



TESIS DOCTORAL

**Influencia varietal y ambiental en las características
agronómicas y de calidad del trigo duro (*Triticum turgidum* (L.)
Thell. ssp. *durum* Desf.). Implicaciones en la selección de
nuevas variedades**

Nuno Manuel Barroso Pinheiro

Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Florestal

2017



Tesis doctoral

**Influencia varietal y ambiental en las características
agronómicas y de calidad del trigo duro (*Triticum turgidum* (L.)
Thell. ssp. *durum* Desf.).. Implicaciones en la selección de
nuevas variedades**

Memoria presentada por

Nuno Manuel Barroso Pinheiro

Para optar al grado de Doctor en Ingeniería Agronómica

DRª MARÍA JOSÉ POBLACIONES, Profesora Contratado Doctor de la Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura,

DRª ANA RITA PEREIRA DA COSTA, Investigadora Auxiliar del INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária en Elvas

y

DRª ANA SOFIA VIEIRA DÍAS DE ALMEIDA, Investigadora Auxiliar del INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária en Elvas

CERTIFICAN:

Que la presente Memoria titulada “Influencia varietal y ambiental en las características agronómicas y de calidad del trigo duro (*Triticum turgidum* (L.) Thell. ssp. *durum* Desf.). Implicaciones en la selección de nuevas variedades”, que presenta el Mestre Nuno Manuel Barroso Pinheiro, para optar al Grado de Doctor, ha sido realizada bajo su dirección y constituye sin lugar a dudas un trabajo de Tesis que cumple con los requisitos requeridos para optar dicho grado por la Universidad de Extremadura, por lo que autorizan su presentación a la Comisión de Doctorado de esta Universidad.

Y para que conste, expedimos el presente certificado en Badajoz a 10 de Enero de 2017.

Fdo. María José Poblaciones

Fdo. Ana Sofia de Almeida

Fdo. Ana Rita Pereira da Costa

AGRADECIMIENTOS

Al terminar un trabajo tan largo en el tiempo y lleno de dificultades como es el desarrollo de una tesis, lo primero que haces es mirar hacia atrás y acordarte de todas esas personas e instituciones que sin su participación y ayuda, hubiera sido imposible finalizarla. Por ello, para mí es un placer poder expresar mis agradecimientos.

En primer lugar, a mi gran amiga la Dr^a Ana Rita Costa, por todo su apoyo, comprensión, ayuda y una disponibilidad incansable en la realización de esta tesis, como también por todo el aliento que me dio siempre, depositando toda su confianza en mí desde el primer día.

A la Profesora y amiga Dr^a Maria José Poblaciones, quien de una manera amable se ofreció para ser mi orientadora, por su inestimable ayuda, apoyo en todos los aspectos relacionados con el tratamiento de los datos, redacción de la tesis, como también por todo el ánimo transmitido, incluso desde el otro lado del mundo, a la hora de hacer este trabajo.

A la Dr^a Ana Sofia Almeida a quien agradezco todo su apoyo y disponibilidad en la orientación de muchos aspectos relacionados con la metodología empleada en este trabajo, como también por su amistad.

Al Dr. Benvindo Martins Maçãs, Director de la Unidad de Biotecnología y Recursos Genéticos, por su amistad, por los años de enseñanza sobre el mundo de la mejora genética de cereales, y por haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades necesarias al desarrollo de esta tesis.

A todo el equipo del laboratorio de análisis químicos de la Estación, por toda su ayuda en la determinación de todos los parámetros relacionados con la calidad tecnológica. Un especial agradecimiento al ingeniero José Moreira por su inestimable ayuda y paciencia en la determinación del índice de gluten de todas las líneas empleadas en esta tesis.

A la Dr^a Sara Morales Rodrigo por su amistad y disponibilidad cuando fue necesario en el tratamiento de los datos de esta tesis.

Al Dr. José Coutinho, por su amistad y ayuda en la corrección de aspectos relacionados con la redacción de la Tesis.

A todos mis compañeros del Departamento de Cereales, por su amistad, ayuda y por todos los momentos vividos juntos a lo largo de estos años. Sin vuestra colaboración esto no hubiera sido posible.

A mi familia: A mi Padre João Manuel y a mi Madre Maria Fernanda, por su cariño y amor, sobre todo por enseñarme que lo esencial en la vida siempre es invisible a los ojos. A mis dos hijas Maria y Leonor, os digo que os quiero mucho, más que nunca, fue pensando

también en vosotras que luché para conseguir finalizar esta tesis que siempre os prometí que un día acabaría. A mis tres hermanos Luis, Miguel y Duarte que los llevo siempre conmigo.

De vuestro amigo, gracias, muchas gracias a todas y a todos. Muchos besos y abrazos.

ÍNDICE

Índice General

1. ANTECEDENTES	1
1.1 CLASIFICACIÓN, EVOLUCIÓN Y DOMESTICACIÓN DEL TRIGO	1
1.2 FENOLOGÍA DEL TRIGO	6
1.3 RENDIMIENTO EN GRANO Y SUS COMPONENTES.....	11
1.4 EL CLIMA MEDITERRÁNEO	12
1.4.1. <i>Influencia en el desarrollo del trigo</i>	13
1.4.2. <i>Caracterización climática del Sur de Portugal</i>	14
1.4.3 <i>Interacción genotipo x ambiente - implicaciones en la mejora genética</i>	23
1.5 LA IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL TRIGO DURO.....	25
1.6 EL TRIGO DURO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA VERSUS LA POLÍTICA AGRÍCOLA COMÚN (PAC).....	28
1.7 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL TRIGO DURO	30
1.8 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL TRIGO DURO	32
1.8.1 <i>Análisis Físicos</i>	34
1.8.1.1 Peso hectolitro	34
1.8.1.2 Vitrosidad.....	34
1.8.1.3 Peso de 1000 granos.....	34
1.8.1.4 Humedad	35
1.8.2 <i>Análisis Químicos</i>	35
1.8.2.1 Proteínas	35
1.8.2.2 Cenizas.....	36
1.8.2.3 Índice de Gluten.....	36
1.8.2.4 Rendimiento en sémola	37
1.8.2.5 Pigmentos carotenoides	37
1.9 MEJORA GENÉTICA CONVENCIONAL - METODOLOGÍAS DE SELECCIÓN.....	39
1.9.1 <i>Pedigree o selección genealógica</i>	42
1.9.2 <i>Bulk o selección Masal</i>	42
1.10 MEJORA DEL TRIGO DURO EN PORTUGAL	43
1.11 EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL GENÉTICO DE PRODUCCIÓN EN EL INIAV-ELVAS.....	47
1.12 ENCUADRAMIENTO ACTUAL DE LA MEJORA GENÉTICA DEL INIAV-ELVAS	48

1.13 OBTENCIÓN DE SEMILLA DE UNA NUEVA VARIEDAD	49
2. OBJETIVOS	53
3. MATERIAL Y MÉTODOS	59
3.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	59
3.1.1 <i>Caracterización del suelo</i>	59
3.1.1.1 <i>Caracterización del perfil del suelo y determinación de la reserva útil de agua</i>	60
3.1.1.2 <i>Monitorización de la humedad del suelo a lo largo del ciclo de desarrollo</i>	61
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	62
3.3 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO Y METODOLOGIA DE SU OBTENCIÓN	62
3.4 TÉCNICAS CULTURALES	65
3.5 DETERMINACIONES Y ANÁLISIS	66
3.5.1 <i>Parámetros fenológicos, morfológicos y agronómicos</i>	67
3.5.2 <i>Parámetros de calidad tecnológica del grano</i>	68
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	71
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	75
4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS	75
4.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE LAS DOS LOCALIZACIONES DE LOS ENSAYOS	78
4.3 CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA	82
4.4 ALTURA DE LAS PLANTAS	87
4.5 CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA	88
4.5.1 <i>Producción de Grano, Granos/m² y Peso 1000 Granos</i>	88
4.5.2 <i>Biomasa y Índice de Cosecha</i>	97
4.5.3 <i>Correlaciones entre las características agronómicas y fenológicas</i>	98
4.5.4 <i>Análisis de la Variabilidad Genética</i>	99
4.5.4.1 <i>Método de ordenación (Análisis de los componentes principales – ACP)</i>	100
4.5.4.2 <i>Método de aglomeración</i>	110
4.6 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD TECNOLÓGICA	111
4.6.1 <i>Proteína, SDS y Peso Hectolitro</i>	111
4.6.2 <i>Rendimiento en sémola, vitrosidad y cenizas</i>	115
4.6.3 <i>Índices de color: L*, a*, b* e índices de amarillos</i>	118
4.6.4 <i>Índice de gluten</i>	122

4.6.5	<i>Correlaciones entre las características de calidad tecnológica</i>	123
4.6.6	<i>Análisis de la Variabilidad Genética</i>	127
4.6.6.1	Método de ordenación (Análisis de los componentes principales – ACP)	127
4.6.6.2	Método de aglomeración	137
4.7	LA ETAPA FINAL	141
5.	CONCLUSIONES	145
6.	CONCLUSÕES	149
7.	BIBLIOGRAFIA	153

Índice Tablas

TABLA 1.1. BALANCE DEL SECTOR MUNDIAL DEL TRIGO DURO EN EL PERIODO 2011-2015.	26
TABLA 1.2. BALANCE COMUNITARIO DEL TRIGO DURO EN LAS CAMPAÑAS 2013/14 Y 2014/15	27
TABLA 1.3. PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE PASTAS ALIMENTICIAS (TONELADAS).....	27
TABLA 1.4. CONSUMO DE PASTAS ALIMENTICIAS EN EL MUNDO (KG PER CÁPITA AL AÑO).....	28
TABLA 1.5. PRINCIPALES ASPECTOS RELACIONADOS CON LA CALIDAD DEL TRIGO DURO SEGÚN LOS INTERMEDIARIOS IMPLICADOS.	31
TABLA 1.6. PARAMETROS DE CALIDAD SEMOLERA DEFINIDOS POR LA INDUSTRIA PORTUGUESA PARA EL TRIGO DURO.	33
TABLA 1.7. MÉTODOS UTILIZADOS EN LA DETERMINACIÓN DEL COLOR DE LA SEMOLINA DEL TRIGO DURO.	39
TABLA 1.8. REQUISITOS DE CALIDAD DE LAS CATEGORÍAS DE SEMILLAS EN CEREALES AUTOGAMOS. ..	51
TABLA 3.1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO DE LA EMP Y DE LA HERDADE DA COMENDA.	60
TABLA 3.2. GENEALOGÍA DEL GERMOPLASMA UTILIZADO EN EL ESTUDIO Y SU CÓDIGO CORRESPONDIENTE	65
TABLA 3.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS ENSAYOS Y TÉCNICAS CULTURALES EMPLEADAS EN LOS DOS AÑOS DE ESTUDIO.	66
TABLA 4.1. VALORES MEDIOS DE LAS PRINCIPALES VARIABLES CLIMÁTICAS DE LAS ZONAS DE ESTUDIO: EMP Y HERDADE DA COMENDA. LOS VALORES CORRESPONDEN A LA MEDIA DE LOS ÚLTIMOS 50 AÑOS (1961-2010).....	75
TABLA 4.2. MEDIA DE LA CANTIDAD DE PRECIPITACIÓN (MM) EN EL ALENTEJO POR DECENIOS EN EL PERIODO 1931-1991, EN 51 ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	76
TABLA 4.3. SUMATORIO DE LOS GRADOS-DÍA DE CRECIMIENTO ACUMULADOS EN DIFERENTES INTERVALOS Y LOS VALORES DE PRECIPITACIÓN VERIFICADOS EN LOS MISMOS PERÍODOS, DURANTE LOS DOS AÑOS DEL ESTUDIO.....	76
TABLA 4.4. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO EN LA EMP- ELVAS Y EN LA HERDADE DA COMENDA A 30 CM DE PROFUNDIDAD	79
TABLA 4.5. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DE LAS LONGITUDES DE CICLO EN CUANTO A LOS DÍAS AL ESPIGADO, DÍAS A MADUREZ FISIOLÓGICA Y DÍAS DE LLENADO DEL GRANO EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES SEMI-ÁRIDAS MEDITERRÁNEAS.	82
TABLA 4.6. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DE LA ALTURA DEL TALLO, EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.....	87
TABLA 4.7. MEDIA, LIMITES DE VARIACIÓN Y RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANCIA EN CADA LOCALIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y SUS COMPONENTES Y OTROS PARÁMETROS AGRONÓMICOS PARA LAS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS DOS AÑOS 2011/12 Y 2012/13 EN CONDICIONES MEDITERRÁNEAS	89
TABLA 4.8. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DE LA PRODUCCIÓN, PESO DE 1000 GRANOS Y GRANOS POR METRO CUADRADO EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.	89
TABLA 4.9. VALORES RELATIVOS A LA TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS DURANTE EL PERIODO DEL LLENADO DEL GRANO Y TODA LA PRECIPITACIÓN OCURRIDA DURANTE EL DESARROLLO VEGETATIVO, COMO TAMBIÉN EL VALOR DE LOS RIEGOS SUPLEMENTARES EFECTUADOS Y SU IMPLICACIÓN EN EL RENDIMIENTO FINAL.	90
TABLA 4.10. MEDIAS DE LOS ENSAYOS Y VALORES DE LA PRODUCCIÓN Y SUS COMPONENTES DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS EN LOS DOS AÑOS 2011/12 Y 2012/13.....	95
TABLA 4.11. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DEL LA BIOMASA A LA MADURACIÓN E ÍNDICE DE COSECHA EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.....	97

TABLA 4.12. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN (R) ENTRE LOS PARÁMETROS AGRONÓMICOS Y FENOLÓGICOS DE LAS 30 LINEAS ESTUDIADAS EN EL AÑO 2011/12 Y 2012/13.	99
TABLA 4.13. LIMITES DE VARIACIÓN OBSERVADOS EN LAS CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS.....	100
TABLA 4.14. CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS Y LOS TRES PRIMEROS COMPONENTES EN EL ANÁLISIS MATRIZ.	109
TABLA 4.15. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DEL LA PROTEÍNA EN EL GRANO (%), SDS (MM) Y PESO DEL HECTOLITRO (KG HL ⁻¹) EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.....	111
TABLA 4.16. MEDIA, LIMITES DE VARIACIÓN Y RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANCIA PARA CADA LOCAL, DE LOS DIFERENTES PARÁMETROS DE CALIDAD TECNOLÓGICA PARA LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS DOS AÑOS 2011/12 Y 2012/13 EN CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.	112
TABLA 4.17. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DEL RENDIMIENTO EN SÉMOLA, VITROSIDAD DEL GRANO Y CENIZAS EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.	115
TABLA 4.18. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DE LOS ÍNDICES L*, A*, B* Y EL ÍNDICE DE AMARILLOS (PCI) EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.....	119
TABLA 4.19. ANOVA (G.L. GRADOS DE LIBERTAD Y ESTADÍSTICO F) DEL ÍNDICE DE GLUTEN (IG) EN LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13 BAJO CONDICIONES MEDITERRÁNEAS.....	122
TABLA 4.20. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN (R) ENTRE LOS DIFERENTES PARÁMETROS DE CALIDAD EN LOS 30 GENOTIPOS EN EL AÑO 2011/12 Y 2012/13	125
TABLA 4.21. LÍMITES DE VARIACIÓN OBSERVADOS EN LAS CARACTERÍSTICAS ESTUDIADAS.....	127
TABLA 4.22. CORRELACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS Y LOS TRES PRIMEROS COMPONENTES EN EL ANÁLISIS MATRIZ.	127
TABLA 4.23.COMPORTAMIENTO DE LOS GENOTIPOS DE ACUERDO CON LA MEDIA DE LOS DOS AÑOS (2011/12 Y 2012/13) PARA ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS, TENIENDO COMO REFERENCIA LOS CINCO MÁS PRODUCTIVOS EN CADA CARACTERÍSTICA	139

Índice Figuras

FIGURA 1.1. EVOLUCIÓN DE LOS TRIGOS POLIPLOIDES, DESDE LAS ESPECIES SILVESTRES HASTA LAS CULTIVADAS (FELDMAN, 1978; JAASKA Y JAASKA, 1980).....	3
FIGURA 1.2. EVOLUCIÓN DURANTE LA DOMESTICACIÓN DEL TRIGO (ORTEGA, 2013). 1. TRIGO EINKORN, DIPLOIDE CON 14 CROMOSOMAS; 2. PASTOS SILVESTRES DEL GÉNERO AEGILOPS; 3. TRIGO EMMER, DURO TETRAPLOIDE CON 28 CROMOSOMAS. 4. TRIGO COMÚNMENTE USADO PARA ELABORAR PAN, HEXAPLOIDE CON 42 CROMOSOMAS.	4
FIGURA 1.3. ESPIGAS Y GRANOS DE TRIGOS EINKORN, EMMER Y SPELT.....	5
FIGURA 1.4. LA REGIÓN DEL CRECIENTE FÉRTIL, ORIGEN DE LA DOMESTICACIÓN DEL TRIGO (LEVYADUN, 2000; BROWN <i>ET AL.</i> , 2009; FULLER <i>ET AL.</i> , 2012).....	5
FIGURA 1.5. INICIACIÓN FLORAL “ <i>DOUBLE RIDGE</i> ” (EN CASTELHANO DOBLE-ARRUGA), CORRESPONDE AL ESTADIO EC 30 DE LA ESCALA DE ZADOKS <i>ET AL.</i> (1974).....	7
FIGURA 1.6. DINÁMICAS DE INICIACIÓN DE HOJAS, ESPIGUILLAS Y FLORES A LO LARGO DEL DESARROLLO DEL CULTIVO DEL TRIGO. FUENTE: ADAPTADO DE MIRALLES, 2004.....	8
FIGURA 1.7. DIFERENTES ETAPAS DEL DESARROLLO DEL GRANO DEL TRIGO	9
FIGURA 1.8. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CICLO DE DESARROLLO DEL TRIGO. EL DIAGRAMA IDENTIFICA LOS ESTADIOS, SIEMBRA (SE), EMERGENCIA (EM), INICIACIÓN FLORAL (IF), “ <i>DOUBLE RIDGE</i> ” (DR), FORMACIÓN DE LA ESPIGUILLA TERMINAL (ET), ESPIGADO (ESP), ANTESIS (ANT), INICIO DEL LLENADO DEL GRANO (ILLG), MADURACIÓN FISIOLÓGICA (MF) Y COSECHA (C). LAS CAJAS REPRESENTAN LOS PERIODOS DE DIFERENCIACIÓN O DESARROLLO DE ALGUNOS ÓRGANOS DURANTE LAS FASES VEGETATIVA, REPRODUCTIVA O DE LLENADO DEL GRANO (IPF- INICIACIÓN DE LOS PRIMORDIOS FLORALES; MPF- MUERTE DE LOS PRIMORDIOS FLORALES). LAS LÍNEAS REPRESENTAN LOS MOMENTOS EN EL TIEMPO EN QUE LOS DIFERENTES COMPONENTES DEL RENDIMIENTO SE FORMAN. FUENTE: ADAPTADO DE SLAFER Y RAWSON (1994).	10
FIGURA 1.9. SECUENCIA DE LA FORMACIÓN DE LOS COMPONENTES QUE TRADUCEN EL RENDIMIENTO FINAL DE GRANO. FUENTE: (GOMES, 1999; ALMEIDA, 2007; COCO, 2013).	12
FIGURA 1.10. DISTRIBUCIÓN DE LOS AMBIENTES MEDITERRÁNEOS EN EL MUNDO (FUENTE: ALMEIDA, 2007).	13
FIGURA 1.11. MEDIAS DE LA LLUVIA DE INVIERNO DURANTE LOS PERIODOS DE TREINTA AÑOS 1953/1980 Y 1981/2010 EN EL ALENTEJO.	15
FIGURA 1.12. MEDIAS DE LA LLUVIA DE PRIMAVERA DURANTE LOS PERIODOS DE TREINTA AÑOS 1953/1980 Y 1981/2010 EN EL ALENTEJO.	15
FIGURA 1.13. VARIABILIDAD EN LA CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL DE AÑO PARA AÑO. REGISTROS DEL PERÍODO MENSUAL ENTRE 2004 Y 2014. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA PORTUGUESA – INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).	17
FIGURA 1.14. TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (OCTUBRE A JUNIO) ENTRE 2004 A 2014. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA PORTUGUESA – INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).	18
FIGURA 1.15. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS SUPERIORES A 15°C DE MARZO A JUNIO, ENTRE 2004 A 2014. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA PORTUGUESA – INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).	19
FIGURA 1.16. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS SUPERIORES A 23°C DE MARZO A JUNIO, ENTRE 2004 A 2014. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS DEL IPMA.	20
FIGURA 1.17. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS SUPERIORES A 32°C DE MARZO A JUNIO, ENTRE 2004 A 2014. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA PORTUGUESA – INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).	21

FIGURA 1.18. VALORES DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ABSOLUTA DURANTE EL PERIODO DEL LLENADO DEL GRANO PARA LOS AÑOS 2005, 2010 Y 2015.....	23
FIGURA 1.19. TIPOS DE INTERACCIÓN DEL GENOTIPO CON EL AMBIENTE (G x E). FUENTE: SQUILASSI, 2003.	25
FIGURA 1.20. VALORES DE LA PRODUCCIÓN MEDIA DEL TRIGO DURO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y EN LA UE ENTRE 2004-2014. FUENTE: EUROSTAT (2015).....	29
FIGURA 1.21. SUPERFICIE CULTIVADA EN LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS CON TRIGO DURO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA Y EN LA UE. FUENTE: EUROSTAT (2015).....	29
FIGURA 1.22. ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRIGO. FUENTE: ADAPTADO DE WHEAT FLOUR INSTITUTE, HOSENEY (1991).....	31
FIGURA 1.23. PROCESO DE EMASCULACIÓN DE LA ESPIGA.	41
FIGURA 1.24. POLINIZACIÓN Y OBTENCIÓN DEL GRANO HÍBRIDO.	41
FIGURA 1.25. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCESO DE SELECCIÓN POR MÉTODO GENEALÓGICO O PEDIGREE. ADAPTADO DE POEHLMAN (1983).	42
FIGURA 1.26. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCESO DE SELECCIÓN POR BULK METHOD. ADAPTADO DE POEHLMAN (1983).	43
FIGURA 1.27. NÚMERO DE CRUZAMIENTOS REALIZADOS EN TRIGO DURO, EN LA EMP-ELVAS EN LAS 11 ÚLTIMAS CAMPAÑAS AGRÍCOLAS.	45
FIGURA 1.28. NÚMERO DE LÍNEAS SEGREGANTES DE TRIGO DURO, RESULTANTES DE DIFERENTES GENERACIONES EN LAS ÚLTIMAS 11 CAMPAÑAS AGRÍCOLAS EN LA EMP-ELVAS.	46
FIGURA 1.29. NÚMERO DE LÍNEAS AVANZADAS DE TRIGO DURO EN ENSAYOS DE RENDIMIENTO EN LAS ÚLTIMAS 11 CAMPAÑAS AGRÍCOLAS EN LA EMP-ELVAS.	46
FIGURA 1.30. EL PROGRESO A NIVEL DEL POTENCIAL DE RENDIMIENTO DEL PROGRAMA DE MEJORA DEL INIAV - ELVAS.	47
FIGURA 1.31. ESQUEMA RELATIVO AL CIRCUITO DE PRODUCCIÓN DE SEMILLA PRE-BASE.	50
FIGURA 3.1. CARTOGRAFIA EN LA CUAL SE LOCALIZAN LOS DOS LOCALES DONDE SE REALIZÓ EL ESTUDIO DURANTE LOS AÑOS 2011/12 Y 2012/13.....	59
FIGURA 3.2. MALLA METALICA EMPLEADA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MÁXIMA DEL SISTEMA RADICULAR.	61
FIGURA 3.3. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO Y PANEL ONLINE DE VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	61
FIGURA 3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ENSAYO DURANTE LOS AÑOS 2011/2012 Y 2012/2013.	62
FIGURA 3.5. ESQUEMA RELATIVO AL PROCESO DE MEJORA GENÉTICO EMPLEADO A LO LARGO DE LOS AÑOS 2003-2013.	63
FIGURA 4.1. PRECIPITACIÓN (ANUAL Y MENSUAL) Y TEMPERATURAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS MEDIAS MENSUALES DURANTE LOS AÑOS 2011/12 Y 2012/13 Y DE LA MEDIA DE LOS 30 AÑOS. FUENTE: INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).....	77
FIGURA 4.2. VARIACIÓN MENSUAL DE LAS PRECIPITACIONES DE LOS DOS AÑOS 2011/12 Y 2012/13 CON RESPECTO A LA MEDIA DE LOS 30 AÑOS. FUENTE: INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).	78
FIGURA 4.3. FOTOGRAFÍA QUE ILUSTRAS EL DESARROLLO DE LAS RAÍCES DEL TRIGO A LO LARGO DEL PERFIL DEL SUELO EN LA FASE DE GRANO LECHOSO (EC-73).	79
FIGURA 4.4. PERFIL DE RAÍCES Y PROFUNDIDAD DEL SUELO, OBTENIDO POR LA METODOLOGÍA DEL ARVALIS, 2012, DURANTE LOS DOS AÑOS DEL ESTUDIO.	80
FIGURA 4.5. GRÁFICA RESULTANTE DE LA MONITORIZACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DESARROLLO VEGETATIVO DE LOS GENOTIPOS DURANTE EL AÑO 2012. FUENTE: CENTRO OPERATIVO Y TECNOLÓGICO DEL REGADÍO (COTR).	81
FIGURA 4.6. GRÁFICA RESULTANTE DE LA MONITORIZACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL DESARROLLO VEGETATIVO DE LOS GENOTIPOS DURANTE EL AÑO 2013. FUENTE: CENTRO OPERATIVO Y TECNOLÓGICO DEL REGADÍO (COTR).	81
FIGURA 4.7. COMPORTAMIENTO DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS SOBRE EL NÚMERO DE DÍAS AL ESPIGADO DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA	

COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	83
FIGURA 4.8. COMPORTAMIENTO DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS SOBRE EL NÚMERO DE DÍAS A LA MADUREZ FISIOLÓGICA DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	84
FIGURA 4.9. COMPORTAMIENTO DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS SOBRE EL NÚMERO DE DÍAS DE LLENADO DEL GRANO DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	85
FIGURA 4.10. VALORES DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS REGISTRADAS DESDE EL ESPIGADO HASTA LA MADUREZ FISIOLÓGICA Y VALORES DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA OCURRIDA EN DICHO PERIODO MÁS LOS VALORES DE LA CANTIDAD DE AGUA APORTADA COMO RIEGO SUPLEMENTAR. FUENTE: INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).	86
FIGURA 4.11. VALORES DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS REGISTRADAS DESDE EL ESPIGADO HASTA LA MADUREZ FISIOLÓGICA Y VALORES DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA OCURRIDA EN DICHO PERIODO. FUENTE: INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMOSFERA (IPMA).	86
FIGURA 4.12. ALTURA DEL TALLO DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	87
FIGURA 4.13. PRODUCCIÓN DE GRANO (KG HA ⁻¹) DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	90
FIGURA 4.14. NÚMERO DE GRANOS POR METRO CUADRADO DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	91
FIGURA 4.15. PESO DE 1000 GRANOS DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	92
FIGURA 4.16. BIOMASA A LA MADURACIÓN (KG HA ⁻¹) DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	97
FIGURA 4.17. ÍNDICE DE COSECHA (%) DE LOS GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	98
FIGURA 4.18. PROYECCIÓN DE LOS 30 GENOTIPOS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 2.	101
FIGURA 4.19 . PROYECCIÓN DE LAS 9 CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 2.	103
FIGURA 4.20. PROYECCIÓN DE LOS 30 GENOTIPOS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 3.	105
FIGURA 4.21. PROYECCIÓN DE LAS 9 CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 3.	107
FIGURA 4.22. DENDROGRAMA BASADO EN EL ANÁLISIS DE LOS VALORES DE LA MATRIZ DE DISTANCIAS EUCLIDIANAS, OBTENIDO USANDO EL MÉTODO UPGMA.	110

FIGURA 4.23. PROTEÍNA M.S. (%) DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	113
FIGURA 4.24. SDS (MM) DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	113
FIGURA 4.25. PESO DEL HECTOLITRO (KG HL ⁻¹) DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	114
FIGURA 4.26. RENDIMIENTO EN SÉMOLA (%) DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	116
FIGURA 4.27. VITROSIDAD DEL GRANO (%) DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	117
FIGURA 4.28. PORCENTAJE DE CENIZAS EN EL GRANO DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	118
FIGURA 4.29. VALOR DEL ÍNDICE L* DEL MINOLTA CIE EN LA SÉMOLA DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	120
FIGURA 4.30. VALOR DEL ÍNDICE A* DEL MINOLTA CIE EN LA SÉMOLA DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	121
FIGURA 4.31. VALOR DEL ÍNDICE B* DEL MINOLTA CIE EN LA SÉMOLA DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	121
FIGURA 4.32. VALOR DEL ÍNDICE DE AMARILLOS DEL MINOLTA CIE EN LA SÉMOLA DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR.	122
FIGURA 4.33. VALOR DEL ÍNDICE DE GLUTEN (IG) DE LOS 30 GENOTIPOS ESTUDIADOS DURANTE LOS AÑOS AGRÍCOLAS 2011/12 Y 2012/13. LA BARRA VERTICAL DE CADA COLUMNA REPRESENTA SU ERROR ESTÁNDAR. LAS BARRAS VERTICALES DE LA IZQUIERDA DE LA FIGURA INDICAN LA LSD PARA LA COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS: LA DE LA IZQUIERDA AL MISMO NIVEL DE AÑO, Y LA DE LA DERECHA A DISTINTO NIVEL DE AÑO.	123
FIGURA 4.34. PROYECCIÓN DE LOS 30 GENOTIPOS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 2.....	129
FIGURA 4.35. PROYECCIÓN DE LOS 30 GENOTIPOS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 2.....	131

FIGURA 4.36. PROYECCIÓN DE LAS 10 CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 3.....	133
FIGURA 4.37. PROYECCIÓN DE LAS 10 CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ EN EL PLANO DEFINIDO POR LAS COMPONENTES PRINCIPALES 1 Y 3.....	135
FIGURA 4.38. DENDROGRAMA BASADO EN EL ANÁLISIS DE LOS VALORES DE LA MATRIZ DE DISTANCIAS EUCLIDIANAS, OBTENIDO USANDO EL MÉTODO UPGMA.	137

Abreviaturas

EC – Estadio de Crecimiento; *Growth stage*

Se – Siembra

Em – Emergencia

IF – Iniciación floral

DR – Doble arruga; *Double ridge*

ET – Espiguilla terminal

Esp – Espigado

Ant – Antesis

LLG – Llenado del grano

MF – Maduración fisiológica

C – Cosecha

IPF – Iniciación primordios foliares

MPF – Muerte de los primordios foliares

Csa – Clima templado húmedo con verano seco y caluroso

Csb – Clima templado húmedo con verano seco y templado

INIAV – Instituto Nacional de Investigación Agraria y Veterinaria, IP

ANPOC – Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Cereales

EMP – Estación de Mejora de Plantas

CIC – Consejo Internacional de Cereales

UE – Unión Europea

EE.UU. – Estados Unidos de Norte América

IPO – International Pasta Organization

IGC – Índice General de Calidad

SDS – Dodecil Sulfato Sódico

AETC – Asociación Española de Tecnicos Cerealistas

LPX – Enzimas Lipoxigenasas

POD – Enzimas peroxidases

PPO – Polifenol oxidasas

CIE L*a*b* - Commission Internationale de L'Eclairage

CIMMYT – Centro Internacional de Mejora de Maíz y Trigo

Rht – Genes de reducción de la altura

CNV – Catalogo Nacional de Variedades

IC – Índice de Cosecha

DHE – Distintas, homogéneas y Estables

CCV – Catálogo Común de variedades

ICVV – Instituto Comunitario de las Variedades Vegetales

R1 – Semilla certificada 1ª generación

R2 – Semilla certificada 2ª generación
G0 – Generación 0
G1 – Semilla pre-base
G3 o G4 – Semilla base
MAPA – Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
DRAAL – Dirección Regional de Agricultura del Alto Alentejo
Pmg – Suelos Pardos Mediterraneos de Quartzodioritos
AI – Aluviosolos Modernos de Textura Ligera
FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
C/N – Relación carbono/nitrógeno
ARVALIS – Institut du Vegetal
COTR – Centro Operativo y Tecnológico del Regadío
FDR - Refectometria en el Dominio de Frecuencias
NTSYS-pc – Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System
UPGMA – Unweighted Paired Group Method Using Averages
ACP – Analisis de los Componentes Principales
IPMA – Instituto Portugues del Mar y de la Atmósfera
GDC – Días Grado Crecimiento
RU – Reserva útil
ANOVA – Analysis of Variance
LSD – Least Significant Difference
DAA – Días después de la antesis
CV – Coeficiente de variación
DG – Distancia genética
UTO – Unidad Taxonómica Operativa
PCI – Índice de amarillos
IG – Índice de Gluten
F1 – 1ª generación
F2 – 2ª generación
F3 – 3ª generación
F4 – 4ª generación
F5 – 5ª generación
F6 – 6ª generación
F7 – 7ª generación
F8 – 8ª generación
F9 – 9ª generación

Resumen

Durante dos años (2011/12 y 2012/13) y en dos localizaciones distintas (EMP y H. Comenda), se realizó la evaluación del potencial agronomico y tecnológico de 27 genotipos o líneas avanzadas de trigo duro seleccionadas y acompañadas durante los 13 años anteriores, en el Programa de Mejora Genética de Cereales de la Estación de Mejora de Plantas en Elvas (INIAV–Elvas). En este estudio se han comparado los 27 genotipos con 3 testigos (variedades comerciales) en condiciones semiáridas mediterráneas, con el objetivo principal de seleccionar algún(s) nuevo(s) genotipo(s) para inscribir en el Catálogo Portugués de Variedades.

La irregularidad ambiental verificada durante los dos años del estudio, principalmente a nivel de la distribución de las precipitaciones a lo largo del ciclo de desarrollo vegetativo (269,7 mm en 2011/12 y 656,7mm en 2012/13), determino que, en el primero año se efectuasen riegos de apoyo, por forma a garantizar el buen manejo del cultivo. Esos condicionantes, asociados a las diferencias existentes a nivel de los suelos en los dos locales, determinaron que del punto de vista agronómico, la producción final de grano, varió en los dos años (6545kg/ha y 5332kg/ha en 2011/12 y 2012/13, respectivamente). La producción se encontró altamente correlacionada con el número de granos/m² ($r=0,907^{**}$) y se verificó una correlación negativa entre el numero de granos por unidad de superficie y el peso final del grano ($r=-0,562^{**}$). Este aspecto, indica que, en condiciones de clima mediterráneo, el proceso de selección genética del trigo duro deberá centrarse en el aumento del número de granos por unidad de superficie. Ese incremento deberá ser conducido por el aumento del tamaño y fertilidad de la espiga en detrimento del aumento de la biomasa. Del comportamiento de los genotipos estudiados, se destacaron INIAV16, INIAV20, INIAV21, INIAV26 e INIAV28, como los que presentaron regularidad a nivel agronómico. De referir la regularidad productiva de la variedad testigo Celta, que, mientras ser una variedad con muchos años sigue mostrando un comportamiento de referencia para esto tipo de ambiente.

En cuanto a la calidad tecnológica, se evidenció la importancia del ajuste del itinerario técnico en función del patrón climático anual y, principalmente la importancia del nitrógeno en la calidad del grano. La proteína presentó valores más elevados en 2011/12 con 13,6% como valor medio, comparado con los 11,5% en 2012/13, fruto de la mayor aportación de nitrógeno en el primer año. El parámetro cenizas, presentó valores elevados, no existiendo diferencias significativas entre los dos años. La vitrosidad, parámetro de gran importancia en la valoración comercial de esta especie, mostró diferencias a lo largo de los dos años de ensayo, con 98% de media en 2011/12, frente a los 80% del 2012/13. El Índice de gluten, indicador esencial en la cocción de la pasta, estuvo inversamente correlacionado con la proteína, así como con la vitrosidad y el índice de amarillos, verificándose valores más elevados en 2012/13. El rendimiento en sémola, al estar directamente correlacionado con la vitrosidad del grano, fue más elevado en el año 2011/12 con 55% de valor medio. Los tres indicadores del color

obtenidos en el Minolta L*, a* y b*, bien como el índice de amarillos (PCI), el año agrícola influyó significativamente en estos parámetros, presentando todos valores superiores en 2011/12. De los genotipos evaluados, se destacaron, a nivel tecnológico, los genotipos INIAV11, INIAV14, INIAV16, INIAV19, INIAV20, INIAV21 y INIAV28.

Se recurrió al análisis de los componentes principales (ACP) para evaluar la variabilidad genética del germoplasma en estudio, se consiguiendo, de esta forma, mejor visualizar la distribución de los genotipos en el espacio y asociarlos con las características morfológicas, agronómicas y tecnológicas analizadas. Este análisis mostró que los 3 primeros ejes explican el 78,02% de la variabilidad existente en este grupo de germoplasma basándose en las características morfológicas y agronómicas y 67,9% basándose en las características de calidad tecnológica. La presentación de los dendrogramas ayudaran a agrupar los genotipos de acuerdo con sus características, siendo más una herramienta estadística de selección.

De acuerdo con el objetivo principal de esta tesis doctoral y basando en los resultados obtenidos, se seleccionaron dos genotipos, INIAV11 e INIAV20, los cuales se encuentran en proceso de inscripción al Catalogo Portugués de Variedades con las siglas **TE 1202** y **TE 1203**.

Palabras clave: germoplasma, genotipo, trigo duro, población segregante, parámetros agronómicos, parámetros tecnológicos, mejora genética, análisis de los componentes principales, Catálogo Nacional de Variedades (CNV).

Resumo

Durante dois anos (2011/12 e 2012/13), em dois locais distintos (EMP e H. Comenda), realizou-se a avaliação do potencial agronómico e tecnológico de 27 genótipos ou linhas avançadas de trigo duro selecionadas e acompanhadas durante os 13 anos anteriores, no Programa de Melhoramento Genético de Cereais da Estação de Melhoramento de Plantas (INIAV-Elvas). Neste estudo compararam-se os 27 genótipos com 3 testemunhas (variedades comerciais) em condições semiáridas mediterrânicas com o objetivo principal de era selecionar algum(s) novo(s) genótipo(s) para inscrição no Catálogo Nacional de Variedades (CNV).

A irregularidade ambiental verificada durante os dois anos do estudo, principalmente, ao nível da distribuição das precipitações ao longo do ciclo de desenvolvimento vegetativo, (269,7mm em 2011/12 e 656,7mm em 2012/13), determinou que, no primeiro ano se efetuassem algumas regas suplementares, de forma a garantir a boa condução da cultura. Esses condicionalismos, associados às diferenças existentes ao nível do solo nos dois locais, determinaram que do ponto de vista agronómico, a produção final de grão, variasse nos dois anos (6545kg/ha e 5332kg/ha em 2011/12 e 2012/13, respetivamente). A produção mostrou-se altamente correlacionada com o número de grãos/m² ($r=0,907^{**}$) e verificou-se uma correlação negativa entre o número de grãos por unidade de superfície e o peso final do grão ($r=-0,562^{**}$). Este aspecto, indica que, em condições de clima mediterrânico, a seleção genética do trigo duro deverá focar-se no aumento do número de grãos por unidade de área. Esse incremento deverá ser conduzido pelo aumento do tamanho e fertilidade da espiga em detrimento do aumento da biomassa. Do comportamento dos genótipos estudados, destacamos o INIAV16, INIAV20, INIAV21, INIAV26 e INIAV28, como aqueles que apresentaram regularidade ao nível agronómico. De salientar a regularidade produtiva da variedade testemunha Celta, que, apesar de ser uma variedade com muitos anos de existência continua a mostrar um comportamento de referência para este tipo de ambiente.

Ao nível da qualidade tecnológica, constatou-se a importância do ajustamento do itinerário técnico em função do padrão climático do ano e, principalmente a importância do azoto na qualidade do grão. A proteína apresentou valores mais elevados em 2011/12 com 13,6% de valor medio, comparado com os 11,5% em 2012/13, como consequência da maior quantidade de azoto aplicado no primeiro ano. O índice de sedimentação SDS revelou uma grande influência ambiental, verificando-se uma redução dos valores em 2012/13, em comparação com os obtidos em 2011/12. O parâmetro cinzas, apresentou valores elevados, não se verificando diferenças significativas entre anos. A vitreosidade, parâmetro de grande importância na valorização comercial desta espécie, mostrou diferenças entre os dois anos de ensaio, com 98% de media em 2011/12, frente aos 80% de 2012/13. O índice de glúten, indicador essencial de cozedura da massa, esteve inversamente correlacionado com a proteína, assim como com a vitreosidade e o índice de amarelos, verificando-se valores mais elevados em 2012/13. O rendimento em sêmola, ao estar diretamente correlacionado com a

vitreosidade do grão, mostrou valores mais elevados no ano 2011/12 com 55% de valor medio. Os três indicadores da cor obtidos pelo Minolta L*, a* e b*, bem como o índice de amarelos (PCI), o ano agrícola influenciou significativamente estes parâmetros, apresentando todos valores superiores em 2011/12. Dos genótipos avaliados destacaram-se, ao nível tecnológico, o INIAV11, INIAV14, INIAV16, INIAV19, INIAV20, INIAV21 e INIAV28.

Recorreu-se à análise de componentes principais (ACP) para avaliar a variabilidade genética do germoplasma em estudo, conseguindo-se, desta forma, melhor visualizar a distribuição dos genótipos no espaço e associá-los com as características morfológicas, agronômicas e tecnológicas analisadas. Esta análise mostrou que os 3 primeiros eixos explicam 78,02% da variabilidade existente neste grupo de germoplasma, baseando-se nas características morfológicas e agronômicas e 67,9% baseando-se nas características de qualidade tecnológica. A apresentação dos dendrogramas ajudaram a agrupar os genótipos de acordo com as suas características, servindo também como ferramenta estatística de seleção.

De acordo com o objetivo principal desta tese e baseado nos resultados obtidos, selecionaram-se dois genótipos, INIAV11 e INIAV20, para os quais já se propôs a inscrição ao Catálogo Nacional de Variedades com as siglas **TE1202** e **TE 1203**.

Palavras Chave: germoplasma, genótipo, trigo duro, população segregante, parâmetros agronômicos, parâmetros tecnológicos, análise dos componentes principais, melhoramento genético, Catálogo Nacional de Variedades (CNV).

ABSTRACT

During two years (2011/12 and 2012/13) at two different sites near Elvas, it was carried out in semi arid conditions, a study concerning the agronomic and technological behavior, of 27 durum wheat advanced lines (F8 and F9) breed and selected during 13 years, in cereal Department at Plant Breeding Station – Elvas – Portugal. In this study the 27 genotypes with three commercial varieties were used as checks were compared in Mediterranean semi-arid conditions with the main objective evaluated in order to choose the best genotypes with the objective to be registered in the National Varieties Catalogue (CNV).

The climatic irregularity verified during the two years of the study, mainly the rain distribution (269,7mm in 2011/12 and 656,7mm in 2012/13), during the wheat growth cycle gave us support to decide to apply artificial irrigation in the first year, in order to guarantee a normal growth development of the germplasm. These aspects, which are, also, associated with the existence of differences at soil level in both locations, showed that from an agronomic point of view, the final grain yield varied from year to year (6545 kg/ha and 5332 kg/ha of average values in 2011/12 and 2012/13 respectively). The production is highly correlated with the number of grains / m² ($r = 0.907^{**}$). It was also found, a negative correlation between the number of grains per unit area and the final grain weight ($r = -0.562^{**}$). This may show that, in mediterranean climatic conditions, the way to speed up the selection of the best developed germplasm will be by increasing the number of grains per unit area rather than the biomass per si, through the size of the spikes. According with the behavior of the studied genotypes, we highlight the lines INIAV16, INIAV20, INIAV21, INIAV26 and INIAV28, as being those that presented good agronomic regularity during the two years of trials. It must be point out that the check variety Celta, which, despite being breed at Elvas in the 90's, still remains a reference for yield and regularity over the years in this type of environment.

On what concern to quality, the use of suitable cultural practices shown to be for of great importance due to the annual climatic pattern, specifically the moment and number of nitrogen applications during the growth development of the genotypes. The protein presented higher values in 2011/12 with 13,6% as average value, compared to 11,5% in 2012/13, as a consequence of the higher amount of nitrogen applied in the first year. SDS sedimentation index showed the influence of the environment, with a decrease of the values in 2012/13 compared to those obtained in 2011/12. Ashes showed higher values, and there were no significant differences between years. The vitreousness, parameter of great importance for commercial valorization of this species, showed differences between the two years of trials, with 98% of average in 2011/12, compared to 80% of 2012/13. Gluten index an important parameter of pasta cooking was inversely correlated with protein, as well as with vitreousness and yellow index, with higher values in 2012/13. Semolina yield that is directly correlated with the vitreousness of the grain, the highest values during 2011/12. The three color parameters obtained by Minolta L * a * b * the year were highly correlated with them, with higher values in

2011/12. Yellow index (CPI) was also better in 2011/12. Of the evaluated lines, INIAV11, INIAV14, INIAV16, INIAV19, INIAV20 and INIAV21 stood out from the technological values.

Principal components analysis (PCA) was used to better visualize the distribution of the genotypes in association with the studied morpho-agronomic and technological characteristics. This analysis showed that the first 3 axes explain 78,02% of the variability in this germplasm group for the morphological and agronomic characteristics and 67,9% of the variability for the technological characteristics. The presentation of dendrograms, served to group the genotypes according to their characteristics, and also as a statistical tool for selection.

Finally two advanced INIAV11 and INIAV20, were selected for inscription in the Portuguese National Catalogue, based on the results obtained and supported by the trials and data presented in this thesis. They are **TE1202** and **TE 1203**.

Keywords: Germplasm, durum wheat, segregating population, agronomic parameters, technological parameters, principal component analysis, dendrogram, genetic improvement, National Catalogue of Varieties (CNV).

ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

La domesticación de las plantas, un proceso prolongado y simultáneo en las grandes civilizaciones antiguas, no fue sino resultado de la selección inducida por parte del hombre, que buscaba alcanzar un mayor rendimiento en sus frutos comestibles o utilizables para satisfacer sus necesidades de supervivencia. El hombre pudo pasar de nómada a sedentario cuando aprendió a obtener de los frutos una parte importante de su sustento. Históricamente los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importante de la humanidad y están asociados al origen de las civilizaciones y cultura de todos los pueblos. El término “cereal” viene del latín *cerealis* (relacionado con Ceres, la antigua diosa romana del trigo y de la agricultura).

1.1 CLASIFICACIÓN, EVOLUCIÓN Y DOMESTICACIÓN DEL TRIGO

La palabra trigo proviene del vocablo latino *Triticum*, que significa ‘quebrado’, ‘triturado’ o ‘trillado’, haciendo referencia a la manipulación que se realiza para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre. *Triticum* significa, por lo tanto, el grano que es necesario trillar para poder ser consumido (Pallarés *et al.*, 2007). El grano de los cereales es utilizado para hacer harina, sémola y malta, así como una gran variedad de productos alimenticios derivados de éstos, como pan, galletas, cerveza, pasta, aperitivos, etc. (Mergoum *et al.*, 2009).

El trigo es un cultivo perteneciente a la familia *Poaceae*, subfamilia *Pooideae*, tribu *Triticeae*, género *Triticum*. Desde el punto de vista filogenético, las especies de trigo constituyen una serie clásica de poliploides que tienen como base una dotación de siete cromosomas (Akhunov *et al.*, 2005). Las especies de este género se clasifican en función de su número de cromosomas en: diploides ($2n=2x=14$), tetraploides ($2n=4x=28$) y hexaploides ($2n=6x=42$), siendo el número básico de cromosomas (x) igual a siete y sus genomas AA, AABB y AABBDD, respectivamente.

En 1753, Carl von Linné propuso una primera clasificación de los trigos basándose en diferencias fisiológicas y morfológicas. Posteriormente, y como resultado de los trabajos en citogenética de Sakamura en 1918, apareció una nueva clasificación que atendía al número de cromosomas presentes en cada tipo morfológico previamente reconocido (Ortega, 2013). Después de este descubrimiento básico, un gran número de botánicos y genetistas propusieron sus propias clasificaciones. Actualmente la más aceptada es la clasificación de Mac Key (1988), debido a que es una de las que más respeta las reglas de la nomenclatura botánica y la única que otorga igual importancia a los criterios morfológicos, fisiológicos, citológicos, genéticos, bioquímicos y evolutivos.

Género *Triticum* L. (Clasificación propuesta por Mac Key, 1988).- Section *Monococca* Flaksb.*Triticum monococcum* L.subsp. *monococcum*subsp. *boeoticum* (Boiss.) Á. Löve y D. Lövevar. *aegilopoides* (Link) MacKeyvar. *thaouidar* (Reuter in Bourg. ex Hausskn.) Percival*Triticum urartu* Tumanian ex Gandilyan- Section *Dicoccoidea* Flaksb.○ *Triticum turgidum* L.subsp. *turgidum*var. *turgidum*var. *durum* (Desf.) MacKeyvar. *turancium* (Jakubz.) MacKeyvar. *polonicum* (L.) MacKeysubsp. *carthlicum* (Nevski in Kom.) Á. Löve y D. Lövesubsp. *dicoccum* (Schränk ex Schüler) Thell.subsp. *georgicum* (Dekapr. y Menabde) MacKeysubsp. *dicoccoides* (Körn. ex Asch. y Graebner) Thell.○ *Triticum timopheevii* (Zhuk.) Zhuk.subsp. *timopheevii*subsp. *armeniicum* (Jakubz.) MacKey- Section *Speltoidea* Flaksb.○ *Triticum aestivum* L.subsp. *aestivum*subsp. *compactum* (Host) MacKeysubsp. *macha* (Dekapr. y Menabde) MacKeysubsp. *spelta* (L.) Thell.subsp. *sphaerococcum* (Percival) MacKey○ *Triticum zhukovskyi* Menabde y Ericzjan

En la historia evolutiva del trigo cobran especial relevancia las especies: *Triticum urartu* (trigo *Einkorn*, con dotación genómica AA), *Aegilops speltoides* (el cual contribuyó al genoma B del trigo) y *Aegilops tauschii* (Goatgrass, con dotación genómica DD), ya que son respectivamente las fuentes diploides inmediatas o parientes más cercanos, portadores de los genomas A, B y D de los trigos poliploides (Dvorak *et al.*, 1998; Akhunov *et al.*, 2005). La

primera sección en la clasificación del género *Triticum* está constituida por los trigos diploides, que presentan la dotación genómica más simple, genoma AA y 14 cromosomas. Este grupo se considera el más ancestral en la evolución del trigo. Existen dos líneas evolutivas de trigos diploides, portadoras de dos genomas A distintos, distinguiéndose el procedente de *T. urartu* (Tumanian ex Gandilyan, Einkorn wheat), y el genoma A de *T. boeoticum* (Boiss.), el cual se ha propuesto como el ancestro del genoma A de *T. monococcum* L. (Golovkina *et al.*, 2007).

Los trigos alotetraploides comprenden un conjunto de especies de dotación genética AABB y un total de 28 cromosomas. En este grupo destaca *T. turgidum* L. en el que podemos citar las siguientes subespecies: subsp. *turgidum* var. *durum* Desf. (trigo duro), subsp. *carthlicum* (Nevski in Kom.) Á. Löve y D. Löve, subsp. *dicoccum* (Schrank ex Schüler) Thell, subsp. *georgicum* (Dekapr. y Menabde) Mackey, y subsp. *dicoccoides* (Körn. ex Asch. y Graebner) Thell (Ortega, 2013). Estos trigos tetraploides proceden de la hibridación de dos especies diploides silvestres, una probablemente cercana a *A. speltoides* Tausch. (Genoma BB aunque generalmente es designado por SS) y *T. urartu* Tumanian (trigo Einkorn, genoma AA), (Feldman, 1978; Jaaska y Jaaska, 1980; Akhunov *et al.*, 2005; Jauhar, 2006; Petersen *et al.*, 2006) (Figura 1.1). Estas dos especies hibridaron hace aproximadamente medio millón de años y produjeron un híbrido tetraploide ancestral al que se le denomina trigo *Emmer*.

