT y de HT sustituida con HA, HM o HS.	98
II.8	Resultados de la cata del pan elaborado con HT y de HT sustituida con HA, HM o HS.	100

CAPÍTULO III. MODIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS HARINAS DE AVENA, MAÍZ Y SORGO PARA INCIDIR SOBRE SU CAPACIDAD PANIFICADORA.

III.1	Distribución del tamaño de partícula (DTP) de HT sustituida con HA, HM o HS al 10 o 20% (tratadas a 80, 100 o 130°C durante 30 minutos), así como de HT y de HT: HA, HT: HM y HT: HS al 10% sin tratamiento térmico.	117
III.2	Determinación de color de HT sustituida con HA, HM o HS al 10 o 20% (tratadas a 80, 100 o 130°C durante 30 minutos), así como de HT y de HT: HA, HT: HM y HT: HS al 10% sin tratamiento térmico.	121
III.3	Resultados de viscosidad mínima, viscosidad de ruptura y viscosidad de restitución de HT y HT sustituida con HA, HM o HS al 10 o 20% (tratadas a 80, 100 o 130°C/30 min). Mezclas de HT: HA 10%, HT: HM 10% y HT: HS 10%, sin tratamiento térmico.	129
III.4	Resultados de elasticidad, cohesividad y resiliencia de los panes elaborados con harina HT sustituida al 10 y 20% por HA tratada térmicamente a 80, 100 y 130°C, por HM al 10% tratada a 130°C y por HS al 10 y 20% de sustitución tratada a 130°C. HT: HA 10%; HT: HM 10%; HT: HS 10%; HT, todas ellas sin tratamiento térmico.	146
III.5	Variación de peso del pan elaborado con HT y de HT sustituida con HA al 10 o 20% (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min), HM al 10% o HS al 10 o 20% (tratadas a 130°C/30 min) durante el estudio de envejecimiento.	148
III.6	Actividad de agua de la miga del pan elaborado con HT y de HT sustituida con HA, HM o HS al 10 o 20% (tratadas a 80, 100 o 130°C durante 30 minutos), así como de HT y de HT: HA, HT: HM y HT: HS al 10% sin tratamiento térmico.	149
III.7	Resultados de la cata del pan elaborado con HT y de HT sustituida con HA al 10 o 20% (tratada a 80, 100 o 130°C/30 min), HM al 10% o HS al 10 o 20% (tratadas a 130°C/30 min).	151