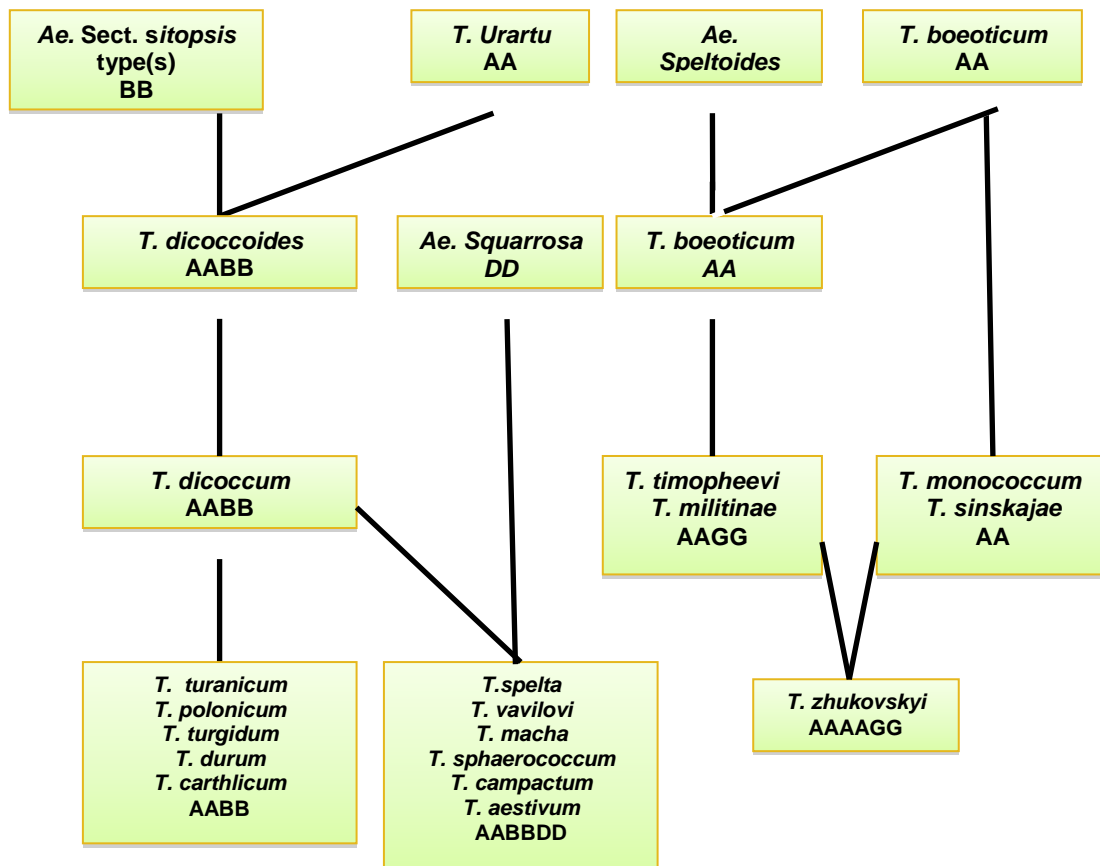


Figura 1.1. Evolución de los trigos poliploides, desde las especies silvestres hasta las cultivadas (Feldman, 1978; Jaaska y Jaaska, 1980).

El responsable del conjunto génico B sigue siendo dudoso a pesar de los numerosos estudios filogenéticos y al empleo de herramientas genéticas cada vez más precisas y sofisticadas (Liu *et al.*, 2003; Provan *et al.*, 2004; Petersen *et al.*, 2006; Golovnina *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007; Schneider *et al.*, 2008). Esta teoría está apoyada por estudios moleculares realizados con secuencias de ADN cromosómicas específicas (Liu *et al.*, 2003; Golovnina *et al.*, 2007).

Triticum aestivum da nombre a la serie de trigos alohexaploides de dotación genómica AABBDD y 42 cromosomas. Comprende un número de subespecies, diferenciadas por un reducido grupo de genes principales (Dvorak *et al.*, 1998). Al igual que los trigos tetraploides, existen dos grupos claramente diferenciados, aquellos que presentan glumas (grano cubierto), entre los que se pueden citar las subespecies: *spelta* (trigo espelta), *macha*, *vavilovii* y *yunnanense*. Mientras que por otro lado, tenemos aquellos que presentan el grano desnudo, libre de trillar, entre los que destaca la subsp. *aestivum* (trigo harinero), subsp. *compactum*, subsp. *sphaerococcum* (trigo arrocero), y subsp. *tibetanum* (trigo tibetano).

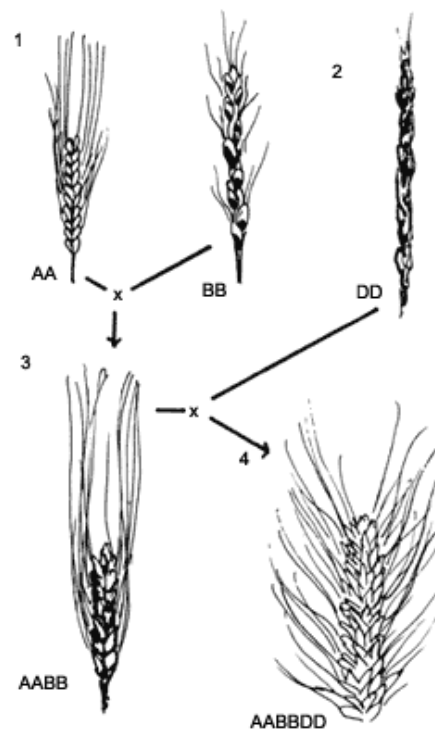


Figura 1.2. Evolución durante la domesticación del trigo (Ortega, 2013). 1. Trigo Einkorn, diploide con 14 cromosomas; 2. Pastos silvestres del género Aegilops; 3. Trigo Emmer, duro tetraploide con 28 cromosomas. 4. Trigo comúnmente usado para elaborar pan, hexaploide con 42 cromosomas.

Existen numerosas evidencias genéticas que indican que el origen de estos trigos se debe a eventos de hibridación entre los tetraploides *T. turgidum* subsp. *dicoccoides*, (trigo Emmer, forma domesticada, genoma AABB) y los diploides *A. tauschii* Coss. (genoma DD)

(Dvorak *et al.*, 1998; Akhunov *et al.*, 2005; Petersen *et al.*, 2006). Sin embargo, a pesar de los estudios filogenéticos realizados, existe cierta controversia sobre la generación de ambos grupos y el orden de aparición.



Figura 1.3. Espigas y granos de trigos Einkorn, Emmer y Spelt.

Dentro de los trigos tetraploides, el trigo duro (*Triticum turgidum* L. subsp. *turgidum* var. *durum* Desf.) es una de las especies de cereal más antiguas e importantes de las cultivadas en el mundo. Pronto constituyó la principal fuente de grano en la agricultura neolítica, siendo el principal responsable del éxito y desarrollo de ésta. La historia de este cultivo surgió a partir de la domesticación de las especies *einkorn* (*Triticum monococcum* ssp. *monococcum*) y *emmer* (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*) en la región denominada Creciente Fértil (Figura 1.4) (Brown *et al.*, 2009).

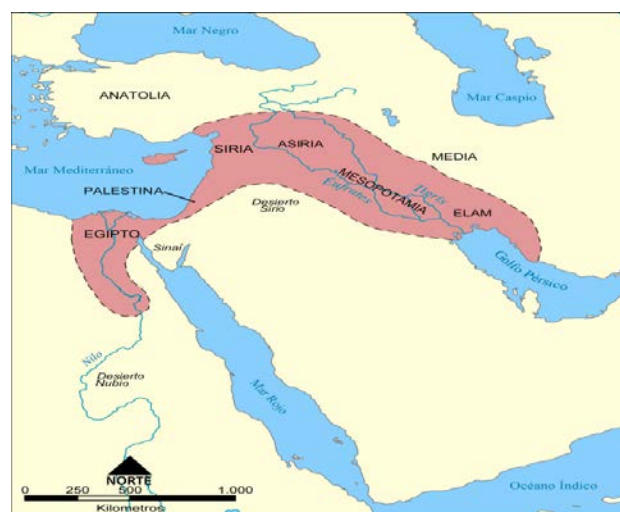


Figura 1.4. La región del Creciente Fértil, origen de la domesticación del trigo (Lev-Yadun, 2000; Brown *et al.*, 2009; Fuller *et al.*, 2012).

Esta zona geográfica engloba Israel, Jordania, Líbano y oeste de Siria a través de los ríos Tigris y Éufrates, llega hasta Iraq e Irán (Lev-Yadun, 2000; Brown *et al.*, 2009). Dentro de esta zona geográfica, en una pequeña región del sureste de Turquía se ha destacado, las Montañas Karacadağ, como centro de origen de la domesticación de la *einkorn* (Heun *et al.*, 1997) y *emmer* (Lev-Yadun, 2000; Özkan *et al.*, 2011). Sin embargo, la hipótesis de una única área de origen es actualmente discutida por otros autores que resaltan otras áreas dentro del Creciente Fértil en donde se pudieron haber llevado a cabo los procesos de domesticación de forma simultánea (Fuller *et al.*, 2012).

La difusión hacia ambos lados del Creciente Fértil de las dos especies domesticadas de trigo, junto a otros cereales como la cebada, estuvo necesariamente ligada a las necesidades propias de las poblaciones humanas de aquel momento (Feldman, 2001). El transporte marítimo permitió también la extensión de la especie *einkorn* por la costa del mediterráneo y su posterior cultivo en Italia, España (hace 7000 años) y sur de Gibraltar (Mac Key, 2005). También el norte de África fue utilizado como ruta de dispersión, permitiendo la entrada del trigo en la península ibérica durante la Edad Media (Moragues *et al.*, 2006).

A lo largo de todo este proceso de dispersión *einkorn* convivió con cultivos de *emmer* y cebada, estos últimos con mayores rendimientos y mejor adaptación a la domesticación (Mac Key, 2005), por lo que probablemente el proceso de dispersión de *emmer* pudo ajustarse al sufrido por *einkorn*, tal y como sugieren Özkan *et al.* (2011). Sin embargo sólo llegó hasta Egipto (Mac Key, 2005) desde donde se extendió hacia el sur (Feldman, 2001). En la actualidad, el cultivo de *einkorn* es un relicto, creciendo sólo a pequeña escala en algunas zonas del oeste de Turquía, países balcánicos, Alemania, Suiza, España y el Cáucaso, mientras que *emmer* sólo se encuentra en Jordania, Siria e Israel, la parte central del sureste de Turquía y en áreas montañosas del este de Iraq y oeste de Irán (Özkan *et al.*, 2011).

El cultivo del trigo moderno está centrado fundamentalmente en dos especies: el trigo harinero, *Triticum aestivum* ($2n=6x=42$, AABBDD) y el trigo duro, tetraploide, *Triticum turgidum* subsp. *turgidum* var. *durum* Desf. ($2n=4x=28$, AABB). Ambos han ido reemplazando en los últimos 5.000 años al primitivo *einkorn* (Peng *et al.*, 2011).

1.2 FENOLOGÍA DEL TRIGO

El desarrollo vegetal se puede definir como la secuencia de acontecimientos fenológicos, controlados por factores genéticos y ambientales, que determinan los cambios morfológicos y funcionales de la planta y que conducen a la acumulación de biomasa y a la formación de los componentes del rendimiento (Sánchez, 2008).

Para caracterizar el desarrollo del trigo se pueden utilizar varias escalas (o códigos) de desarrollo, los cuales describen las diferentes fases de crecimiento visibles, sin que sea necesario disecar la planta. De entre estas escalas se encuentran: la escala de Haun (Haun,

1973), ampliamente utilizada en la definición de las diferentes etapas de desarrollo vegetativo; la escala de Feekes (Large, 1954) y la escala de Zadoks (Zadoks *et al.*, 1974) que aportan una buena descripción de las fases vegetativa y reproductiva del trigo. La escala de Zadoks es la más detallada y fácil de usar. Describe la totalidad de los estadios del ciclo de desarrollo del trigo, incorporando características que no se consideran en otras escalas. Está basada en un código decimal, el cual revela varios aspectos del desarrollo de la planta. El primer dígito, con valores de 0 (germinación) a 9 (maduración), se refiere a la fase principal del crecimiento y el segundo dígito, igualmente con valores de 0 a 9, revela más detalle para cada uno de los principales estadios del crecimiento, correspondiendo la posición 5 al valor medio. Los números de las hojas, por ejemplo, tienen códigos decimales del 11 al 19 y los hijos del macollo principal del 21 al 29. Los códigos decimales son precedidos de las letras EC – Estadio de Crecimiento, que proviene del inglés *Growth Stage*.

Los estadios de desarrollo del trigo reconocidos como los más importantes son, la germinación, la emergencia, la iniciación floral o doble arruga, la espiguilla terminal (primer nudo o inicio de la elongación del tallo-encañado), aparición de la hoja bandera (inicio de la fase del embuchado), espigado, antesis y maduración fisiológica (Acevedo *et al.*, 2002).

La fase vegetativa comprende desde la germinación hasta el inicio de la diferenciación de las espiguillas (estadio de doble arruga, del inglés *double ridge* (Figura 1.5), comprendiendo las fases EC 0, EC 1, y EC 2 de la escala de Zadoks *et al.* (1974).

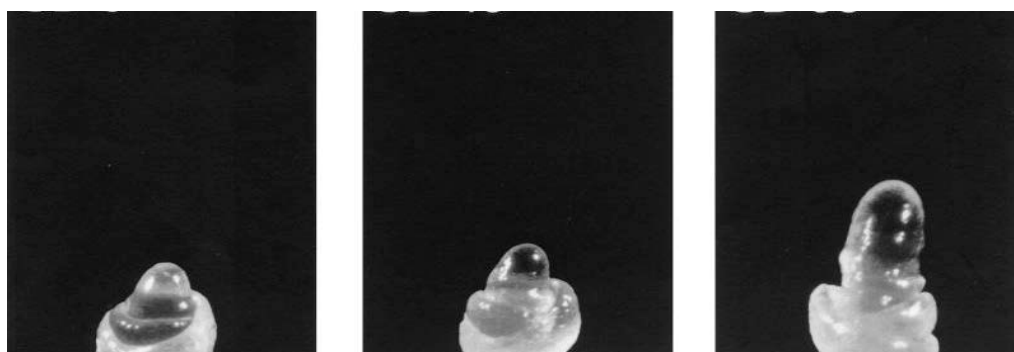


Figura 1.5. Iniciación floral “*Double Ridge*” (En castelhanao doble–arruga), corresponde al estadio EC 30 de la Escala de Zadoks *et al.* (1974).

En el periodo que va desde la emergencia hasta el estadio de doble arruga, ocurre el ahijado con el crecimiento de tallos secundarios o hijos, desde las axilas de las hojas del tallo principal (Figura 1.6). El grado de ahijamiento de un trigo depende de la variedad, de las condiciones climáticas de cada localización y de cada campaña, de la nutrición del cultivo, de la densidad, profundidad y fecha de siembra (López-Bellido, 1991; Guerrero, 1992; González y Rojo, 2005). Un buen nivel de ahijamiento es un carácter deseable en ambientes secos, ya que

aquellas variedades con escasa capacidad de producción de tallos no pueden compensar ocasionales disminuciones en la densidad de plantas, conduciendo a un bajo número de espigas por unidad de superficie y escasos rendimientos en grano (García del Moral *et al.*, 2005).

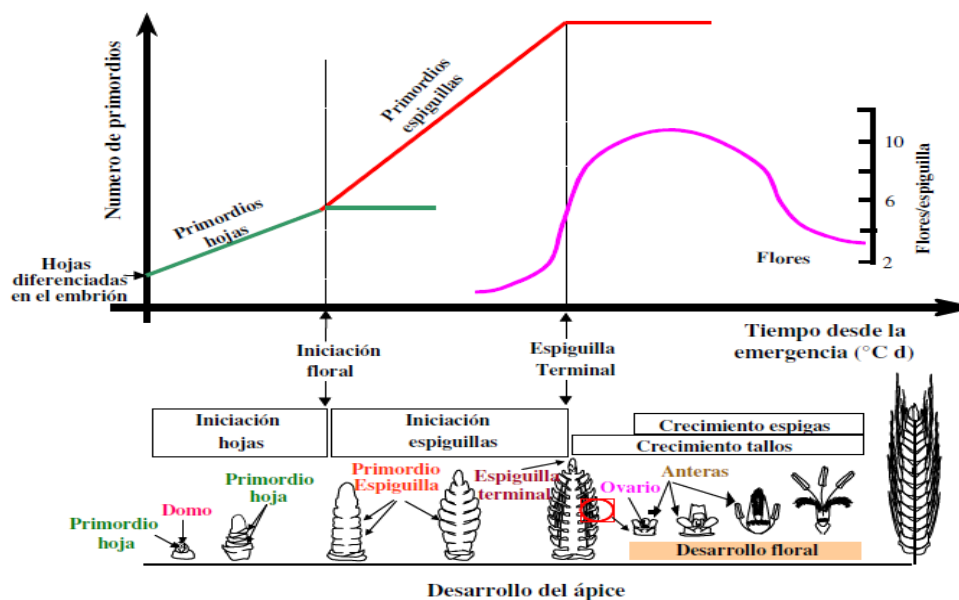


Figura 1.6. Dinámicas de iniciación de hojas, espiguillas y flores a lo largo del desarrollo del cultivo del trigo. Fuente: Adaptado de Miralles, 2004.

La diferenciación de los hijos y su aparición termina, generalmente, antes del inicio del alargado del tallo (encañado) (Baker y Gallagher, 1983). No todos los hijos podrán producir espigas, y muchos de ellos perecerán antes de la antesis (Gallagher y Biscoe, 1978). La duración de la fase vegetativa varía con la fecha de siembra y con la variedad. Depende también de la tasa de emergencia de las hojas y del momento en que ocurre el inicio de la diferenciación floral, la cual es inducida por el fotoperiodo y la vernalización (Almeida, 2007).

La fase reproductiva (EC 3 a EC 5) empieza con la formación de los primeros primordios de las espiguillas en el ápice meristemático y finaliza en la antesis, con la polinización de los ovarios en las espiguillas con flores fértiles (Figura 1.6). Durante esta fase ocurre la muerte de algunos hijos productivos. La extensión y el momento de este proceso dependerán del grado de competición entre las plantas y/o de las condiciones de estrés al que puedan estar sometidas (Kirby y Appleyard, 1987).

Cuando termina la formación de la espiguilla terminal se lleva a cabo el inicio del encañado y la espiga empieza a crecer. El crecimiento de la espiga ocurre entre la aparición de la penúltima hoja (hoja anterior a la hoja bandera) y los diez días que suceden a la antesis (Kirby y Appleyard, 1984). Cuando ocurre la antesis (EC 6), el número de espigas/planta y, por

consiguiente, el número de espigas/m² ya se encuentra definido. El crecimiento de los tallos cesa después de la antesis.

La espiga de trigo contiene una espiguilla por cada nudo del raquis. Cada espiguilla tiene entre 3 y 5 flores potencialmente fértiles (Kirby y Applleyard, 1984), las cuales serán auto-polinizadas en el 96% de los casos (Martin *et al.*, 1976). La antesis tiene inicio en la parte central de la espiga y continúa después en las zonas basales y apicales durante los 3 - 5 días sucesivos (Almeida, 2007).

La fase de llenado del grano (EC 6 – EC 9), comienza 5 días después de la antesis y es el periodo durante el cual se realiza la formación y maduración fisiológica del grano. La maduración fisiológica del grano coincide normalmente como el momento en que la hoja bandera y las espigas se tornan amarillas (Hanft y Wych, 1982).

Según Loss y Siddique (1994), el desarrollo del grano (EC 7 – EC 9) está compuesto por tres etapas: en la primera ocurre un crecimiento exponencial rápido, durante el cual las células del endospermo se dividen rápidamente y el tamaño potencial del grano queda determinado; en la segunda etapa ocurre un desarrollo constante, con la acumulación de almidón en el endospermo; y la tercera etapa empieza con la deposición de lípidos en el grano y termina con la reducción de la tasa del crecimiento hasta que el peso máximo del grano sea obtenido (Figura 1.7).

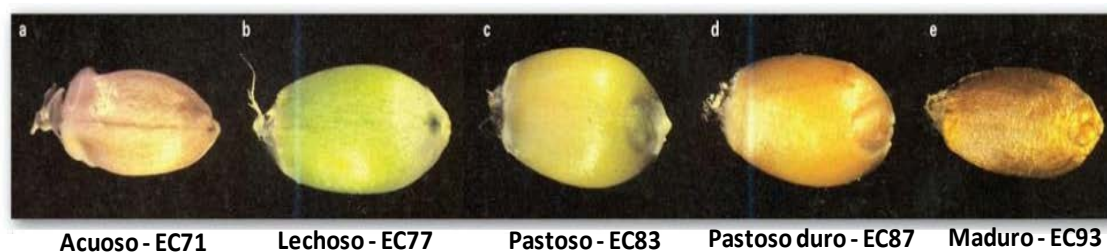


Figura 1.7. Diferentes etapas del desarrollo del grano del trigo

Los asimilados destinados al grano provienen mayoritariamente de la fotosíntesis realizada por la hoja bandera, o por la espiga, sobre todo en genotipos aristados (Evans y Wardlaw, 1996), o también fruto de la translocación de los carbohidratos almacenados en los tallos y otros órganos vegetativos (Días, 1998). A menos que el periodo de llenado del grano se vea finalizado debido a factores ambientales extremos, tal como una sequía severa o un golpe de calor, la duración del periodo desde la antesis hasta la madurez fisiológica resulta bastante regular en términos de tiempo térmico (grados día), resultando casi exclusivamente influido por la temperatura del aire (Miralles y Slafer, 1999).

La Figura 1.8 representa, de forma esquemática y simplificada, el ciclo de desarrollo fenológico del trigo, donde están representadas las tres fases fundamentales del desarrollo delimitadas por los respectivos acontecimientos fenológicos. La fase vegetativa es delimitada por la siembra (más correctamente por la emergencia) y por la iniciación floral; la fase reproductiva es delimitada por el estadio de iniciación floral y por la antesis, y la fase de llenado del grano por la antesis y por la maduración fisiológica. El esquema incluye también algunos acontecimientos fenológicos importantes del ciclo de crecimiento del trigo, como el estadio de doble arruga (DR), el inicio de la formación de la espiguilla terminal (ET), que coincide con el alargamiento del tallo (inicio del encañado, EC 31); la aparición de la hoja bandera (que marca el final del encañado y simultáneamente el inicio de la fase de zurrón, EC 37 – EC 41); el espigado (cuando la mitad de la espiga se encuentra visible fuera de la vaina de la hoja, EC 55) y la maduración fisiológica (EC 91).

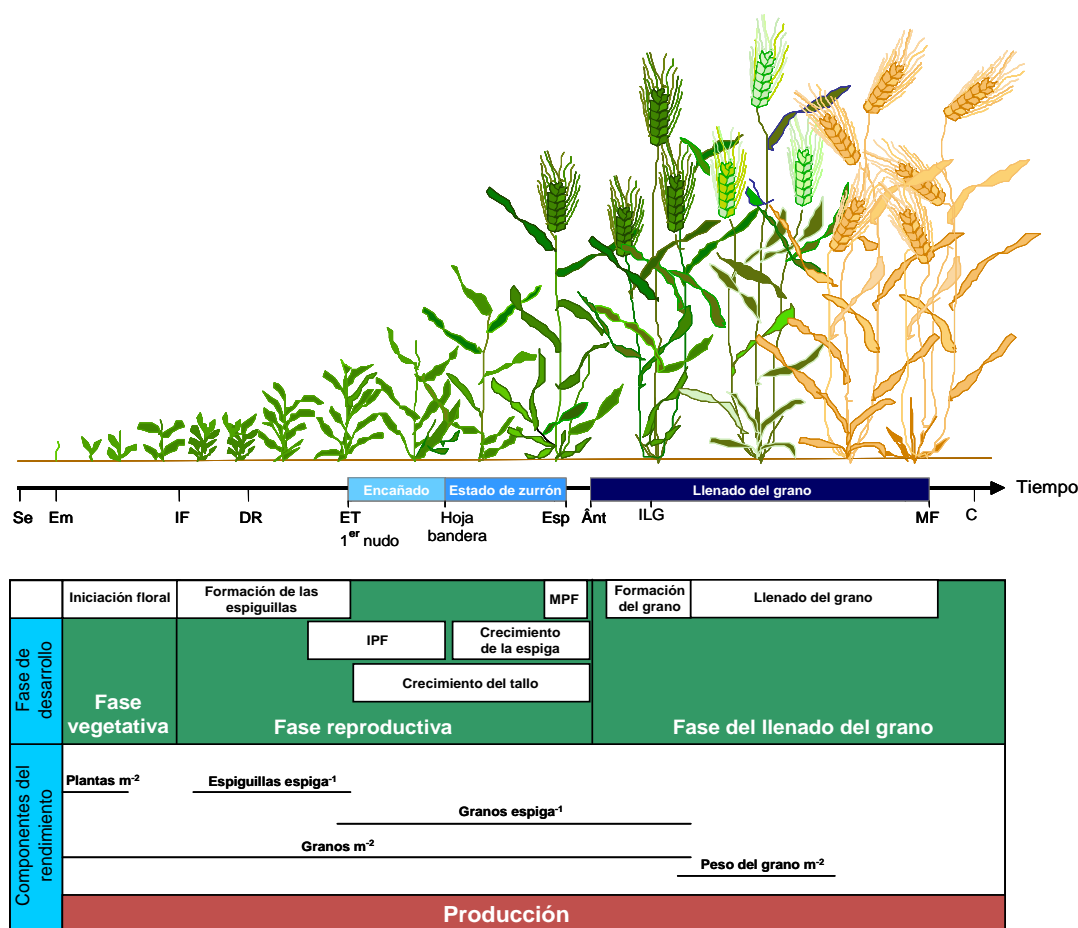


Figura 1.8. Diagrama esquemático del ciclo de desarrollo del trigo. El diagrama identifica los estadios, siembra (Se), emergencia (Em), iniciación floral (IF), “Double ridge” (DR), formación de la espiguilla terminal (ET), espigado (Esp), antesis (Ant), inicio del llenado del grano (ILG), maduración fisiológica (MF) y cosecha (C). Las cajas representan los periodos de diferenciación o desarrollo de algunos órganos durante las fases vegetativa, reproductiva o de llenado del grano (IPF- iniciación de los primordios florales; MPF- muerte de los primordios florales). Las líneas representan los momentos en el tiempo en que los diferentes componentes del rendimiento se forman. Fuente: Adaptado de Slafer y Rawson (1994).

1.3 RENDIMIENTO EN GRANO Y SUS COMPONENTES

El rendimiento en grano representa el producto final de la interacción de factores relacionados con el genotipo y con el ambiente, cuyos efectos individuales son difíciles de precisar. Sin embargo, se puede expresar en función de sus componentes siendo los principales: número de espigas por unidad de superficie, número de granos por espiga y peso final del grano (Gomes, 1999; Maçãs *et al.*, 2000; Almeida, 2007).

Los componentes del rendimiento se determinan secuencialmente a lo largo del desarrollo de las plantas, durante el periodo previo a la antesis (espigas/m²), en la antesis (granos/espiga) y entre la antesis y la madurez fisiológica (peso del grano) (Molina Cano, 1989). Esta determinación secuencial permite compensar los efectos ejercidos sobre los primeros componentes, ocasionados por condiciones adversas temporales, mediante la elevación de los siguientes, si las condiciones lo permiten, asegurándose con ello la estabilidad del rendimiento bajo una gran adversidad de ambientes y circunstancias (Royo *et al.*, 2006).

El número de espigas/m² depende tanto de la cantidad de tallos como de la proporción de los mismos que pueden diferenciarse hacia una espiga fértil (García del Moral y Ramos, 1989). La cantidad de tallos está sobre todo relacionada con el nivel de ahijamiento de la variedad, dosis de siembra, condiciones climáticas y nutrición mineral. Después del ahijamiento el número de tallos supervivientes comienza a descender. Su muerte ocurre por falta de humedad del suelo, tipo de suelo, competición entre plantas ó nutrición insuficiente (López-Bellido, 1991).

El número de granos por espiga es función del número de espiguillas por espiga y del número de flores fértiles por espiguilla, que dependen de la variedad, de las condiciones climáticas durante la formación de la espiga, del tamaño y actividad del aparato fotosintético durante el periodo reproductivo y de la capacidad para transferir asimilados a la espiga (López-Bellido, 1991). Según García del Moral y Ramos (1989), fotoperiodos largos, temperaturas elevadas y déficit hídrico durante la diferenciación de la inflorescencia afectan el desarrollo de la espiga y conducen a la disminución del número de espiguillas por espiga y, por ende, también al número de granos por espiga.

Las condiciones ambientales durante el periodo comprendido entre los 20 días antes y los 10 días después de la antesis son muy importantes para la determinación del número de granos/m² y para la formación del rendimiento (Savin y Slafer, 1991; Abbate *et al.*, 1995). En general, el rendimiento en grano está fuertemente relacionado con el número de granos/m² (Savin y Slafer, 1991; Acreche *et al.*, 2008). Según Rajala *et al.* (2009) el déficit hídrico antes de la antesis reduce el número de granos/m²; si ocurre después, reduce el número de granos por espiga y el peso de 1000 granos. El peso de 1000 granos depende del tamaño y duración de la actividad fotosintética en la parte superior de la planta, de la capacidad de transferencia

de asimilados al grano y de la duración del periodo de su formación (Almeida, 2007). La contribución de los asimilados almacenados en el periodo pre-antesis es crucial para estabilizar el rendimiento frente a condiciones climáticas adversas que disminuyan la fotosíntesis y la absorción de agua y minerales durante el periodo del llenado del grano (Van Herwaarden *et al.*, 1998; Tahir y Nakata, 2005). En las regiones de clima mediterráneo, la composición relativa de todos los componentes del rendimiento depende de las condiciones ambientales de cada campaña agrícola, en especial de la fase de desarrollo del trigo en que pueda ocurrir algún tipo de estrés (Almeida, 2007).

En resumen, la producción final de grano de una variedad resulta de la combinación de todos los componentes anteriormente mencionados (Figura 1.9). Estos componentes se dividen en dos niveles diferentes: un nivel poblacional (n° de espigas/ m^2) y un nivel individual (n° de espiguillas/espiga, n° de granos/espiga y el peso del grano) (Gomes, 1999; Almeida, 2007; Coco, 2013).

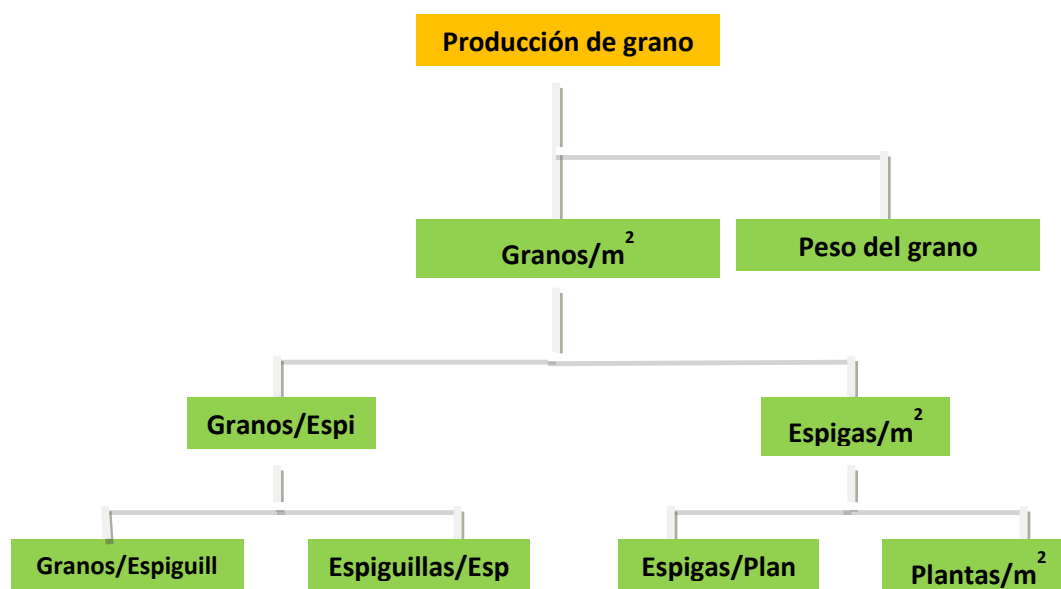


Figura 1.9. Secuencia de la formación de los componentes que traducen el rendimiento final de grano. Fuente: (Gomes, 1999; Almeida, 2007; Coco, 2013).

1.4 EL CLIMA MEDITERRÁNEO

Los diferentes tipos climáticos existentes en el mundo son definidos por la variación anual conjunta de la temperatura y de la precipitación (UNESCO-FAO, 1963). La clasificación climática definida por W. Köppen en 1931 (Köttek *et al.*, 2006), indica que todo el suroeste de Portugal y España están encuadrados en los climas templados, en la subdivisión mediterránea o subtropical seca (clima templado húmedo con verano seco y caluroso (**Csa**) en el sur o clima templado húmedo con verano seco y templado (**Csb**) en el norte. Este tipo climático se caracteriza por inviernos templados y lluviosos y veranos secos y calurosos, con otoños y

primaveras variables, tanto en temperaturas como en precipitaciones. El nombre lo recibe del mar Mediterráneo, área donde es típico este clima y adquiere mayor extensión geográfica, aunque también está presente en otras zonas del planeta con variaciones en cuanto a la distribución de las temperaturas (Figura 1.10) (Almeida, 2007).

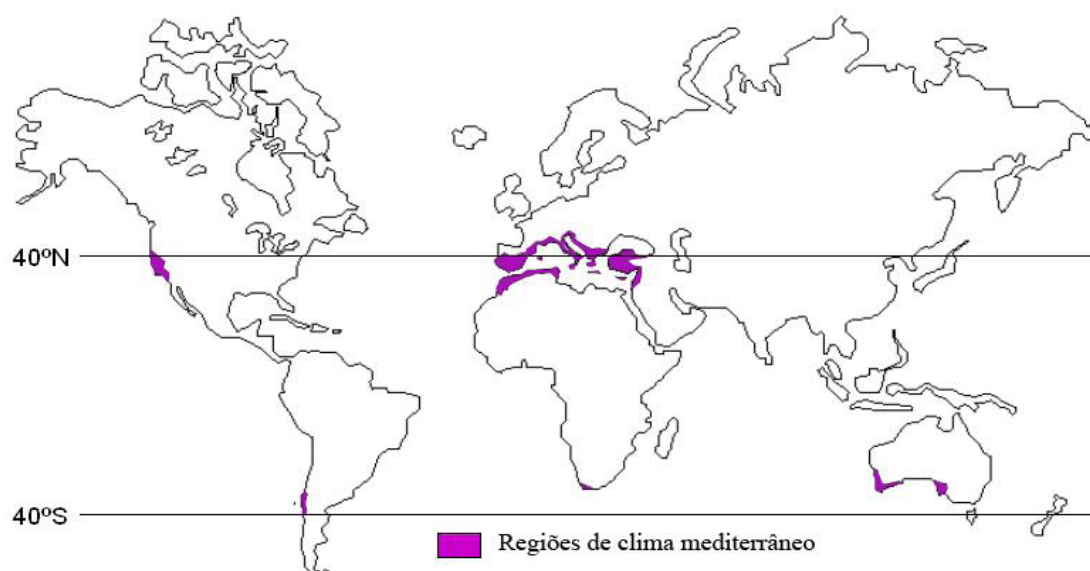


Figura 1.10. Distribución de los ambientes mediterráneos en el mundo (Fuente: Almeida, 2007).

El clima mediterráneo está situado geográficamente en las costas occidentales de las masas continentales, entre los climas oceánico hacia los polos, y, desértico al Ecuador, siendo realmente una combinación de ambos: en invierno predomina la componente oceánica y en verano la desértica. En la Figura 1.10 se pueden observar las zonas en el mundo donde este tipo climático está presente; toda la parte sur/suroeste de Europa, norte de África, los Estados Unidos de Norteamérica (California), América del Sur (Chile), África del Sur y Sur de Australia.

Las lluvias no suelen ser muy abundantes, aunque hay zonas donde se sobrepasan los 1000 mm. Pero la característica principal es que éstas no se producen en verano. Las temperaturas se mantienen, en promedio, todos los meses por encima de los 0°C pero presentan variación estacional, en cualquier caso existe un verano seco y caluroso con temperaturas medias superiores a los 25°C pudiendo sobrepasar los 45°C en situaciones de olas de calor. Este tipo de clima está presente en 10-15% del total de la producción de trigo a nivel mundial (Loss y Siddique, 1994).

1.4.1. INFLUENCIA EN EL DESARROLLO DEL TRIGO

Por su amplia capacidad de adaptación, el trigo es cultivado en una gran diversidad de climas. En realidad, su área más favorable de cultivo se extiende entre los 30 y 60° de latitud

norte y los 25 y 40° de latitud sur y en zonas cuya precipitación oscila entre 300 y 1000 mm anuales (González y Rojo, 2005). Los rendimientos más elevados son obtenidos en los climas húmedos continentales de veranos frescos del centro y norte de Europa y Norteamérica (López-Bellido, 1991).

Desde su domesticación, 10.000 años atrás (Zohary y Hopf, 1993), tanto la disponibilidad hídrica como las temperaturas extremas han sido los factores limitativos más importantes para la producción del trigo en muchas partes del mundo (Almeida, 2007). En la cuenca Mediterránea, el cultivo del trigo duro está frecuentemente sometido a numerosos estreses, tanto de tipo biótico como abiótico. Estas condiciones adversas afectan de forma diferente al trigo, en función del momento fenológico, habiéndose demostrado que las mayores reducciones del rendimiento aparecen cuando el estrés tiene lugar en la fase vegetativa tardía y durante el periodo del llenado del grano, momento en el que suele producirse una reducción de las precipitaciones y en el que la evapotranspiración del cultivo supera la disponibilidad de agua en el suelo (Simane *et al.*, 1993).

Otro de los factores ambientales con enorme impacto en el desarrollo del trigo es la temperatura. En climas de este tipo, la temperatura media del periodo que va desde la antesis hasta la maduración fisiológica, está normalmente por encima de la temperatura óptima de desarrollo del grano (Almeida, 2007). Muchas veces ocurren temperaturas altas crónicas durante el llenado del grano, con temperaturas medias que oscilan entre los 18 y los 25°C y temperaturas máximas diarias de hasta 32-35 °C. También es normal que ocurran periodos más o menos cortos, de temperaturas extremadamente elevadas (≥ 32 °C) que se traducen en choques térmicos, que tienen efectos muy negativos en el desarrollo del cultivo, principalmente durante el llenado del grano con efecto evidente en la reducción de éste, con la consecuente disminución del índice de cosecha (IC) (Villegas *et al.*, 2001), como también la baja eficiencia del uso del agua resultando en la reducción de rendimiento final (Maçãs *et al.*, 2011).

La posibilidad de ocurrencia de heladas tardías durante la fase de espigado-antesis es otro factor a tener en cuenta, una vez que, periodos cortos de temperaturas bajas alrededor del periodo del espigado, pueden causar impactos significativos en la producción a través de la reducción del número de granos potencial por unidad de superficie (Almeida, 2007), debido a la posible esterilidad terminal de la espiga. Como forma de evitar estos daños, las variedades deberían tener un periodo de espigado comprendido entre los 10 días antes y después del 1 de abril (entre 20 de marzo y 10 de abril).

1.4.2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL SUR DE PORTUGAL

El tipo climático que afecta el sur de Portugal confiere características ambientales muy específicas a esta región. Ya en 1908, Sertório do Monte Pereira, al analizar algunos indicadores sobre la producción agrícola en Portugal, consideró que “la irregularidad

desconcertante de nuestro clima” era un importante limitante para la actividad agrícola (Carvalho, 1994).

Estudios sobre la variabilidad de la distribución y cantidad de precipitación en la zona sur de Portugal, demostraron la existencia de una diferencia de aproximadamente 50 mm entre las medias de la lluvia de invierno durante los periodos de treinta años 1953/1980 y 1981/2010 (Figura 1.11). También la diferencia entre las medias de la lluvia de primavera en ambos periodos ha sido de alrededor de 24 mm (Maças *et al.*, 2011) (Figura 1.12).

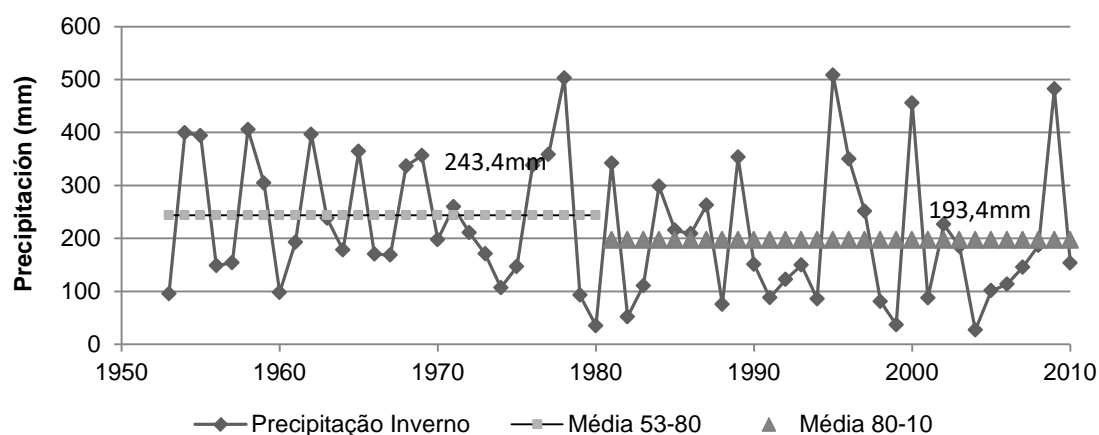


Figura 1.11. Medias de la lluvia de invierno durante los periodos de treinta años 1953/1980 y 1981/2010 en el Alentejo.

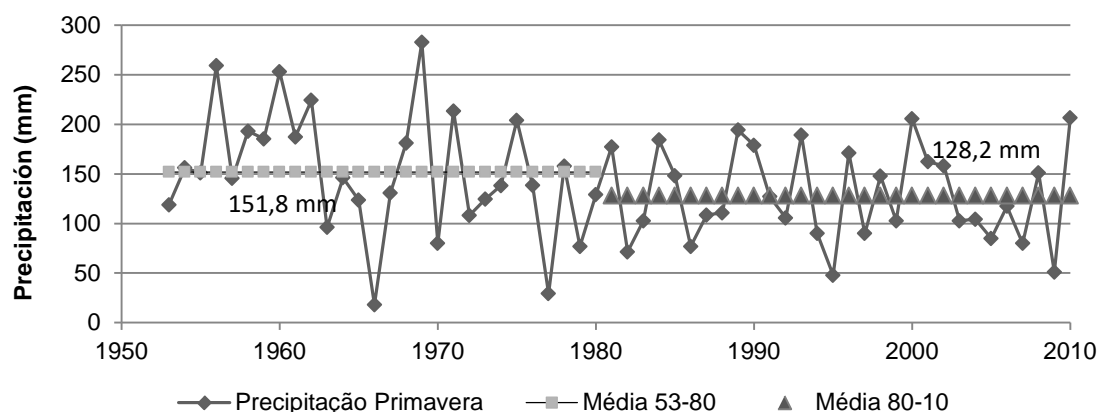


Figura 1.12. Medias de la lluvia de primavera durante los periodos de treinta años 1953/1980 y 1981/2010 en el Alentejo.

En las Figuras 1.13 y 1.14 se observa la caracterización de este tipo climático en el sur de Portugal. Estos datos fueron obtenidos a partir de registros efectuados en la estación meteorológica situada en la Estación de Mejora de Plantas en Elvas, refiriéndose a los meses asociados al desarrollo del trigo. En Portugal, el trigo es sembrado en el otoño, después de las

primeras lluvias, desarrollándose su fase vegetativa en el invierno. El espigado ocurre en el principio de la primavera con el aumento del fotoperiodo y de la temperatura. El ciclo se completa con la maduración en el inicio del verano.

En la Figura 1.13 se puede verificar que no existe un patrón en la cantidad de precipitación en un determinado mes (de año en año). Por ejemplo, en el mes de diciembre de 2009, se registró un valor máximo de 212 mm, y un valor mínimo de 51 mm, en 2005. La irregularidad es también evidente en la distribución temporal de los valores máximos de la precipitación. Las temperaturas, exceptuando alguna variabilidad anual, son un elemento climático más conservador que la precipitación (Figura 1.14). La temperatura media varía de modo regular a lo largo del año. En marzo y abril prevalece una subida acentuada en comparación con los meses de invierno. En los meses de mayo y junio continúa subiendo, alcanzando valores cercanos a los 25°C. Estas temperaturas en estas fechas del año y en las regiones mediterráneas son especialmente críticas para el desarrollo de los cereales, pues coinciden con la fase del llenado del grano. Como se ha visto anteriormente, una de las limitaciones impuestas por el clima en el sur de Portugal a la producción de cereales de otoño-invierno, proviene de la escasez hídrica, que ocurre normalmente durante 4 meses, la cual puede ser compensada en muchos sitios con la ayuda del regadío. En dichos casos la mayor preocupación reside, por tanto, en el factor temperatura (Maçãs, 1996).

En la Figura 1.15 están representadas las temperaturas medias diarias superiores a 15°C, ocurridas en Elvas, durante el periodo que va de la floración hasta la madurez fisiológica, concretamente de marzo a junio, en un periodo de 11 años. De acuerdo con varios autores (Wardlaw *et al.*, 2002), periodos continuados de temperaturas moderadamente elevadas después de la antesis, reducen la producción de grano porque afectan la duración del llenado del grano, con una consecuente disminución en el peso del grano (Zahedi y Jenner, 2003).

La Figura 1.16 representa los días con temperaturas máximas diarias superiores a 23°C, pudiendo observarse la ocurrencia de valores superiores al considerado óptimo en la mayoría de los días (Stapper y Harris, 1989). Se verifica también que las plantas son sometidas a choques térmicos con bastante frecuencia, durante y al final del periodo del llenado del grano (Maçãs *et al.*, 1999). En todos los años analizados se comprobó la existencia de varios días, en el mes de junio con temperaturas máximas superiores a 32°C y en los años 2005, 2006, 2007-2009, 2010 y 2011 estas ocurrieron también en el final del mes de mayo (Figura 1.15 y 1.16).

El efecto de estos periodos ha sido objeto de diversos estudios (Yang *et al.*, 2002), en los cuales se ha demostrado que dichos choques reducen comparativamente más el peso del grano, al que ocurre con una subida progresiva de la temperatura. Su ocurrencia (con la duración de algunos días) durante el llenado del grano puede acarrear en una senescencia prematura, inhibir el desarrollo del grano y alterar la composición del almidón y de la proteína (Wardlaw *et al.*, 2002).

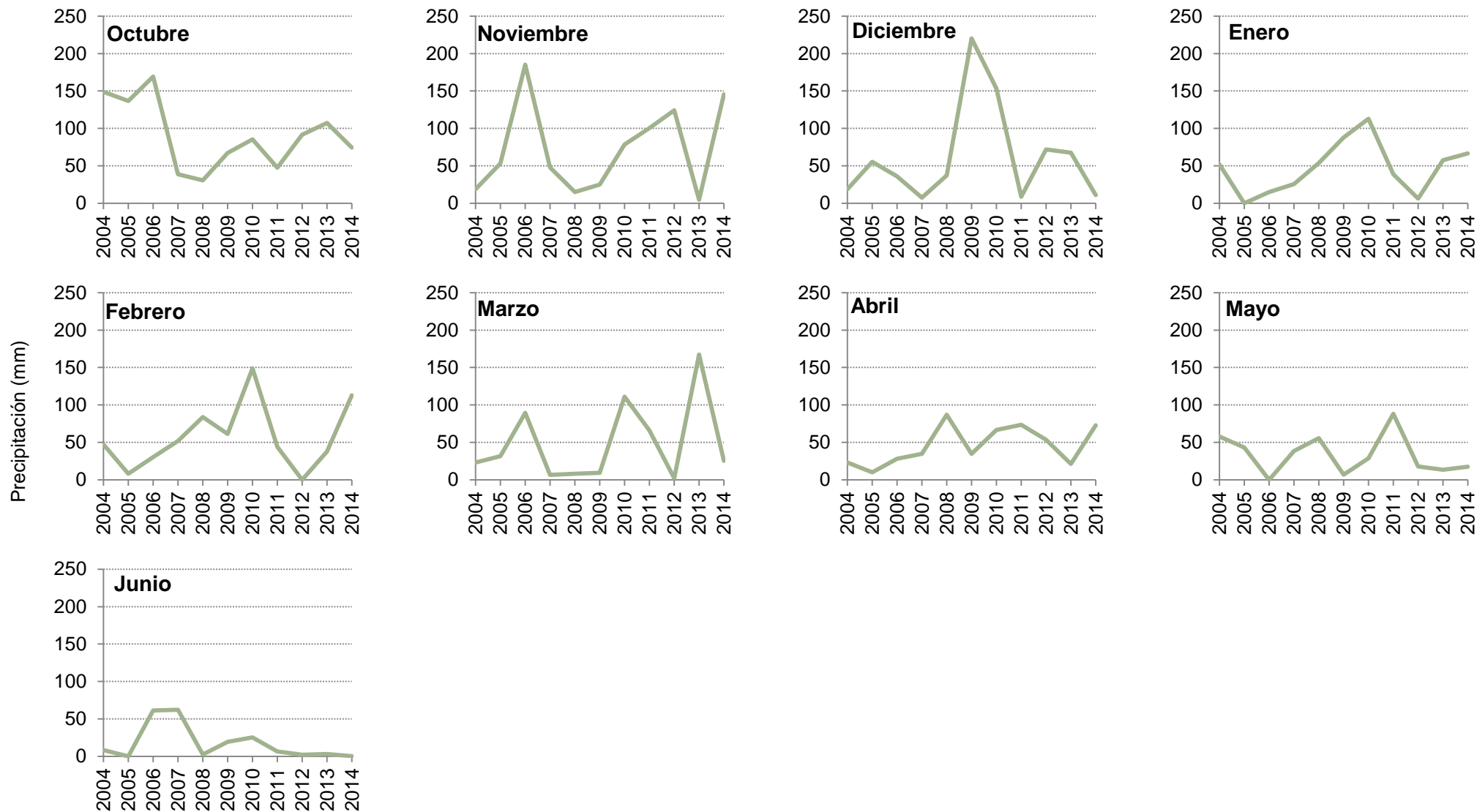


Figura 1.13. Variabilidad en la cantidad y distribución de la precipitación mensual de año para año. Registros del período mensual entre 2004 y 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología Portuguesa – Instituto Português del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

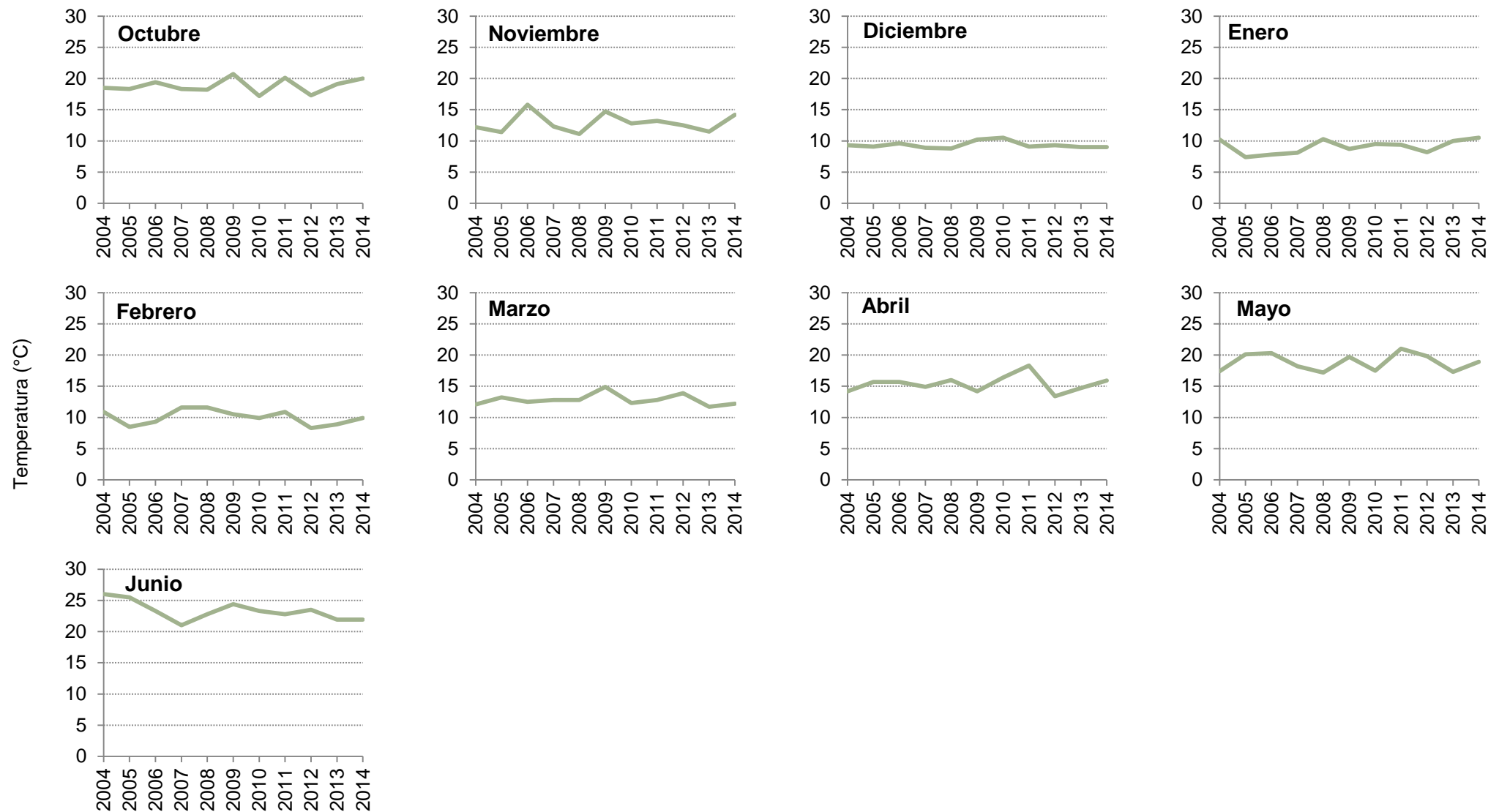


Figura 1.14. Temperatura media mensual (octubre a junio) entre 2004 a 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología Portuguesa – Instituto Português del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

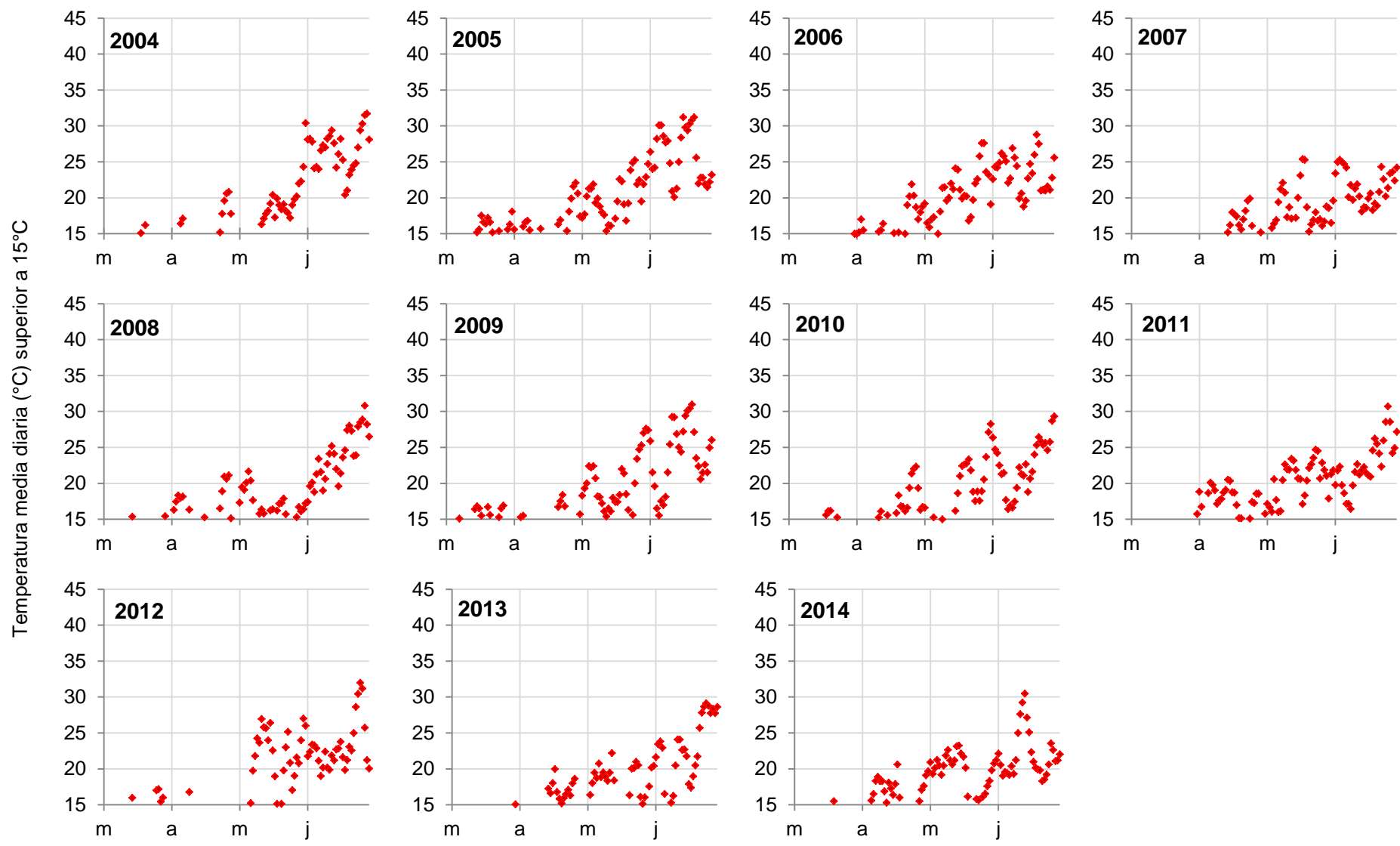


Figura 1.15. Temperaturas medias diarias superiores a 15°C de marzo a junio, entre 2004 a 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología Portuguesa – Instituto Português del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

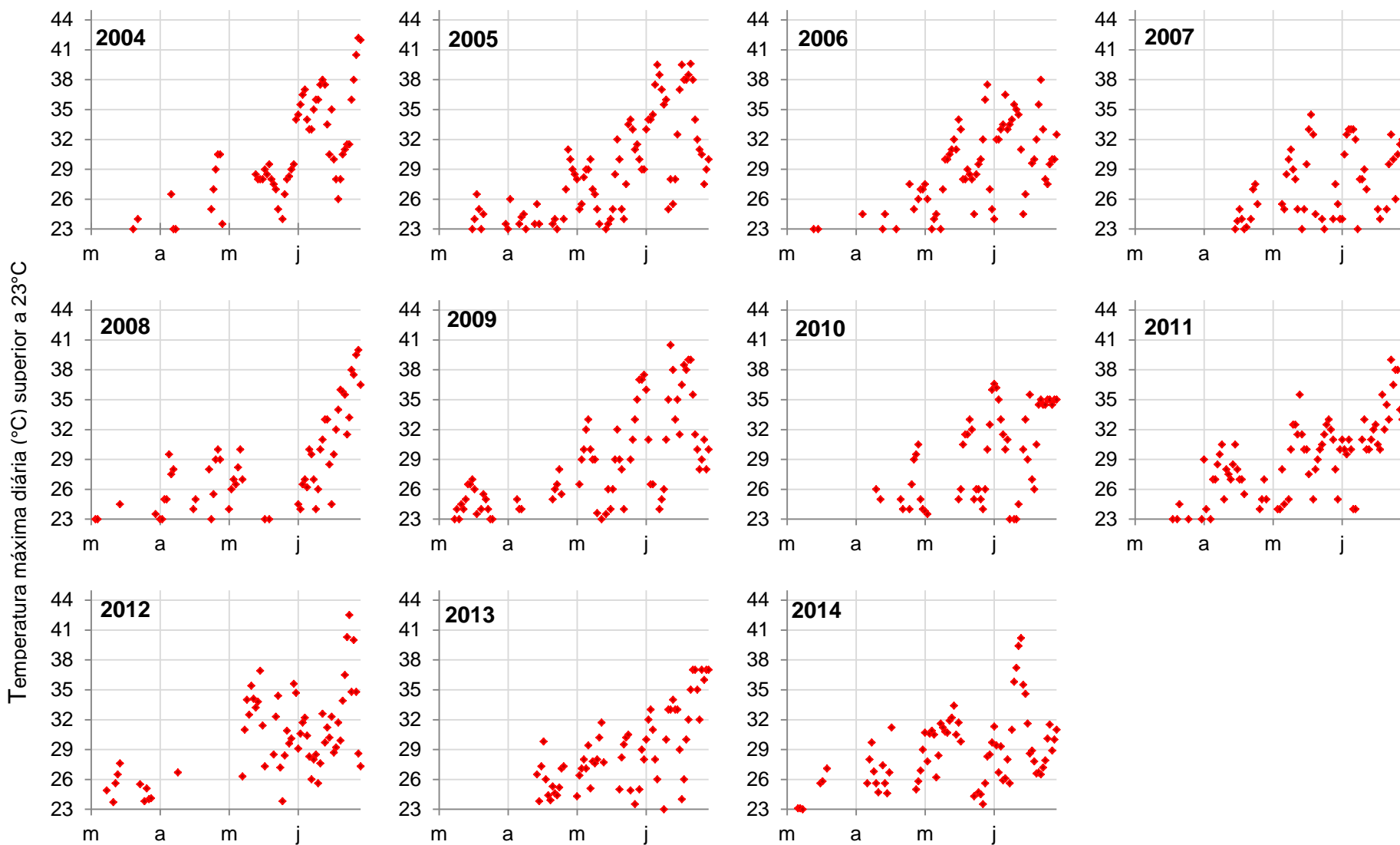


Figura 1.16. Temperaturas medias diarias superiores a 23°C de marzo a junio, entre 2004 a 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del IPMA.

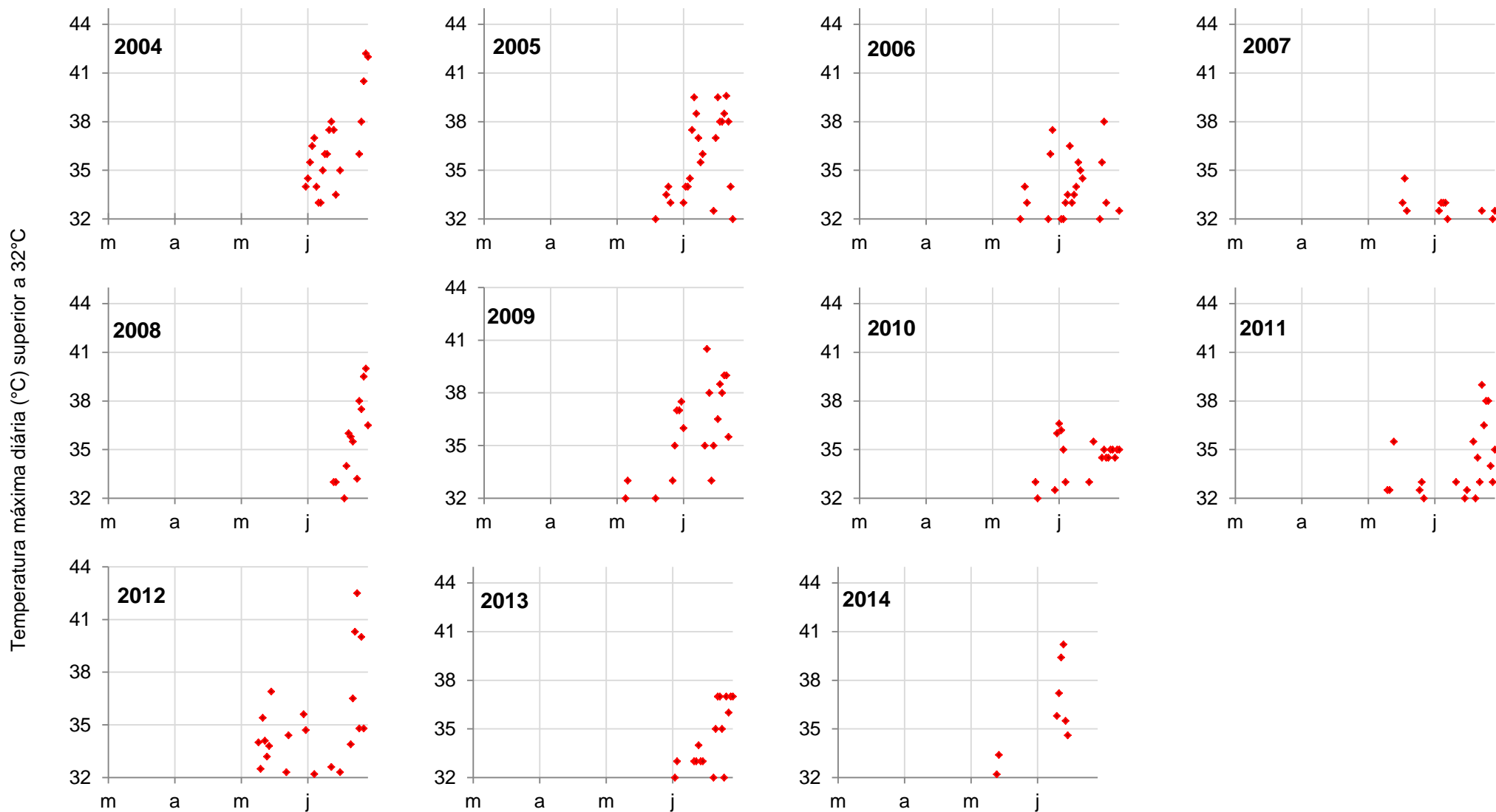


Figura 1.17. Temperaturas medias diarias superiores a 32°C de Marzo a Junio, entre 2004 a 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología Portuguesa – Instituto Português del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

La temperatura durante la fase reproductiva y del llenado del grano junto con la ocurrencia de choques térmicos, periodos de exposición del trigo a temperaturas superiores a 32°C durante la fase del llenado del grano, pueden traducirse en la principal combinación de factores climáticos que limitan la expresión del potencial de producción del trigo (Yang *et al.*, 2002). En la Figura 1.18 se observa que en el sur de Portugal, para un periodo de tres años 2005, 2010 y 2015, las temperaturas máximas sobrepasan en muchos momentos los límites considerados óptimos durante el periodo del llenado del grano.

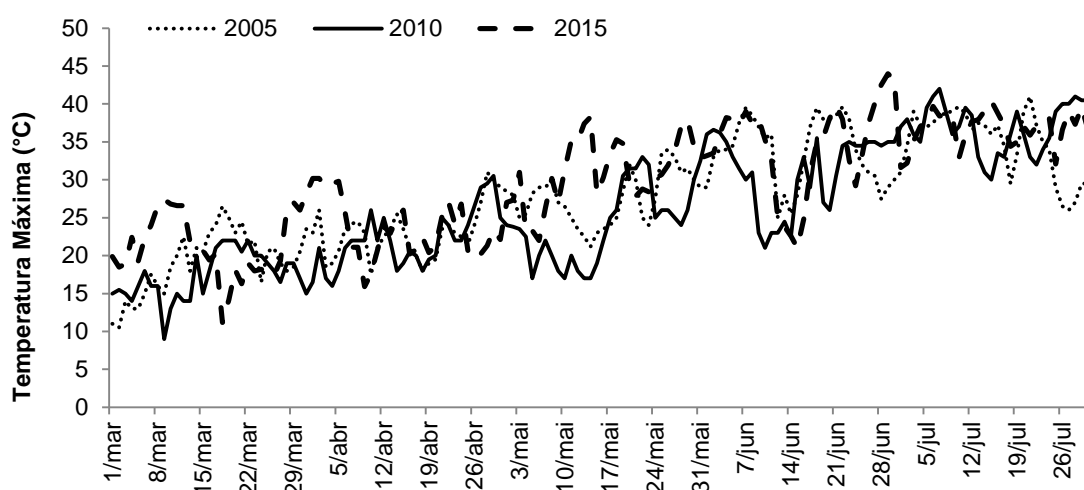


Figura 1.18. Valores de la temperatura máxima absoluta durante el periodo del llenado del grano para los años 2005, 2010 y 2015.

1.4.3 INTERACCIÓN GENOTIPO X AMBIENTE - IMPLICACIONES EN LA MEJORA GENÉTICA

El trigo duro se cultiva en las regiones mediterráneas donde los episodios repetidos de falta de agua y temperaturas altas al final del ciclo, son las dos principales limitaciones ambientales al rendimiento (Nachit y Elouafi, 2004), como ya se describió anteriormente. En este tipo de ambiente, es más difícil concebir programas de mejora que en regiones más favorables para rendimientos más elevados (Richards, 1996; Araus *et al.*, 2002) debido a que la variación genética para el potencial del rendimiento está enmascarada en gran medida por la interacción genotipo x año x localización. Dicha interacción (interacción genotipo x ambiente, G x A) puede ser definida como el efecto diferencial de los diferentes ambientes sobre los genotipos (Cargnin *et al.*, 2006), resultando así una respuesta diferenciada de los genotipos a la variación ambiental.

La interacción G x A uno de los grandes desafíos para los mejoradores pues, con su existencia, es posible que el mejor genotipo en un determinado ambiente no lo sea en otro

(Yamamoto, 2006). Srivastava (1987) sugirió que, en ambientes con potencial de producción por encima de 3 t/ha, la selección puede ser efectuada con eficiencia y en condiciones óptimas para la expresión del potencial genotípico máximo. Sin embargo, en regiones con potencial limitado a menos de 3t/ha, la selección será más eficaz si es efectuada localmente.

Por lo tanto, la caracterización de las limitaciones físicas y biológicas del ambiente, determinantes para la ocurrencia y frecuencia de factores de “estrés” asociados al desarrollo y crecimiento del trigo, es esencial para el conocimiento del comportamiento del germoplasma y, en consecuencia, para la elección de los métodos de selección más adecuados para los programas de mejora genética (Maçãs, 1996). Cecarelli (1989) en una revisión acerca de estos conceptos, reconoce dos filosofías de mejora:

- las que se destinan a regiones con ambientes agroecológicos específicos;
- las que reflejan la preocupación de elegir germoplasma destinado a regiones diversas.

Aunque el objetivo de ambas sea identificar genotipos con plasticidad a variaciones ambientales, la filosofía de la primera implica que estas variaciones se restrinjan a la región afectada por las características específicas que la caracterizan, mientras que la segunda asumiría que genotipos con elevado potencial de producción en condiciones óptimas también expresarían superioridad en ambientes desfavorables (Coutinho, 1991; Cooper y Delacy, 1994; Maçãs, 1996).

Desde el punto de vista evolutivo, la interacción G x A se torna importante en la manutención de la variabilidad genética y en la adaptación de las especies (Coco, 2013). La comprensión de los factores genéticos asociados a la evolución y a la ecología pueden ser utilizados en la mejora de plantas ya que la selección es un punto común a estas áreas (selección natural para evolución/ecología y selección artificial para la mejora genética) (Kang, 1998).

En la Figura 1.19 están representados genotipos distintos (A-E), sometidos a dos ambientes distintos (1 y 2) para la evaluación de una determinada variable. Se pueden observar tres situaciones:

- a) Ausencia de interacción, pues la diferencia en las condiciones ambientales no alteró el comportamiento del genotipo (B y C).
- b) En las otras situaciones, la alteración en el ambiente resultó en la respuesta diferenciada de los genotipos, evidenciando la ocurrencia de la interacción G x A, que puede ser clasificada como:

b.1.) Interacción simple o cuantitativa, donde existe alteración en el comportamiento de los genotipos (A y B ó B y D), pero el orden de estos en los diferentes ambientes permanece inalterado, o sea, un genotipo que es superior

en el ambiente 1 permanece superior en al ambiente 2. Este tipo de interacción indica que los genotipos son genéticamente heterogéneos y los ambientes homogéneos, o vice-versa.

b.2.) Interacción cruzada o cualitativa, en la cual hay respuesta diferenciada de los genotipos a diferentes ambientes, existiendo una mudanza en la clasificación de estos (C y D, A y C ó B y E).

Las situaciones a) y b.1) indican que los genotipos están mejor adaptados a los dos ambientes de test. Así, una selección basada en la media de los ambientes beneficiará siempre al mejor genotipo. En la situación b.2), utilizar la media de los ambientes como indicador de selección no es suficiente y podrá inducir a errores, llevando a la identificación de genotipos mal adaptados a una situación particular (Chaves *et al.*, 1989).

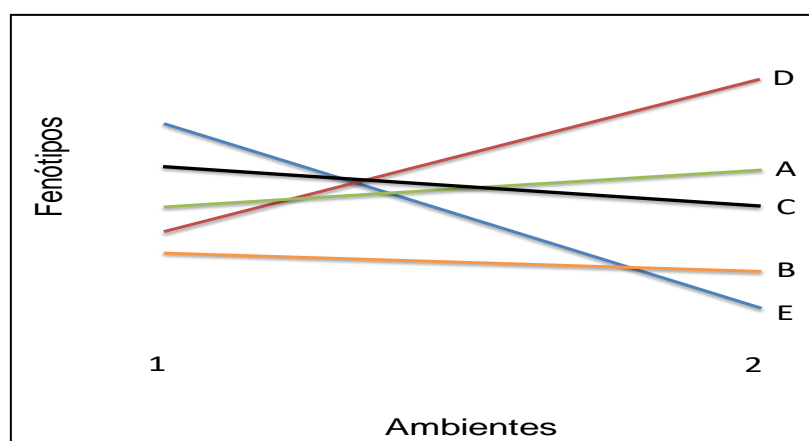


Figura 1.19. Tipos de interacción del genotipo con el ambiente (G x E). Fuente: Squilassi, 2003.

Por lo tanto, la finalidad de los programas de mejora consiste en la identificación del germoplasma más adecuado, cuya fenología mejor se ajuste a los periodos más favorables y que sobrepasando algunos factores limitantes sea posible alcanzar incrementos en la productividad y estabilidad en las producciones.

1.5 LA IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL TRIGO DURO

El sector de trigo duro (*Triticum turgidum* L. subsp. *turgidum* var. *urum* Desf.) representa el 8% de la producción total de trigo en el Mundo (Grahmann *et al.*, 2014) (37,7 millones de toneladas en 2013; Consejo Internacional de Cereales (CIC) de octubre de 2014), ocupando aproximadamente 20 millones de hectáreas, siendo un cultivo muy importante en toda la cuenca mediterránea, consistiendo en el principal cereal para la fabricación de pastas,

couscous y platos tradicionales como el burgul (Troccoli *et al.*, 2000). En esta región, es una especie de importancia estratégica, pues cerca del 60% de la superficie mundial se cultiva aquí (Royo *et al.*, 2014).

El balance del sector mundial del trigo duro a nivel de la producción y del consumo en las cuatro últimas campañas queda recogido en Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Balance del sector mundial del trigo duro en el periodo 2011-2015.

Balance del sector mundial del trigo duro (Millones t)				
	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15 previsiones
Producción	36,7	35,2	37,7	32,3
Consumo	36,7	36,0	37,0	35,1

Fuente: CIC, 2015

Las previsiones de producción mundial de trigo duro para 2014/15 son unas de las más bajas de los últimos 13 años, estimándose en 32,3 millones de t (5,4 millones de t menos que la pasada campaña), por las pésimas cosechas de los principales países productores: Canadá, Estados Unidos de Norte América (EE.UU.) y la Unión Europea (UE), principalmente. Canadá, primer productor de trigo duro, situaría su producción en 4,8 millones de t (1,7 millones de t menos que la campaña anterior) debido a la reducción de la superficie de cultivo y a los bajos rendimientos obtenidos por condiciones meteorológicas desfavorables y frecuentes nevadas. En EE.UU. se valora en 1,4 millones de t, con un moderado descenso de 0,3 millones de t respecto al año anterior, por un retraso en la maduración y por las precipitaciones de agosto. Se mantiene la producción de trigo duro en Méjico con 2,3 millones de t, en Kazajistán con 2,1 millones de t, mientras que descienden la producción en los países del norte de África, Argelia y Marruecos principalmente (CIC, 2015).

El consumo mundial de trigo duro se estima que en 2014/15 fue de 35,5 millones de t (1,5 millones de t menos que la pasada campaña), debido a los precios en alza y al descenso de la producción principalmente. El 85% del consumo de trigo duro está destinado a la alimentación humana con un consumo de 30,6 millones de t en 2013/14 frente a 30,2 millones de t de la anterior. El consumo para pienso ha descendido fuertemente pasando de 2 millones de t en 2013/14 a 1,3 millones de t en campaña actual, caída importante considerando los precios, ya muy altos para este tipo de trigo, incrementados con creces en esta campaña por las malas cosechas de Turquía y Marruecos.

La producción en la UE llegaría a 7 millones de t, casi 1 millón de t menos que las dos pasadas campañas, lo que representa un caída interanual del 7,9% (Eurostat, 2015), siendo este descenso proporcional entre los estados miembros productores de trigo duro. Italia con 3,7 millones de t lidera la producción comunitaria, seguida de Francia con 1,5 millones de t, Grecia con 0,8 millones de t y España en el cuarto puesto con 0,7 millones de t (Eurostat, 2015).

La superficie comunitaria destinada al cultivo de trigo duro en 2014/15 se situó en 2,3 millones de hectáreas, lo cual representa un descenso interanual del 5,8% (Eurostat, 2015). En la Tabla 1.2 figura el balance del sector del trigo duro en la UE en las dos últimas campañas.

Tabla 1.2. Balance comunitario del trigo duro en las campañas 2013/14 y 2014/15

Balance Comunitario del trigo duro (Millones t)		
	2013/14	2014/15
Producción	7,8	7,2
Consumo	8,4	8,4
Stocks	0,3	0,6

Fuente: Eurostat, 2015

En relación a la producción mundial de pasta en el año 2014, esta se situó en entorno de los 14,0 millones de t aproximadamente, según datos de la International Pasta Organization (IPO, 2014) lo cual es un indicador importante del aumento de la demanda de trigo duro en todo el mundo, ya que hubo un aumento respecto al 2013 en el que se produjeron casi 13,5 millones de t (IPO, 2013), siendo la subida muy significativa en los últimos diez años (2003 con 10,5 millones de toneladas). Italia, cuna de la misma, el principal productor con cerca de 3,4 millones de t, un 25% del total, seguida de Estados Unidos con 2,0 millones de toneladas, el 15% mundial, Brasil con 1,2 millones de toneladas, casi el 10% del total, mientras Rusia, con poco más de un millón de toneladas acapara el 8% del total (IPO, 2014) (Tabla 1.3).

Tabla 1.3. Principales países productores de pastas alimenticias (Toneladas).

	2009	2012	2014
Italia	3.194.152	3.326.750	3.408.499
Estados Unidos	2.532.809	2.000.000	2.000.000
Brasil	1.300.000	1.191.847	1.204.900
Rusia	858.400	1.083.000	1.083.000
Turquía	606.620	851.830	1.202.440
México	325.000	330.000	337.000
Venezuela	324.261	450.000	329.540
España (12)	234.643	254.876	260.288
Portugal (23)	76.000	77.000	77.500

Fuente: IPO, 2014

En relación al consumo anual per cápita de pastas, se verifica una estabilidad en el consumo en los últimos años (Tabla 1.4), estando Italia a la cabeza a nivel mundial con 25,3 kg per cápita, seguida de Túnez (16 kg per cápita) y Venezuela con 12,2 kg per cápita de consumo (IPO, 2014).

Tabla 1.4. Consumo de Pastas Alimenticias en el mundo (kg per cápita al año).

	2009	2012	2014
Italia	26.0	24.9	25.3
Túnez	11.7	16.0	16.0
Venezuela	12.0	13.2	12.2
Grecia	10.4	11.2	11.5
Estados Unidos	9.0	8.8	8.8
Francia	8.1	8.0	8.1
Portugal (21)	6.7	6.6	6.7
España (27)	5.0	5.0	5.3

Fuente: IPO, 2014

La extensión de las áreas potencialmente cultivables está muy limitada y las necesidades futuras obligan a la obtención de incrementos adicionales en el rendimiento de grano y en la calidad del grano (Slafer y Calderini, 2005). Sin embargo, durante los últimos años las tasas de crecimiento del rendimiento del trigo han sido mucho menores que las experimentadas durante la segunda parte del siglo XX (Alemán, 2012), poniendo en gran valor estudios como el presente que reviertan esta tendencia.

1.6 EL TRIGO DURO EN LA PENÍNSULA IBÉRICA VERSUS LA POLÍTICA AGRÍCOLA COMÚN (PAC)

Como se describió anteriormente la península ibérica se caracteriza, por a su gran variabilidad climática y edafológica, con monocultivos (cereales de otoño-invierno) de una elevada inestabilidad productiva temporal y espacial, con grandes variaciones en los rendimientos finales (Manzano, 2007). En la Figura 1.20 se representa la producción media de trigo duro en la UE, de media mayor que las producciones obtenidas por los países de la Península Ibérica entre 2004-2014.

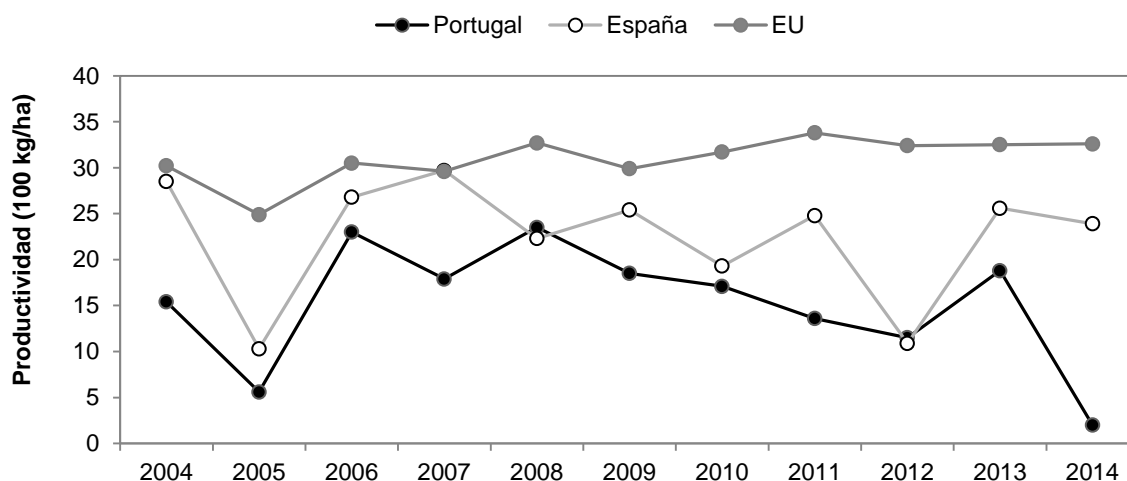


Figura 1.20. Valores de la producción media del trigo duro en la Península Ibérica y en la UE entre 2004-2014. Fuente: Eurostat (2015).

En relación a la superficie cultivada en el periodo 2004-2014 (Figura 1.21), se verifica un notable descenso desde la última reforma de la PAC en 2003. En junio del 2003 se aprobó una reforma en profundidad de la PAC con el fin de hacer frente a las expectativas de los mercados agrícolas de la UE para el periodo 2003-2010. Esta reforma dio un giro absoluto al modo en que la UE apoyaba al sector agrario. Así, la mayor parte de las subvenciones se abonarían con independencia de cuál fuera el volumen y el tipo de producción, adoptándose el modelo denominado de “ayudas desacopladas”. En el caso concreto del trigo duro el impacto fue muy negativo, con especial incidencia en Portugal a partir del 2005 (Figura 1.21) debido a la sustitución de la subvención suplementaria que este cereal tenía por una subvención específica a la calidad producida, de valor substancialmente inferior, unido a la exclusión de este cultivo al acceso a algunas de las ayudas agroambientales.

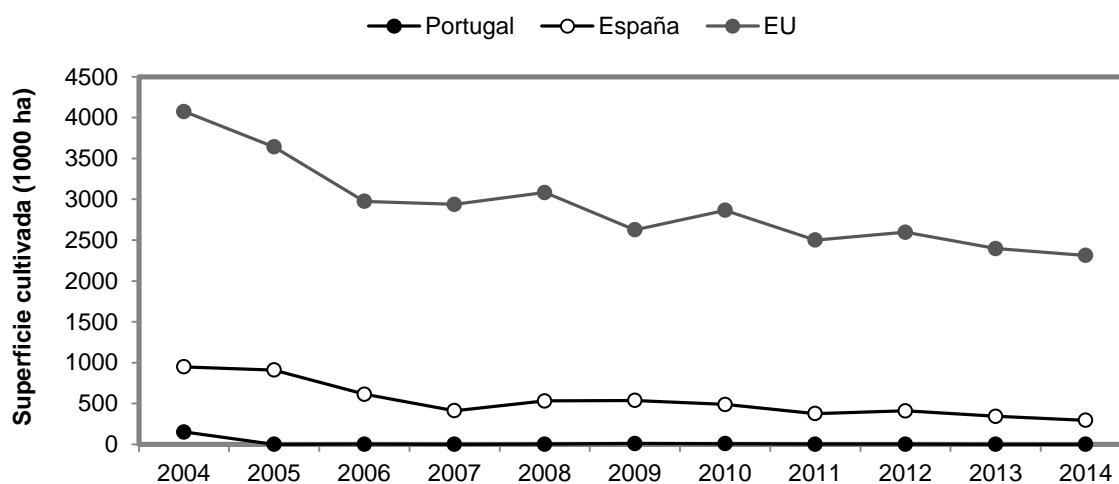


Figura 1.21. Superficie cultivada en los últimos 10 años con trigo duro en la Península Ibérica y en la UE. Fuente: Eurostat (2015).

En la actualidad el área cultivada con trigo duro ha sufrido un incremento en la campaña 2015/16 de un 163% respecto a la campaña 2014/15, con 3280 ha frente a las 1615 ha del año anterior (Anpromis, 2015). Este área se ha situado casi en su totalidad en la región del Alto y Bajo Alentejo (2.375 ha), siendo la restante área distribuida entre la región centro y norte del país.

En España, los datos provisionales de superficie cultivada con trigo duro en la campaña agrícola 2014/15 fueron de 295.700 ha, siendo el avance para la campaña 2015/16 de un incremento del 5,5% con 312.000 ha cultivadas. De este área, 211.625 ha corresponden a la comunidad de Andalucía, 87.821 ha a la provincia de Aragón, siendo los restantes 12.554 ha distribuidos por las restantes Comunidades (www.magrama.gob.es, datos 2015).

1.7 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL TRIGO DURO

La gran importancia de la cuenca mediterránea en la producción de trigo duro ha estado históricamente asociada al elevado consumo de productos derivados de este cereal (Royo *et al.*, 2014). La molturación del grano proporciona sémola y harina, productos básicos a partir de los cuales se elaboran alimentos tradicionales de vital importancia en el sustento de las poblaciones (Sissons, 2008). La pasta es el principal producto elaborado a partir de esta especie. El couscous es otro destacado alimento fabricado a partir de este cereal y es ampliamente consumido en los países del norte de África. El pan obtenido a partir de la harina de trigo duro y el bulgur son también alimentos de primera necesidad en países del Oriente medio, Balcanes y norte de África (Aleman, 2012).

El trigo duro produce un grano ámbar y vítreo de cuya molienda se obtiene una harina amarillenta con un tamaño de partícula de 150-500µm, llamada sémola (Mellado, 2007). La pasta producida con la sémola del trigo duro es preferida por su calidad superior, ya que tras la cocción conserva su forma, firmeza y un color amarillo brillante del agrado del consumidor. Por ello, para obtener una pasta de buena calidad es necesario que la variedad de trigo duro de la que se parte sea de buena calidad y uniforme (Manzano, 2007).

El grano del trigo está constituido por el salvado exterior o pericarpio que constituye del 5 al 7% del peso del grano (Figura 1.22). Está caracterizado por tener un alto contenido en fibra y cenizas y carece totalmente de almidón (Hoseney, 1991). El endospermo, que constituye la mayor parte del volumen del grano, formando el 82% del peso del grano, se halla situado en el interior de la capa o cubierta de salvado y consta de una capa de aleurona y del endospermo amiláceo. Contiene almidón y proteínas donde la mayor parte es el gluten, que son las proteínas de reserva (Bagulho, 2008). Por último el embrión o germen, que está situado en la base del grano, se caracteriza por carecer de almidón y por su alto contenido en aceite, proteína, azúcares solubles y cenizas (Hoseney, 1991).

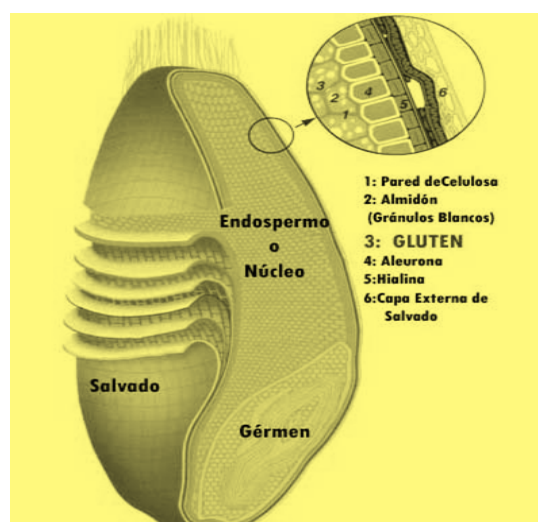


Figura 1.22. Estructura del grano de trigo. Fuente: Adaptado de Wheat Flour Institute, Hosney (1991).

Pero, la calidad es un concepto muy complejo y la determinación de sus componentes es bastante subjetiva, pudiéndose enfocar desde varios puntos de vista. Factores que afectan a la calidad como el contenido en proteína, la vitrosidad y el color, tienen diferentes prioridades en los mercados del trigo duro, y los intermediarios en la industria del grano definen sus propios conceptos de calidad. Así, a lo largo del proceso productivo del trigo duro, desde que el grano es sembrado hasta que llega al consumidor final, el concepto de calidad varía dependiendo de los intereses de las empresas de semillas, de los agricultores, de las industrias semoleras y pasteras y de la demanda del mercado (Troccoli *et al.*, 2000). La Tabla 1.5 muestra los principales aspectos relacionados con la calidad del trigo duro según los diferentes intermediarios implicados en la cadena comercial e industrial hasta el consumidor final.

Tabla 1.5. Principales aspectos relacionados con la calidad del trigo duro según los intermediarios implicados.

Empresa Semillas	Comerciante Grano	Agricultor	Industria Molinera	Industria Pastera	Consumidor Final
Pureza Varietal	Limpieza	Rendimiento	Rendimiento en Sémola	Contenido en Proteína	Calidad de cocción
Germinación	Seguridad	Calidad del grano	Contenido Cenizas	Calidad del Gluten	Apariencia visual
	Contenido en Proteína	Estabilidad e Producción	Uniformidad del grano	Tamaño de la Sémola	Calidad/Precio
	Peso Hectolitro		Humedad del grano	Índice de Amarillos	
	Humedad del grano		Impurezas		

Fuente: Troccoli *et al.*, 2000

La textura vítrea del endospermo del trigo duro es un aspecto esencial para las pastas y bastante importante para el rendimiento en sémolas (Ficco *et al.*, 2009). Los granos harinosos conducen a punteaduras blancas, desagradables para el aspecto de las pastas; poseen menor dureza que los granos vítreos y peor comportamiento durante el proceso de molienda, a la vez que originan rendimientos inferiores en sémolas a favor de un mayor porcentaje de harina (Marchylo y Dexter, 1996). La vitrosidad del grano es en gran medida controlada por circunstancias ambientales y de cultivo (Mahdi *et al.*, 1996), pero la dureza es controlada genéticamente y una selección en ese sentido puede traer buenos resultados (Brites, 1998).

1.8 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL TRIGO DURO

Existen numerosos métodos de estimación de la calidad de los trigos y la utilización de unos u otros depende de que se trate de las pruebas comerciales empleadas por la industria en la determinación de la calidad de los trigos duros o de las pruebas de calidad encaminadas a la selección de variedades en los programas de mejora. Los análisis de calidad, entendidos en su sentido más amplio, con algunas modificaciones para el trigo duro comparativamente con el trigo harinero, según López-Bellido y Fuentes (1989) citado por Poblaciones (2007), pueden agruparse en los siguientes grupos:

1. **Análisis físicos del grano:** peso hectolitro, vitrosidad, peso de 1000 granos y humedad.
2. **Análisis de las características químicas y bioquímicas, tanto del grano como de la sémola:** proteínas, cenizas, índice de gluten, rendimiento en sémola y contenido en carotenos (pigmentos amarillos).

En España el Real Decreto 1618/2005 de 30 de diciembre, sobre la aplicación del régimen de pago único, definía para la inclusión de variedades de trigo duro en la lista de variedades con derecho a la ayuda para la calidad, algunos de los parámetros indicados en los análisis tanto físicos como químicos mencionados arriba, con los cuales se determina el índice general de calidad (IGC). Este índice se comparaba para cada variedad con los parámetros de unas variedades de referencia, denominadas variedades testigo, pudiendo una variedad ser incluida en la lista si su IGC superaba el valor 98 (valor resultante de la ecuación siguiente: $IGC \text{ variedad} = 40 \times (\text{proteína variedad/proteína media testigos}) + 30 \times (\text{índice SDS variedad/ índice SDS medio testigos}) + 20 \times (\text{contenido betacarotenos variedad/ contenido betacarotenos medio testigos}) + 10 \times (\text{peso hectolitro variedad/ peso hectolitro medio testigos})$). Además el valor referente a la vitrosidad debería ser superior al 80%. Según López-Bellido (2009), todavía para una valoración global de la calidad del trigo duro se utilizan también dos índices, que son:

- **Valor semolero:** es el rendimiento en sémolas de una pureza determinada que se puede esperar de un determinado trigo. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$V.S. = 74 + (\text{peso hectolitro} \times 0.444) - (\text{cenizas} \times 23.55)$$

- **Valor pastero:** define la calidad en la cocción y en la masticación que se puede esperar en una pasta alimenticia obtenida con sémolas de un determinado trigo. Se calcula con la formula:

$$V.P. = (5.5 \times \text{proteínas}) + (0.2 \times \text{índice de gluten})$$

Para la situación Portuguesa, existe atualmente una iniciativa innovadora para los trigos en la cual el INIAV-Elvas y el Instituto Politécnico de Beja realizan anualmente ensayos de campo para analizar diversos parámetros agronómicos y de calidad tecnológica con el objetivo de elaborar una Lista de Variedades Recomendadas (LVR) para trigos blandos y duros de calidad en asociación con la producción (Asociación Nacional de Productores de Oleaginosas y Cereales - ANPOC) y la industria (Ceres, Germen y Cerealis) con el objetivo de identificar las variedades que mejor sirvan los intereses de todos los agentes. Con este proyecto se elabora anualmente una lista con las variedades de trigo duro de elevada calidad (clase A y B) que mejor comportamiento tuvieron, desde los puntos de vista tanto agronómico como tecnológico. Debido a sus características de calidad superior (elevado contenido proteico, vitrosidad y cenizas), el trigo duro clase A corresponde a la clase de trigo de mayor valor de mercado (Tabla 1.6). Se pretende así, contribuir a la disminución de la gran dispersión de variedades empleadas por los agricultores, para obtener mayores productividades por área de trigos y de alta calidad, y también para que sea posible la obtención de lotes de grano más homogéneos y de mayor dimensión de acuerdo con las exigencias de la industria. Esos parámetros de calidad semolera son definidos por parte de la industria para las dos clases de calidad del trigo duro, los cuales se expresan en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6. Parametros de calidad semolera definidos por la industria Portuguesa para el trigo duro.

Tipo de trigo	Clase A	Clase B
Humedad (%)	Max. 13	Max. 13
Peso hectolitro (kg/hl)	Min. 78	Min. 77
Proteína s.s. (%)	Min. 12	Min. 11,5
Vitrosidad (%)	Min. 80	Min. 65
Cenizas s.s. (%)	Máx. 1,9	Máx. 1,9

Fuente: Cerealis, Produtos Alimentares, S.A., 2015

1.8.1 ANÁLISIS FÍSICOS

1.8.1.1 PESO HECTOLITRO

Expresa el peso del grano por unidad de volumen en kg HI¹. Este índice es muy antiguo y se utilizaba para cifrar el valor comercial del grano en la época en que este era vendido por volumen. El peso hectolitro es un parámetro ligado a la proporción de endospermo y tegumentos siendo más elevado cuanto mayor es el endospermo (López-Bellido, 1991). A su vez el tamaño de los granos dependen, sobre todo, de la variedad y de las condiciones ambientales, principalmente durante el transcurso del llenado y maduración del grano (Blumenthal *et al.*, 1991).

El peso hectolitro puede estar influido por diversos factores como los espacios vacíos intercalares, el contenido en agua del grano y la naturaleza y cantidad de las impurezas presentes en la muestra. No obstante, este parámetro es todavía importante para definir el rendimiento en harina o sémola del grano, que es más elevado a medida que es mayor (Brites *et al.*, 1998).

1.8.1.2 VITROSIDAD

El carácter vítreo es un parámetro que tiene importancia en el caso de los trigos duros, principalmente porque a una mayor presencia de granos no vítreos (harinosos), se produce, en el proceso industrial, una menor cantidad de sémolas y una mayor cantidad de harina, que para el trigo duro es un subproducto (Marchylo y Dexter, 1996; Sissons, 2008). Si bien una parte de esta puede ser incorporada a la propia sémola, una excesiva producción de harina implica que esta deba destinarse a otras utilidades de menor rentabilidad.

Aparte de la sensibilidad varietal y de todas aquellas circunstancias que desfavorezcan el depósito de proteínas en el grano o la menor proporción de estas, la presencia elevada de humedad durante la etapa final de maduración del grano, ya sea por precipitaciones o por riegos dados en las semanas previas a la cosecha, es decisiva para la pérdida del carácter vítreo que tiene todo grano inmaduro, transformándose en este caso en grano harinoso (Nachit *et al.*, 1995).

1.8.1.3 PESO DE 1000 GRANOS

El peso de 1000 granos está directamente relacionado con el tamaño (Godon, 1991) y densidad de cada grano (Halverson y Zeleny, 1988). Si dos muestras de granos, con una distribución de tamaños semejantes, tienen un peso de 1000 granos diferente, entonces en la

muestra más pesada los granos tienen una mayor proporción de endospermo porque la densidad del endospermo es mayor que la densidad de las cubiertas del grano (Posner y Hibbs, 1997). A su vez el tamaño y la densidad de los granos dependen, sobre todo, de la variedad y de las condiciones ambientales, principalmente durante el transcurso del llenado y maduración del grano (Ferro Palma, 2009).

1.8.1.4 HUMEDAD

La humedad presenta, en primer lugar, un interés tecnológico. Cada aplicación industrial del grano y de las sémolas viene definida por un contenido de humedad preciso que optimiza el proceso. Para mejorar su comportamiento tecnológico en la molienda, el grano es previamente acondicionado aumentando uniformemente su humedad hasta un valor óptimo, que oscila entre 14 y 17% (Callejo, 2002). La humedad tiene también un interés analítico, ya que es necesario referir todos los resultados de los análisis a una base fija expresada en materia seca o en contenido de humedad estándar.

1.8.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

1.8.2.1 PROTEÍNAS

La cantidad y calidad de proteína son parámetros que evalúan el potencial de las sémolas en relación a su uso o destino final. De ellas dependen las propiedades plásticas o reológicas de las masas. Su cantidad se relaciona con el nitrógeno total y es un factor más ligado al ambiente y a las condiciones de cultivo que a la variedad (González y Rojo, 2005).

Las proteínas del grano se pueden dividir en albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas, dependiendo de su solubilidad en agua, en solución salina, en 70% de etanol acuoso y en soluciones ácidas o alcalinas, respectivamente (Finney *et al.*, 1987; López-Bellido, 1991; Brites *et al.*, 1998). Las albúminas y globulinas tienen funciones metabólicas y estructurales y se localizan principalmente en el embrión y en la periferia del grano. Las gliadinas y las glutelinas son las proteínas insolubles, llamadas proteínas de reserva, que se localizan en las células del endospermo en forma de corpúsculos o cuerpos proteicos. Estas constituyen la fracción más importante, cualitativa y cuantitativamente en los cereales (Brites, 1998).

El contenido de proteínas en el trigo presenta una gran variabilidad intraespecífica como consecuencia de la interacción genotipo-ambiente (Nachit *et al.*, 1995). Algunas variedades de trigo duro incrementan el contenido de proteína del grano como consecuencia de aportes de nitrógeno, mientras que en otras el contenido de proteína permanece más o menos constante (Brites *et al.*, 1998). Ello está relacionado tanto con la actividad nitrato-

reductasa como con la eficiencia en la translocación de los compuestos nitrogenados de las partes vegetativas de la planta a los granos (Flores *et al.*, 2005).

1.8.2.2 CENIZAS

Representan el porcentaje de sales minerales del grano de trigo o de la harina. Su cuantificación resulta de gran importancia industrial, ya que el rendimiento en harina o sémola suele ser mayor a medida que el porcentaje de cenizas sea más bajo (López-Bellido, 1991). En efecto, si el endospermo del grano se encuentra muy mineralizado, las sémolas de él obtenidas tendrán también una tasa alta de cenizas, con lo que la fábrica deberá rebajar el grado de extracción para lograr el cumplimiento de la reglamentación vigente (Portaria nº 1022/94), la cual ordena un máximo del 0,90% en las cenizas de las sémolas destinadas para una calidad superior de pasta alimenticia. Por otro lado, si el grano tiene mucho salvado en relación al endospermo, la tasa de cenizas global del grano también será elevada, y en este caso tampoco será posible obtener elevadas extracciones de sémola.

El valor de las cenizas se obtiene por su combustión a 600-900°C y está formado por los residuos de elementos metálicos y no metálicos y por aquellos residuos minerales incombustibles provenientes de la descomposición de materias orgánicas. No existe una correspondencia estricta entre las materias minerales y las cenizas, pero se consideran similares dado que las diferencias son muy débiles (López-Bellido, 1991). El contenido medio en cenizas del grano de trigo es de alrededor del 1.8% sobre la materia seca. Las zonas externas del grano y las capas periféricas del endospermo son las que tienen mayor proporción de sales minerales (Singh *et al.*, 1998).

En el contenido en materias minerales del grano y de la harina influyen factores genéticos, edafológicos (naturaleza del suelo, riqueza en humus y disponibilidad de nutrientes), climáticos (insolación y humedad), agronómicos (abonados, densidad de siembra y cultivo anterior), fisiológicos (estado de maduración del grano en la recolección y enfermedades criptogámicas) y los tratamientos tecnológicos (acondicionamiento del grano antes de la molienda y el rendimiento de extracción de harina o sémola).

1.8.2.3 ÍNDICE DE GLUTEN

El gluten es un complejo de grandes dimensiones constituido por cerca de 80% de la proteína total del endospermo del trigo. Se trata de una red viscoelástica que se forma cuando se trabaja una mezcla de harina y agua, constituido principalmente por proteínas poliméricas: gluteninas (cadenas polipeptídicas unidas entre sí por puentes bissulfeto) y proteínas monoméricas: gliadinas (polipéptidos de cadena simple) (MacRitchie, 1994). Las primeras

añaden al gluten elasticidad mientras que las segundas están más relacionadas con su extensibilidad y viscosidad.

El índice de gluten (húmedo o seco) es el método más utilizado para evaluar las características proteicas del trigo duro. Se trata de una metodología muy simple que consiste en la extracción manual o mecánica del gluten, utilizando sucesivos lavados para que ocurra la lixiviación del almidón y restantes constituyentes, con un posterior secado. Mientras que el gluten húmedo caracteriza el aspecto, estado de agregación y elasticidad, el gluten seco permite determinar su grado de hidratación, es decir, el porcentaje de agua eliminada después del calentamiento.

El índice de gluten puede ser determinado a partir del gluten húmedo después de una breve centrifugación con equipamiento específico, que fuerza el paso del gluten a través de una malla y permite estimar su cohesión. Según Cubadda *et al.* (1992) el índice de gluten es un excelente método para evaluar la fuerza de los trigos en muestra de harina integral y sémolas. Un gluten fuerte es considerado un pre-requisito fundamental para obtener pastas de calidad culinaria superior (Öak y Dexter, 2006).

1.8.2.4 RENDIMIENTO EN SÉMOLA

El rendimiento en sémola es un importante criterio de calidad del trigo semolero, una vez que la cantidad y homogeneidad de la granulometría de las sémolas obtenidas condicionarán la calidad de las pastas. La existencia de una asociación positiva entre el peso del hectolitro y el rendimiento en sémola es largamente utilizada como un indicador del potencial industrial de un trigo, siendo referida por numerosos autores (Marshall *et al.*, 1986; Dexter *et al.*, 1987; Chaurand *et al.*, 1999; Carilho, 2006; Clarke *et al.*, 2008).

La utilización del rendimiento en sémola como criterio de selección en programas de mejora genética es complejo, pues integra la molienda propiamente dicha en molinos de laboratorio, su purificación a través de cribas que permiten obtener sémolas de granulometría adecuada (comprendida entre 160 - 500 μ m) y con varios grados de pureza. La industria utiliza actualmente granulometrías aún más finas que presentan ventajas debido al incremento de los rendimientos obtenidos, pues mejoran las propiedades higroscópicas de las partículas aumentando la eficiencia del proceso tecnológico de la fabricación de las pastas (Clarke *et al.*, 2008).

1.8.2.5 PIGMENTOS CAROTENOIDES

La elevada concentración de pigmentos carotenoides (amarillos) es una característica deseable en los granos del trigo duro, siendo importante en los programas de mejora genética

de trigo en todo el mundo (Eloufi *et al.*, 2001; He *et al.*, 2007). El color amarillo del endospermo de los granos es apreciado por las industrias semoleras por dos razones: i) torna estos productos más apetitosos al consumo humano y ii) ofrece beneficios para la salud, asociados a los carotenoides, que poseen actividad antioxidante y previenen la degeneración de la pigmentación de la piel (Abdel-Aal *et al.*, 2007).

El término caroteno fue acuñado por Wackenroder en 1831 para referirse al pigmento naranja aislado a partir de zanahorias (*Daucus carota*). Posteriormente, en 1837, Berzelius se refería con el nombre de xantofilas al pigmento amarillo de las hojas otoñales. No obstante, tuvo que transcurrir bastante tiempo, hasta que en 1906 el botánico ruso Mikhail Tswett consiguiera separar los pigmentos de un extracto alcohólico de hojas verdes, inventando la cromatografía. Hacia 1929 los trabajos de von Euler, Karrer y Moore demostraron la relación entre los carotenoides y la vitamina A, siendo a partir de aquí que el interés por estos compuestos ha crecido (Britton *et al.*, 2009).

De los pigmentos carotenoides, las xantofilas y los compuestos flavonoides son los responsables del color amarillo del grano de trigo y sus productos de molienda (sémola) (Miskelly, 1984). De acuerdo con investigaciones recientes, la única clase de componentes conocida por atribuir pigmentación amarilla a la semolina del trigo duro es la de los carotenoides (Fратиanni *et al.*, 2005; Abdel-Aal *et al.*, 2007). Dentro de esta clase, se pueden distinguir varios compuestos con estructura diferente y en cantidades variables en los granos de las especies de la familia *Poaceae*. En el trigo duro, la que se encuentra en mayor cantidad es la xantofila Σ -luteína, que supone del 80 al 90% de la totalidad de los carotenoides (Abdel-Aal *et al.*, 2007), correspondiendo los restantes 10-20% a la luteína esterificada (Hentschel *et al.*, 2002;) y carotenos (Panfili *et al.*, 2004; Abdel-Aal *et al.*, 2007).

Sin embargo, el color amarillo no sólo depende de la presencia de pigmentos carotenoides, sino que es influenciado por factores como la tasa de extracción de sémola o harina (Matsuo y Dexter, 1980), las condiciones de procesado (Borrelli *et al.*, 2003) y la degradación oxidativa de pigmentos por enzimas lipoxigenasas (LPX) durante el amasado (Manna *et al.*, 1998; Borrelli *et al.*, 1999). El indeseable proceso de amarronamiento es atribuido a la acción de enzimas peroxidadas (POD) y polifenol oxidasas (PPO), presentes en el grano (Roncallo *et al.*, 2009).

El color amarillo en la pasta puede también lograrse por incorporación de otro tipo de sustancias. La incorporación de yemas de huevo a la sémola, harina o sus mezclas da lugar a los denominados fideos con huevo o al huevo. Muchas veces la industria refuerza el color amarillo con la adición de azafrán, β -caroteno natural o de síntesis. Sin embargo, el color amarillo puede incrementarse a través de la mejora genética, seleccionando genotipos portadores de genes con alto contenido de pigmentos y baja actividad de enzimas oxidativas (Roncallo *et al.*, 2009).

Existen tres metodologías utilizadas para la evaluación del color en productos de molienda y pasta: a) comparaciones visuales con muestras estándar, b) extracción química de pigmentos seguida de determinaciones espectrofotométricas y c) mediciones por reflectancia de luz (Tabla 1.7). En las mediciones por reflectancia de luz se utilizan colorímetros como el Minolta, definiéndose el color en términos de los valores estímulos primarios para luz roja, verde y azul (CIE L*a*b*).

Tabla 1.7. Métodos utilizados en la determinación del color de la semolina del trigo duro.

Técnica	Método	Unidades
	AACC nº 14-50	ppm
Extracción química de pigmentos	CC 152	ppm
	Métodos alternativos	ppm
Reflectancia de luz		CIE L* 0 (negro puro) a 100 (blanco puro)
	Colorímetro Minolta	CIE a* - 60 (verde puro) a + 60 (rojo puro)
		CIE b* - 60 (azul puro) a + 60 (amarillo puro)
Comparaciones visuales		

Adaptado de Roncallo *et al.*, 2009

1.9 MEJORA GENÉTICA CONVENCIONAL - METODOLOGÍAS DE SELECCIÓN

Poehlman, en 1983 definió la mejora genética de las plantas como el arte o la ciencia que permite cambiar y mejorar la herencia de las plantas. Antes, Vavilov, la definió como la evolución orientada por la voluntad del hombre, al principio, de forma inconsciente, y actualmente, con plena consciencia y con bases científicas. Lo que la mejora hace es reproducir los procesos evolutivos naturales, pero dirigiéndolos en una forma determinada - la obtención de genotipos que resulten más beneficiosos para la humanidad (Gomes y Nascimento, 1997).

Por su parte, la selección es un procedimiento de mejora muy antiguo, que el hombre practica desde hace muchos años, prácticamente desde que empezó a domesticar las plantas (Poehlman, 1983). Esta actividad empezó cuando Camerarius, en 1694, demostró que las plantas tenían sexo. Pinturas egipcias con más de 4000 años de antigüedad muestran hombres polinizando palmeras lo que indicia que el control de la polinización interesó al hombre desde hace mucho tiempo (Mayta *et al.*, 2014). En 1856, Gregor Mendel publicó los resultados de sus

investigaciones que dieron lugar a las leyes que llevan su nombre, pero ellas no se usaron para explicar la eficiencia de los métodos o para crear nuevos, hasta que su trabajo se redescubrió en 1900, cuando el holandés De Vries, el alemán Correns y el austriaco Tschermak, publicaron experimentos similares a los de Mendel, y se dieron cuenta de la importancia de ellos (Mayta *et al.*, 2014). En 1901, De Vries y Tschermak, visitaron la Estación Experimental de Svalöf en Suecia y contaron a los mejoradores sobre sus investigaciones que corroboraban los resultados de Mendel. Ese momento puede considerarse como el inicio del uso de los conceptos de la genética mendeliana aplicados a la "Mejora de las Plantas". En 1903 el danés Johanssen propuso el concepto de la "línea pura", y se definió los conceptos "genotipo y fenotipo". En 1906, Nilsson Ehle publicó un artículo en el que expuso la dificultad de obtener buenos genotipos por simple selección dentro de una población, recomendando los cruzamientos artificiales como el mejor modo de combinar varios caracteres deseables (Mayta *et al.*, 2014).

Las metodologías de selección actuales siguen rigurosamente los postulados de la genética Mendeliana. Esas metodologías, aplicadas a diferentes formas de producción de las plantas es lo que se denomina "Métodos de Mejoramiento". Todos los métodos tienen como objetivo seleccionar los mejores genotipos dentro de una población, o crear genotipos nuevos con características previamente definidas. Un buen ejemplo de la creación de nuevos genotipos o variedades fue logrado por el Dr. Norman Borlaug a través de la introducción de los genes Rht (Reduced height) en variedades de trigo y otros cereales, lo que permitió reducir considerablemente la altura de las plantas. Como consecuencia inmediata se disminuyó el encamado posibilitando así la intensificación de la cultura. Con este avance, se pudo incrementar la fertilización originando el aumento de la producción agrícola en los países subdesarrollados durante las décadas de los 60 y 70 (Maçãs *et al.*, 2011). Este fenómeno se llamó la **Revolución Verde** y tuvo un enorme impacto social al ayudar a erradicar el hambre en el mundo. Con este hecho el Dr. Norman Borlaug ganó el Premio Nobel de la Paz en 1970.

La gran mayoría de las variedades de cereales autogámicos empleadas actualmente en la agricultura moderna son obtenidas a partir de trigos de la "Revolución Verde" a través de los llamados métodos convencionales de mejora de plantas sobre germoplasma genéticamente prometedor (Gomes y Nascimento, 1997). Estos métodos se denominan clásicos para distinguirlos de otros, como la ingeniería genética, genética molecular o la biotecnología (Gonzalez *et al.*, 1993). Todos los métodos tienen como objetivo seleccionar los mejores genotipos dentro de una población, o crear genotipos nuevos con características previamente definidas. Todos los métodos están diseñados, para en mayor o menor grado:

1. Generar semilla cuya descendencia reproduzca el genotipo deseado.
2. Hacer máximo uso de la variabilidad genética presente en la(s) población(es) seleccionada(s).

3. Crear mayor variabilidad genética, a través de la hibridación y recombinación para obtener nuevos genotipos.
4. Evaluar la descendencia para definir el genotipo.
5. Controlar el efecto de la interacción genotipo por ambiente y del error experimental para mejorar la heredabilidad (Mayta *et al.*, 2014).

Las Figuras 1.23 y 1.24 ilustran en forma de fotografías los diferentes procesos que se emplean en la realización de las hibridaciones intervarietales en los programas de mejora genética convencional con cereales autógamos.



Figura 1.23. Proceso de emasculación de la espiga.



Figura 1.24. Polinización y obtención del grano híbrido.

De las metodologías de selección que se utilizan en los programas de mejora genética de cereales autógamos, las más comunes son:

- *Pedigree o selección genealógica*
- *Bulk o selección Masal*

1.9.1 PEDIGREE O SELECCIÓN GENEALÓGICA

En el método *Pedigree* o genealógico, inicialmente propuesto por Hjalman Nilsson (Mayta *et al.*, 2014), se realiza un registro individual de las características de las líneas descendientes de todos los individuos en cada generación (Figura 1.25). Es decir, en la F₂, 1ª generación segregante, se anotan las características de todas las plantas y se seleccionan las mejores. Las plantas F₂ seleccionadas producen semillas por autofecundación formando una familia de la generación F₃. En las generaciones más precoces, la selección incide básicamente en características de heredabilidad elevada tales como, ahijamiento, altura del tallo, fecha de espigado, fecha de maduración, resistencia a enfermedades, duración del ciclo vegetativo o rapidez del llenado del grano. En las generaciones más avanzadas y antes de obtener la uniformidad, se destacan las características de media heredabilidad como la resistencia al encamado, rendimiento y calidad de la proteína (Poehlman, 1983; Allard, 1999).

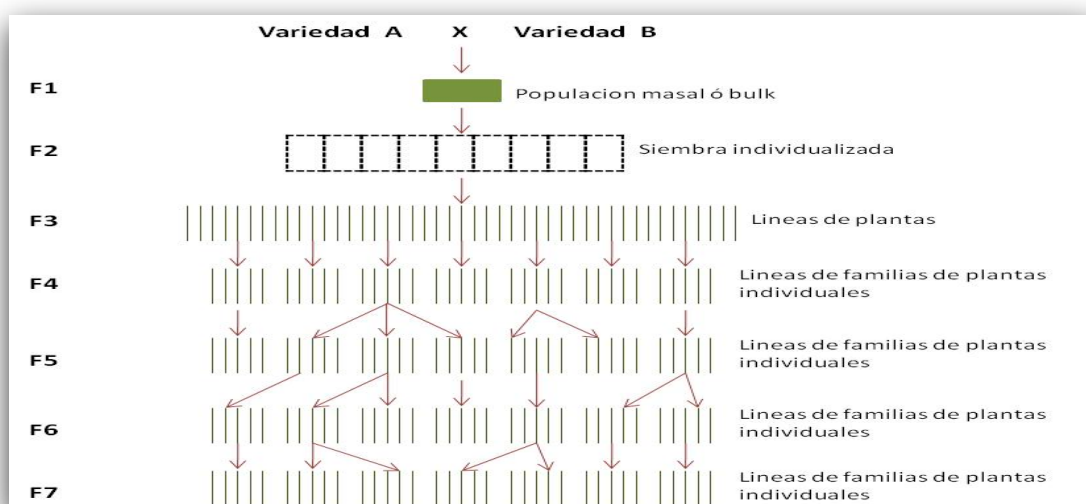


Figura 1.25. Representación esquemática del proceso de selección por método genealógico o Pedigree. Adaptado de Poehlman (1983).

1.9.2 BULK O SELECCIÓN MASAL

El término Masal (*mass selection*) se usa como sinónimo de *bulk method*. Nilsson y Ehle (1908) en Suecia, fueron los primeros en realizar la selección masal (Poehlman, 1983). Este método consiste en la selección de un gran número de individuos con características fenotípicas similares que luego son mezclados para constituir la generación siguiente (Allard, 1999). Es uno de los más antiguos métodos de mejora y es eficiente en poblaciones heterogéneas, constituidas por mezclas de líneas puras, en especies autógamas o en individuos heterocigotos como es el caso de las plantas alógamas (Mayta *et al.*, 2014). La idea principal de la selección masal es que al escoger los mejores fenotipos se mejora el nivel de la población por la reunión de fenotipos superiores ya existentes. En la selección masal, las

plantas individuales son seleccionadas fenotípicamente. Como los individuos con fenotipos semejantes pueden presentar constitución genética distinta, la selección no siempre es efectiva. La selección masal es generalmente poco utilizada para características de baja heredabilidad (Mayta *et al.*, 2014).

Este método se diferencia del genealógico una vez que las plantas F2 son segadas sin selección previa y la semilla constituye una mezcla que es sembrada en cada parcela al año siguiente. El proceso se repite hasta la F5 o F6 siendo entonces cuando se seleccionan plantas individuales, se multiplican y testan para evaluar su capacidad productiva y tecnológica (Figura 1.26).

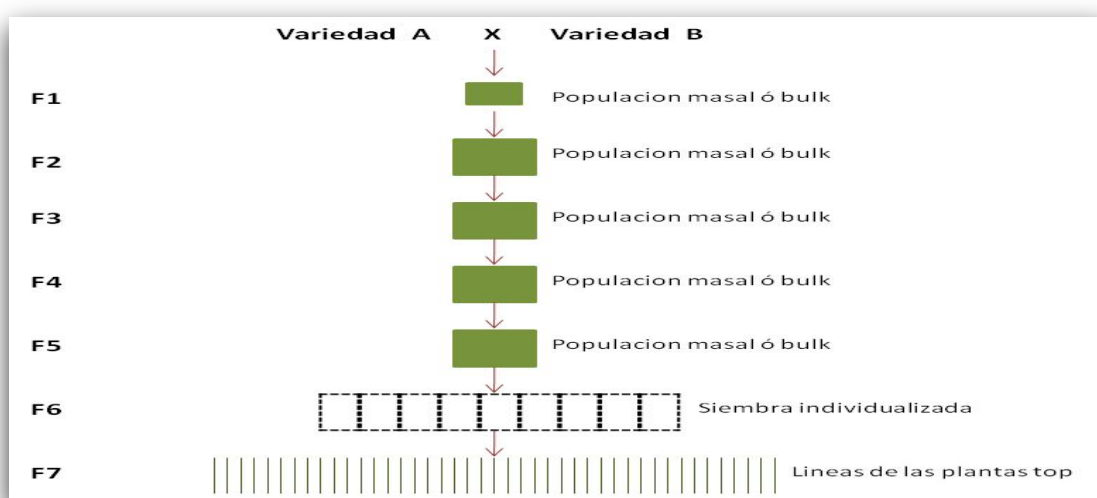


Figura 1.26. Representación esquemática del proceso de selección por bulk method. Adaptado de Pehlman (1983).

1.10 MEJORA DEL TRIGO DURO EN PORTUGAL

Inicialmente, la mejora de los trigos duros en Portugal se desarrolló con base a la variabilidad existente en el material indígena (Maçãs, 1983). Debido a la naturaleza tetraploide de estos trigos, con menor número de cromosomas y, consecuentemente, menor número de genes para combinar, la variabilidad genética obtenida no fue la deseable, comparativamente con el trigo blando (Bagulho, 1969; Maçãs, 1983). Después de las redescubiertas leyes de la heredabilidad establecidas por Gregor Mendel en 1865, el desarrollo de metodologías de recombinación favoreció el incremento de la variabilidad existente.

La creación de la Estación de Mejora de Plantas en 1942, en Elvas, contribuyó a la sistematización del programa de mejora del trigo, el cual basó su estrategia, metodologías de desarrollo y trabajo en la escuela de Svålov (Suécia), la precursora de la mejora genética en Europa. El programa fue entonces instalado y desarrollado en Elvas, revelando el conocimiento

y la preocupación de los responsables sobre la importancia de conducir trabajos de mejora en un ambiente representativo y determinante para la obtención de variedades ajustadas a este padrón ambiental (Barradas y Bagulho, 1967; Maçãs *et al.*, 2011).

A partir de ese momento la mejora del trigo duro se intensificó, siendo posible obtener la variedad portuguesa **Amarelejo**, la cual ocupó una posición destacada en el cultivo del trigo duro en los años 60 (Maçãs, 1983). Esta variedad, resultado del cruzamiento entre las variedades **Preto Amarelo** y **Alexandre**, dos trigos tetraploides portugueses antiguos (Barradas y Malato-Beliz, 1961), superó a ambos progenitores en productividad, presentando también una buena adaptabilidad y regularidad de producción. Como característica negativa, poseía una enorme susceptibilidad al encamado, debido a su altura y también una calidad tecnológica baja (Maçãs, 1983). En la década de los 70, fruto de las variedades obtenidas “pós” Revolución Verde, la variedad **Norin 10** que poseía los genes Rht, provenientes del Centro Internacional de Mejora de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México, fue introducida en el Programa de Mejora de Trigo de la Estación Nacional de Mejora de Plantas (ENMP) de Elvas, a través de la inducción artificial de mutaciones (Barradas, 1969). Hubo algún progreso a nivel de la resistencia al encamado, pero las líneas obtenidas jamás llegarían a variedades (Maçãs, 1983). En 1965, México lanzó el primer trigo duro semienano, **Oviachic**. Esta variedad resultó del cruzamiento entre la variedad Tehuacan y un trigo harinero que portaba los genes de Norin 10. Desafortunadamente, el gen Norin 10 de paja corta estaba ligado a genes de esterilidad. En los trigos duros la tendencia hacia la esterilidad es especialmente indeseable debido a que la sequía y las altas temperaturas que son comunes en las zonas productoras, acentúan este aspecto. Pese a todo, Oviachic, dio en esa época buenos rendimientos, debido a que, su paja corta y sus tallos vigorosos la hicieron resistente al encamado, respondiendo bien a la fertilización. Más tarde, esa variedad llegó a Portugal y se introdujo en los esquemas de hibridaciones de la ENMP. A partir de aquí, se mejoraron bastante las características agronómicas pero se perdió calidad tecnológica (Bagulho, 1969; Maçãs, 1983; Brites, 1998).

Con la modificación a nivel fenotípico de la planta, la selección ejercida a partir de ahí sobre el germoplasma disponible, condujo más tarde, en los años 80, a la obtención de las variedades **Alçaçova**, **Almocreve**, **Faisca**, **Faia**, **Castiço**, **Hélvio** y **Celta**, con gran resistencia al encamado y que tuvieron una gran divulgación y aceptación en la cerealicultura portuguesa, representando un avance muy significativo desde el punto de vista agronómico. Hoy en día, Hélvio y Celta continúan siendo unas referencias de regularidad de producción en estos ambientes. Interesa subrayar que tanto la variedad Faisca como el Faia, tenían en su genealogía la variedad mexicana **Oviachi**, la cual ya estaba muy difundida en los esquemas de hibridaciones realizados en esos años.

A partir de entonces la antigua Estación de Mejora de Plantas en Elvas, actualmente (INIAV-Elvas), como organismo científico, continuó y continúa desarrollando esfuerzos en el sentido de seleccionar e identificar genotipos de trigo duro más adecuados a las nuevas

exigencias del mercado agrícola cada vez más globalizado. Del trabajo desarrollado surgieron a principios de los años 90 la variedad **Trovador**, y pasados pocos años después, ya a finales de los 90, la variedad **Marialva**, un trigo duro con base genética CIMMYT, con gran adaptabilidad a las condiciones agroecológicas del sur de Portugal, elevada capacidad productiva y con muy buena calidad tecnológica para la fabricación de pastas. Actualmente el programa de mejora de trigo duro del INIAV-Elvas, continúa identificando y desarrollando germoplasma a través de la realización anual de hibridaciones artificiales (Figura 1.27), de entre la base genética que tiene a su disposición, obteniendo así variabilidad genética (Figura 1.28), asegurando así un conjunto de líneas que son evaluadas en ensayos de rendimiento (Figura 1.29) para asegurar la obtención de nuevas variedades de trigo duro con comportamiento adecuado para los diferentes sistemas agrícolas de Portugal.

En la Figura 1.27 se muestra el número de cruzamientos realizados en la EMP de Elvas, en la que la ausencia de cruzamientos durante algunos años se debió fundamentalmente a la quiebra de área cultivada con esta especie, después de la reforma de la PAC del 2003, lo que influyó significativamente en la mejora genética de esta especie durante algunos años.

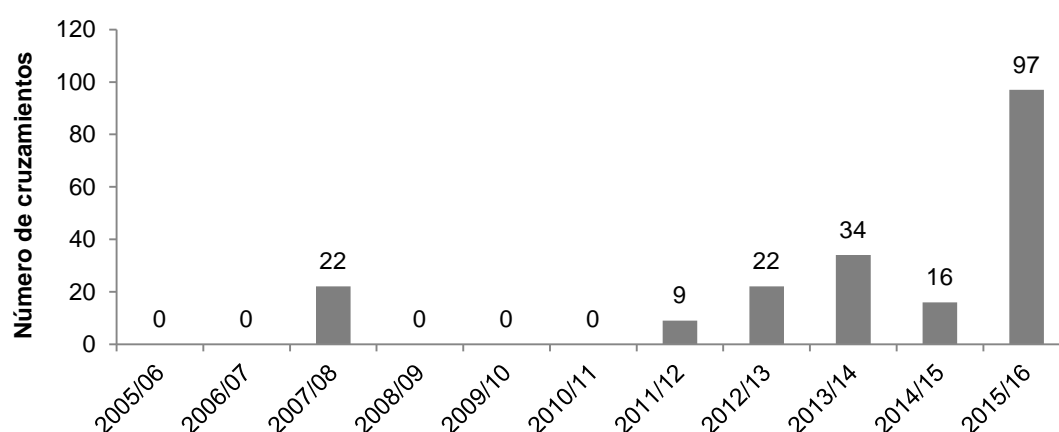


Figura 1.27. Número de cruzamientos realizados en trigo duro, en la EMP-Elvas en las 11 últimas campañas agrícolas.

El material segregante con el que se trabajó durante el mismo periodo (Figura 1.28) se centró fundamentalmente en generaciones segregantes más avanzadas F4, F5 y F6, como también de material genético proveniente de otras Instituciones de Mejora, resultantes de selecciones de años anteriores, o por el método de Pedigree o a través de selección masal. En los últimos años la elevada presión de la nueva raza de roya amarilla, ha contribuido a una reducción muy significativa del material del que se disponía en observación.

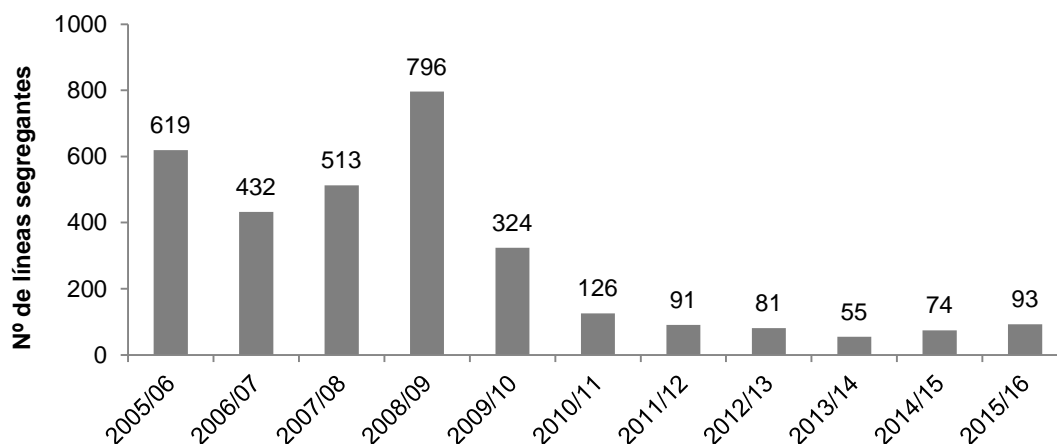


Figura 1.28. Número de líneas segregantes de trigo duro, resultantes de diferentes generaciones en las últimas 11 campañas agrícolas en la EMP-Elvas.

En relación al germoplasma más avanzado F7 o F8, que ya se encuentra en ensayos de rendimiento, ha existido un ligero incremento en su número en los años 2011/12 y 2012/13 (Figura 1.29), pero por las mismas razones descritas anteriormente, su número disminuyó en posteriores campañas. Sin embargo, el material genético disponible actualmente augura un buen camino de trabajo en el sentido de la obtención de nuevas variedades de trigo duro.

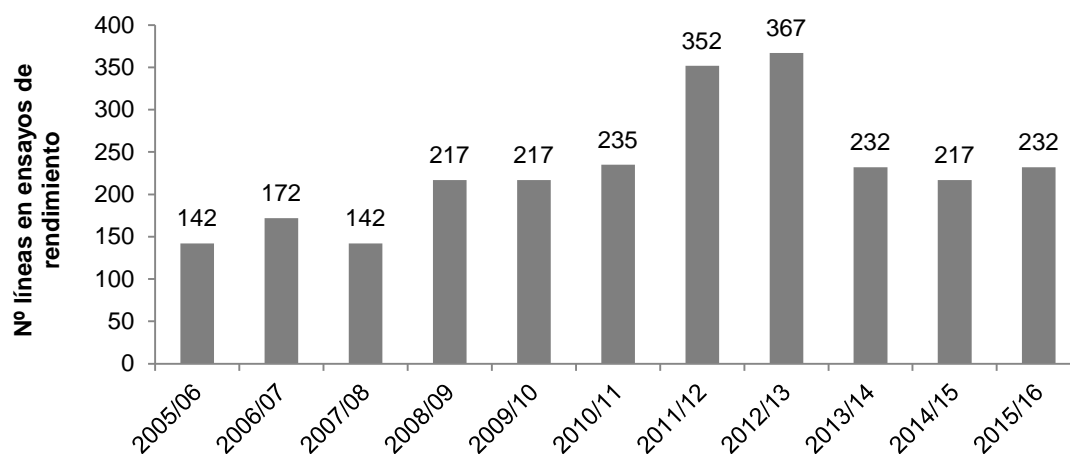


Figura 1.29. Número de líneas avanzadas de trigo duro en ensayos de rendimiento en las últimas 11 campañas agrícolas en la EMP-Elvas.

Actualmente están en fase de inscripción en el Catálogo Nacional de Variedades Portugués (CNV), cuatro líneas avanzadas de trigo duro del programa, cuya base genética es fundamentalmente italiana y mexicana, presentando un elevado potencial productivo, una excelente aptitud tecnológica para la fabricación de pastas y poseen resistencia a la nueva raza de roya amarilla (*Warrior/Ambition*).

1.11 EVOLUCIÓN DEL POTENCIAL GENÉTICO DE PRODUCCIÓN EN EL INIAV-ELVAS

La investigación agrícola busca que no sólo se produzcan más alimentos, sino que además la agricultura se administre para satisfacer las necesidades cambiantes de la humanidad, mientras que se conserven los recursos naturales y se evite la degradación del medio ambiente (Mayta *et al.*, 2014). La mejora genética vegetal puede contribuir incrementando el grado de sostenibilidad de los sistemas agropecuarios de producción, mediante el desarrollo de genotipos adaptados a nuevos requerimientos ambientales y nuevas demandas del mercado de consumo. Esto requiere en el plano de la investigación genética, la consideración de cambios en la priorización de objetivos, en las técnicas de selección y en la búsqueda y utilización de la variabilidad genética (Mayta *et al.*, 2014).

Teniendo en cuenta estos aspectos, la mejora genética del trigo en Portugal ha tenido diferentes prioridades a lo largo de los años, siendo el aumento del potencial genético de producción, la resistencia a estreses bióticos y la adaptación a las características del ambiente mediterráneo constantes en la preocupación de los mejoradores (Maçãs *et al.*, 2011). El progreso a nivel del potencial de rendimiento revela la existencia de tres peldaños que marcan las prioridades del programa de mejora del INIAV-Elvas a lo largo de 60 años de actividad (Figura 1.30).

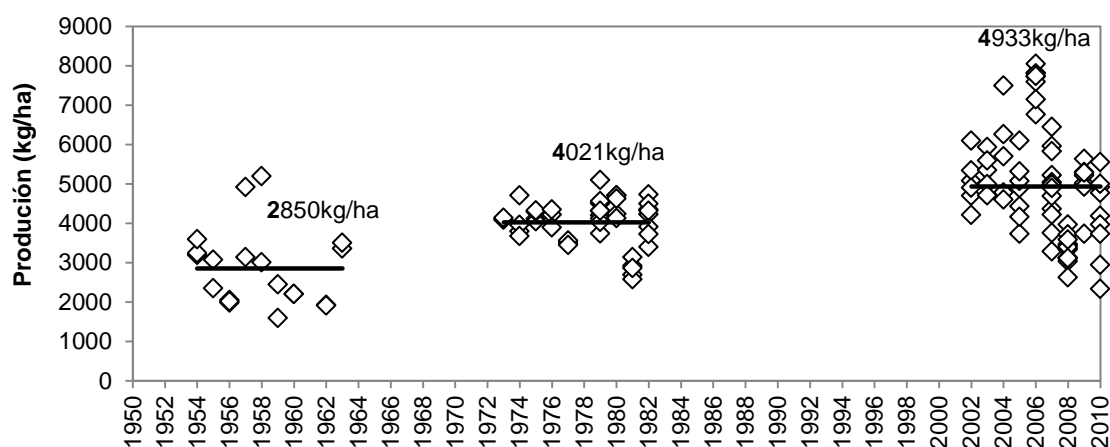


Figura 1.30. El progreso a nivel del potencial de rendimiento del programa de mejora del INIAV - Elvas.

El incremento del primer al segundo peldaño fue resultado de la introducción de los trigos portadores de los genes *Rht* (*Reduced Height*) y marcó la gran influencia de la Revolución Verde. En este periodo la prioridad fue la reducción de la altura de la paja cuyos genes tuvieron también efectos pleiotrópicos positivos a nivel de otros componentes del rendimiento, principalmente por el aumento del índice de cosecha (IC). Fue también muy

importante en esa época la enorme presión de selección para mejorar la resistencia/tolerancia a los estreses abióticos, principalmente la resistencia a la sequía y bióticos (con gran incidencia en la resistencia a las royas). Para estas condiciones ambientales se sacrificó muchas veces el potencial genético de producción para favorecer la adaptación. Así, a partir de los años 90 (segundo para tercer peldaño), empezó a ser introducido el concepto de la mejora analítica, donde los aspectos que condicionan el potencial y su expresión necesitan una mayor atención, empezando con la introducción de nuevos criterios de selección (Maçãs *et al.*, 2011). Se consiguió así seleccionar genotipos con gran potencial productivo y al mismo tiempo portadores de alelos de resistencia/tolerancia al estrés, capaces de sacar partido de situaciones como el regadío o a años con distribución favorable de las precipitaciones. Este germoplasma es también portador de alelos de resistencia a las altas temperaturas durante el llenado del grano, hecho que se tradujo en un periodo más rápido de esa fase del desarrollo de estas plantas.

1.12 ENCUADRAMIENTO ACTUAL DE LA MEJORA GENÉTICA DEL INIAV-ELVAS

El sector de los cereales en Portugal se enfrenta en la actualidad a enormes desafíos y amenazas que pueden conducir, en un caso extremo, al abandono de las producciones lo que acarrearía graves consecuencias sociales, económicas y ambientales difíciles de evaluar (Maçãs *et al.*, 2011). Los cereales, encuadrados en sistemas de agricultura equilibrados, permiten la manutención de otros sectores de actividad como por ejemplo la producción animal en régimen extensivo, ecosistemas específicos para diversos tipos de fauna y concretamente, desde el punto de vista social y económico, la sustentabilidad de las poblaciones locales y rurales, evitando así la desertificación de muchas zonas del país.

Así es de vital importancia el estudio y la comprensión de los diferentes fenómenos que concurren en la interacción genotipo x ambiente para promover la sustentabilidad de los sistemas cerealistas en Portugal. En la secuencia de esta línea de trabajo, el INIAV-Elvas ha invertido mucho trabajo en la caracterización de los diferentes sistemas donde los cereales desempeñan un papel fundamental.

1. Sistemas de cultivo con elevada capacidad de producción de cereales donde es posible emplear el riego de forma suplementaria

Para estas condiciones se potencia la obtención de germoplasma con elevado potencial productivo y elevada calidad tecnológica, que sean capaces de responder al aumento de los factores de producción. La introducción de tolerancia y/o resistencia a las principales enfermedades *Septoria tritici* y las *Puccinias recondita* y *striiformis* en el caso de los trigos y a

los choques térmicos durante el llenado del grano son algunos de los objetivos de esta línea de trabajo.

2. Sistemas de cultivo en secano con suelos de buena capacidad productiva

En la mayoría de los casos en este tipo de sistema no hay sistemas de riego que sirvan para rellenar las irregularidades en la distribución de las precipitaciones. Para este tipo de restricciones se potencia el desarrollo de genotipos con elevada regularidad de producción pero con buena calidad tecnológica. En este tipo de sistemas, debido a las diferentes limitaciones que el clima le impone, la eficiencia del uso de los factores productivos, sobre todo del agua y del nitrógeno, son preocupaciones fundamentales cuando se pretenden obtener variedades para situaciones de secano. En ellas una correcta valorización de la interacción genotipo x ambiente es determinante para el éxito final. Los criterios de selección principales son el índice de cosecha, el aumento del número de granos por espiga, la resistencia a las enfermedades y plagas y una rápida implantación en el terreno en las fases iniciales del desarrollo de forma que la regularidad de producción y la plasticidad de adaptación sean las respuestas de los genotipos a las limitaciones provocadas por el ambiente mediterráneo.

1.13 OBTENCIÓN DE SEMILLA DE UNA NUEVA VARIEDAD

Para lograr el registro de una nueva variedad en el Catálogo Nacional de Variedades (CNV) y para la obtención de los derechos de creador, las variedades tienen que obedecer a los criterios **DHE**, es decir, tienen que ser **D**istintas, **H**omogéneas y **E**stables. Un creador puede optar por pedir un derecho de creador antes de registrar su variedad, pero, apenas puede comercializar su variedad protegida hasta que esta esté inscrita en el CNV.

Las variedades agrícolas registradas en los catálogos nacionales son automáticamente registradas en el Catálogo Común de Variedades (CCV) Europeo, pudiendo ser comercializadas en cualquiera país de la Unión Europea. De la misma manera, las empresas de semillas pueden pedir derechos de creador nacionales (a la autoridad nacional responsable) y/o europeos (junto del ICVV – Instituto Comunitario de las Variedades Vegetales).

El proceso de producción de semillas para la obtención de una variedad requiere de una organización y de una capacidad técnica muy grande, ya que durante este proceso se tienen que eliminar en cada generación las plantas fuera de tipo que puedan aparecer, ya sea por variación genética (mutación o hibridación natural) o mezclas de tipo accidental (impurezas, introducción de individuos de otra variedad sembradora mal regulada o mala limpieza de la sembradora y/o cosechadora).

En los cereales autógamos el proceso de producción de semilla se extiende normalmente a cinco generaciones hasta llegar a la semilla certificada de primera generación

(R1) y opcionalmente a una generación más, obteniéndose entonces la generación (R2). El proceso se inicia por el material parental obtenido al final del periodo de selección y de los ensayos de rendimiento (semilla G₀, generación 0) (Figura 1.31), que debe estar constituido por plantas de absoluta seguridad respecto a su identidad varietal. Los granos de estas plantas van a producir la primera generación de semillas (G₁) del proceso, sembrándose todos los granos de la planta G₀ en un solo surco. Las generaciones siguientes a la G₁ constituirán las *semillas prebase* hasta llegar a la G₃ o G₄ que suele considerarse la *semilla base*. Para su producción se requieren ya superficies importantes de terreno para su multiplicación. Para ello, el obtentor puede establecer convenios de colaboración con empresas multiplicadoras que compraran los derechos de utilización de la variedad.

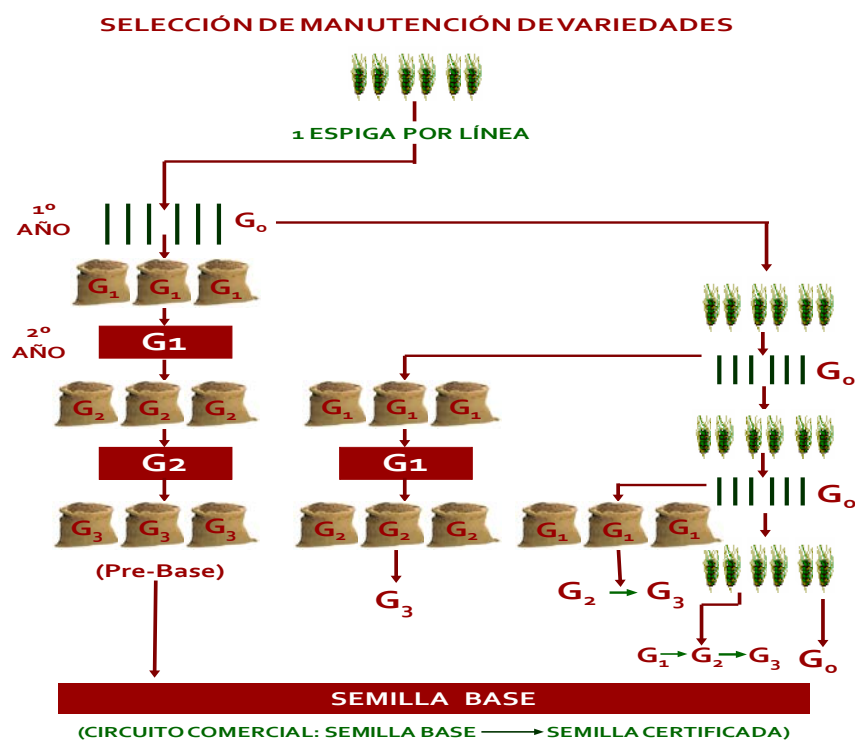


Figura 1.31. Esquema relativo al circuito de producción de semilla Pre-Base.

Las condiciones que deben cumplir los procesos de producción de semilla certificada en campo y las características cualitativas de las semillas cosechadas se establecen para el caso de España en el Reglamento Técnico de Control y Certificación de Semillas de Cereales Autogamos, (Boletín Oficial del Estado Núm. 317 Jueves 30 de diciembre de 2010, Sec. I. Pág. 108745) y en Portugal por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA)(Decreto Ley nº122/2012) (Diario da República, 1.ª serie — N.º 117 — 19 de junio de 2012).

En la Tabla 1.8 se presentan los requerimientos de calidad que deben cumplir las semillas certificadas (Prebase, Base, R1 y R2) en lo que a pureza varietal y específica, capacidad germinativa, humedad y presencia de semillas de otras especies.

Tabla 1.8. Requisitos de calidad de las categorías de semillas en cereales autogamos.

Especie y categoría de semilla	Germinación (%)	Pureza específica (% mínima)	Pureza varietal (% mínima)	Semillas de otras especies (nº máximo)	Humedad (% máxima)
Trigo, cebada y avena					
Prebase y Base	85	99	99,9	4	14
R1 y R2	85	98	99,7 y 99,5	10	14

Fuente: MAPA, 2005

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Esta Tesis Doctoral se enmarca en los trabajos de Mejora Genética de trigo semolero realizados en el Instituto Nacional de Investigación Agraria y Veterinaria de Portugal, INIAV, con sede en Elvas (antigua Estación de Mejora de Plantas). El objetivo general del Programa de Mejora Genética de trigo es obtener nuevas variedades de elevado potencial productivo, regularidad en su rendimiento, tanto para sistemas de secano como de regadío, así como de una elevada calidad tecnológica.

De acuerdo con este amplio objetivo, en este trabajo de investigación se pretende candidatar y inscribir en el Catálogo Portugués de Variedades, de alguna/s de las 27 líneas avanzadas de trigo duro previamente identificadas del Programa de Mejora del INIAV-Elvas.

Para la consecución ordenada de este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos parciales:

- 1) Evaluación de la variabilidad genética disponible mediante su comportamiento sobre los siguientes parámetros:
 - a. Parámetros fenológicos (días al espigado, madurez fisiológica y duración del llenado del grano) y del rendimiento (rendimiento en grano, biomasa a la maduración, índice de cosecha, granos m^{-2} , peso del grano).
 - b. Parámetros de calidad tecnológica (vitrosidad, peso del hectolitro, proteína, índice de gluten, SDS, índice de amarillos, L*, a* y b*, cenizas y rendimiento en sémola).
 - c. Parámetros climáticos típicos del clima Mediterráneo que más influyen el desarrollo de los cereales y su interacción con el germoplasma evaluado.
- 2) Selección de las líneas que mejor comportamiento han demostrado para los parámetros definidos.

MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

Los experimentos de campo se realizaron en dos localizaciones distintas. El primer año 2011/2012, el ensayo se instaló en los terrenos experimentales del INIAV-UBRG de Elvas, antigua Estación de Mejora de Plantas (EMP), a 38° 53' N, 7° 08' O y a una altitud media de 220 m sobre el nivel del mar. El segundo año, 2012/2013, el ensayo se instaló en la finca Herdade da Comenda también en Elvas (Portugal), a 38° 53' N, 7° 02' O y a una altitud media de 175 m sobre el nivel del mar. La dos localizaciones distan 11 km entre si (Figura 3.1).

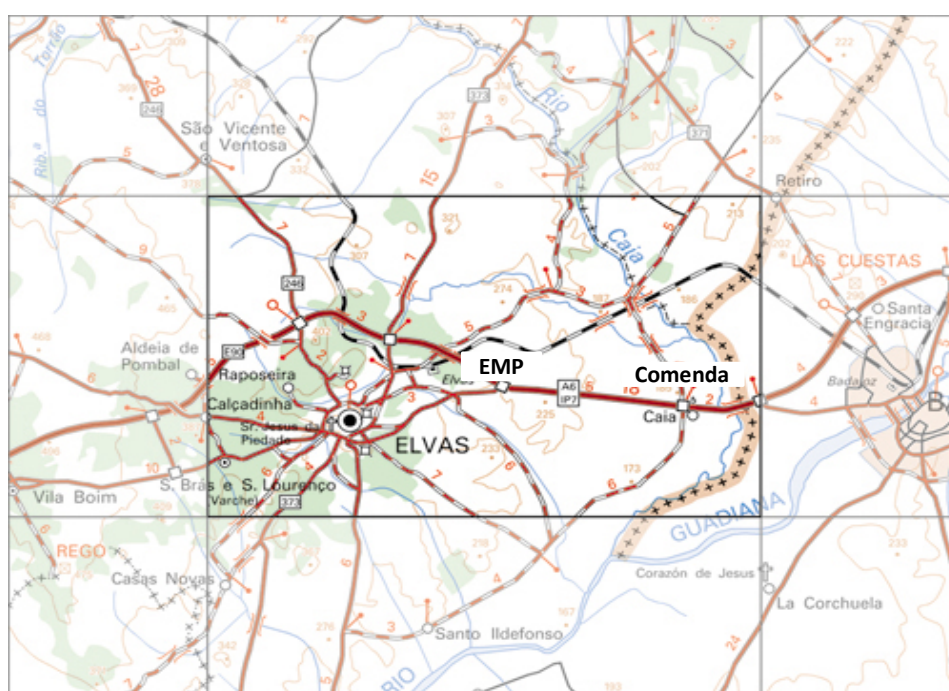


Figura 3.1. Cartografía en la cual se localizan los dos locales donde se realizó el estudio durante los años 2011/12 y 2012/13.

3.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

El suelo de las dos localizaciones utilizadas para la instalación de los ensayos presenta diferencias en cuanto a su origen pedológico. El resultado de los análisis efectuados en ambos suelos se presenta en la Tabla 3.1. El suelo de la EMP pertenece al grupo de los suelos denominados “Suelos Pardos Mediterráneos de Quartzodioritos (Pmg)”, que según la clasificación de la FAO (2006) se encuadran en los Luviosoles. Este tipo de suelo presenta en su capa superficial (0-45 cm) color castaño, con poco porcentaje de piedras incorporadas. Presentan una estructura mal definida, medianamente compacta y medianamente porosa de fácil penetración para el sistema radicular. En los perfiles más profundos (45-85 cm), presentan

un color idéntico al anterior, con puntuaciones y una estructura más compacta y menos porosa que en el perfil más superficial. Su drenaje tanto a nivel externo como interno es regular. Son suelos con un pH superior a 7,0 y con un elevado porcentaje de carbonatos libres que aumentan con la profundidad.

El suelo de la Herdade da Comenda pertenece al grupo de los “Aluviosoles Modernos de textura ligera (Al)” que para la clasificación FAO (2006) son suelos del grupo de los Fluvisoles. Son suelos incipientes en los que los procesos de formación no actuaron el tiempo suficiente para provocar diferenciaciones, a no ser, en una cierta acumulación de materia orgánica en los perfiles superficiales lo que lleva a una tasa de mineralización muy rápida. Son suelos que presentan medianas o elevadas proporciones C/N y altos o muy altos grados de saturación. Este tipo de suelo presenta a menudo considerable variación morfológica con la profundidad, especialmente en lo que respecta a su textura, no presentando verdaderos horizontes genéticos. Los Aluviosoles tienen como regla general una capa freática más o menos profunda.

Tabla 3.1. Resultados de los análisis físico-químicos del suelo de la EMP y de la Herdade da Comenda.

Análisis físico-químicas (0 – 30 cm)	EMP	Herdade da Comenda
Textura	Franco-Arcillo-Arenosa	Franco-Arenosa
Clasificación (FAO, 2006)	Luvisols	Fluvisols
pH en agua suspensión 1:2,5	7,4	7,1
Materia orgánica (%)	0,86	1,4
Fósforo asimilable (mg kg ⁻¹)	133,0	203,5
Potasio asimilable (mg kg ⁻¹)	104,0	68,0
CIC (cmol kg ⁻¹)	17,8	16,4
Mg intercambiable (cmol kg ⁻¹)	5,67	1,2
Sodio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,26	0,2
Potasio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,32	0,3
Calcio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	9,62	13,0

3.1.1.1 CARACTERIZACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO Y DETERMINACIÓN DE LA RESERVA ÚTIL DE AGUA

Con el objetivo de conocer el potencial de los suelos utilizados según su capacidad de almacenamiento de agua así como la capacidad de penetración del sistema radicular, se empleó una metodología experimental adoptada por el Institut du Vegetal – ARVALIS, Francia (2012), que consistió en la apertura de una calicata, con ayuda de una retroexcavadora, hasta una profundidad que llegara a la roca madre. La apertura de esta calicata se realizó cuando el cultivo se encontraba ya en la fase de grano lechoso (Estadío de crecimiento EC 73 según la escala de Zadocks *et al.*, 1974). Con la ayuda de una cuadrícula metálica se efectuó el diagrama de la profundidad explorada por el sistema radicular (Figura 3.2), así como el

porcentaje de raíces existente a lo largo del perfil del suelo Se empleó la siguiente fórmula para estimar la Reserva Útil Máxima de Agua en el suelo:

$RU \text{ Max (mm)} = \text{Profundidad de enraizamiento} \times \text{capacidad almacenamiento agua (escala de Atterberg)} \times \text{tasa de tierra fina (100 - \% de piedras)} / 100$



Figura 3.2. Malla metálica empleada para la determinación de la profundidad máxima del sistema radicular.

3.1.1.2 MONITORIZACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO A LO LARGO DEL CICLO DE DESARROLLO

Durante los dos años se monitorizó la disponibilidad hídrica de las plantas utilizando para ello una sonda capacitativa (Figura 3.3), equipamiento y datos proporcionados por el Centro Operativo y Tecnológico de Regadío (COTR) en Beja - Portugal. Los sensores de última generación son los denominados de capacitancia que, basándose en la reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR), miden el coeficiente dieléctrico del suelo con el que determinan el contenido de agua en el mismo. Mediante un sistema de transmisión de los datos bien vía cable, por radiofrecuencia, telefonía GSM, GPRS u otro sistema se telemonitoriza la humedad del suelo, permitiendo de esta manera conocerla y analizarla de forma continua y en tiempo real. Permite hacer un seguimiento y corrección del status hídrico del suelo, resultante de la lluvia y de los riegos, poniendo de relieve posibles déficits o excesos de riego y, en consecuencia, ajustar la aplicación del agua a lo que la planta demanda en cada momento.



Figura 3.3. Sistema de monitorización del agua en el suelo y panel online de visualización de la información.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental de los ensayos fue en bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y una parcela en los laterales para evitar el efecto borde (Figura 3.4). El tamaño de cada parcela fue de 7,2 m² (1,2 m x 6 m). La separación entre las diferentes parcelas en cada repetición, se definió con una calle o pasillo hecho con la ayuda de un tractor con una anchura de 1,5 metros. La primera repetición es representada por la numeración del cien (101-130), la segunda por el doscientos (201-230), la tercera por el trescientos (301-330) y por último la cuarta repetición por el cuatrocientos (401-430).



Figura 3.4. Diseño experimental del ensayo durante los años 2011/2012 y 2012/2013.

3.3 MATERIAL VEGETAL UTILIZADO Y METODOLOGIA DE SU OBTENCIÓN

En el año 2003, se realizaron 38 cruzamientos (hibridaciones artificiales) triples utilizando, como parentales masculinos, un conjunto de líneas avanzadas y algunas variedades bastante difundidas en la agricultura y como progenitores femeninos una población F1. El objetivo de esta línea de trabajo era crear variabilidad genética en los trigos duros del programa de mejora de la EMP-Elvas, a través de la introducción de genes para la resistencia al estrés ambiental.

En la Figura 3.5 se representa la secuencia cronológica del trabajo realizado desde el año 2003 hasta el año 2013 (esta secuencia corresponde al periodo que transcurrió desde la realización de las hibridaciones artificiales hasta la generación F9 – ensayos de rendimiento). Se empezó el proceso de selección en 2005, en la F1 y se utilizó ese año el método genealógico o *pedigree*. La ventaja en particular de hacer selección individual en la F1, es

explotar el vigor de esta descendencia, teniendo en cuenta factores como la altura de la planta y el tamaño de la espiga para la selección de plantas. De los 38 cruces realizados se seleccionaron en la F1 un total de 307 plantas. En la campaña siguiente (2005/06) se sembraron las semillas de las 307 plantas en parcelas individualizadas, dando lugar a la segunda generación F2. En esta generación se empleó el método masal, como forma de seleccionar, debido a que esta generación admite variabilidad porque se trata de cruces triples. Para eso se cogieron, a lo largo de cada una de las 171 parcelas seleccionadas, 30 a 35 espigas representativas de la variabilidad existente.

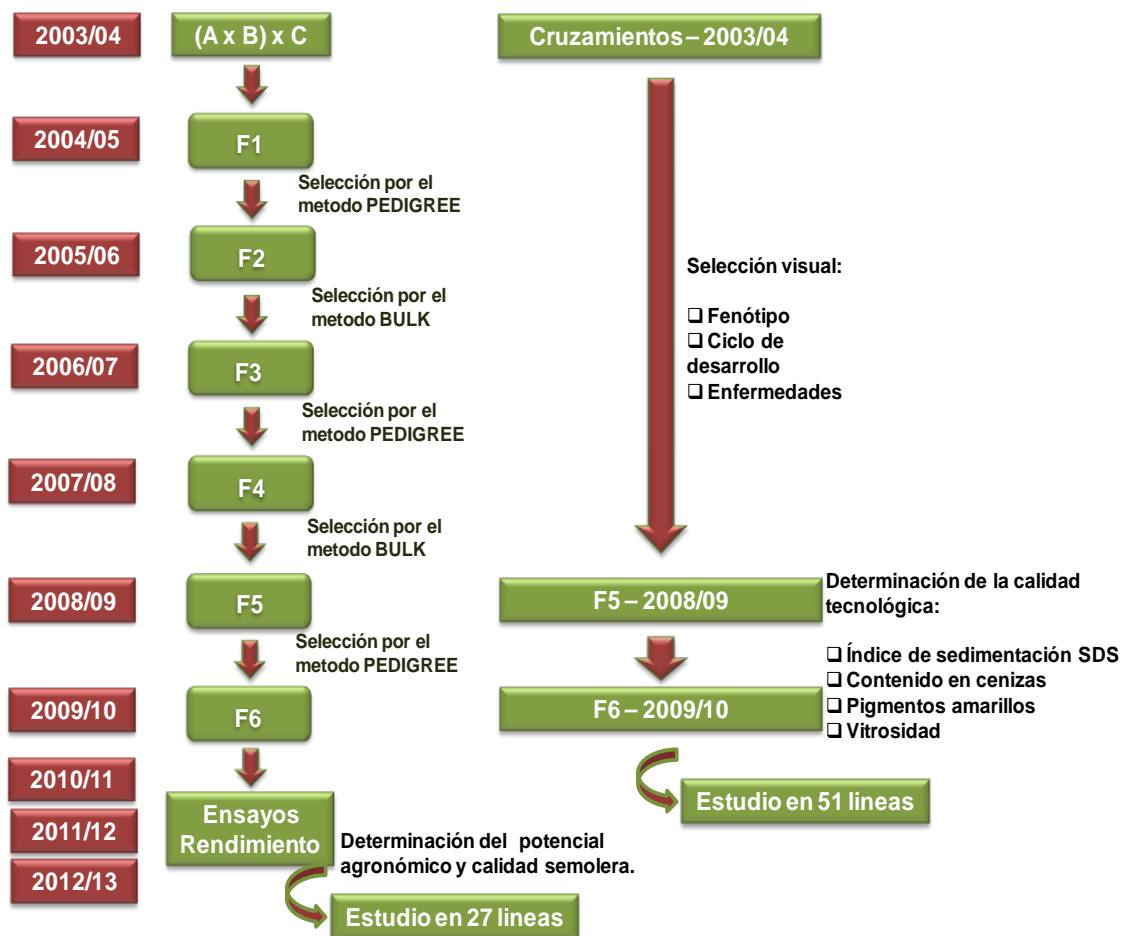


Figura 3.5. Esquema relativo al proceso de mejora genético empleado a lo largo de los años 2003-2013.

En la generación F3 (2006/07) se empleó de nuevo la metodología de selección en *pedigree*. El germoplasma en observación presentaba una elevada segregación para la característica fenotípica altura de la planta. Esto se verificó principalmente en las parcelas de los cruces en que se había introducido germoplasma italiano (principalmente con el parental masculino *Mongibello*). Se efectuó una selección dirigida, en parcelas previamente seleccionadas para plantas más bajas, teniendo en cuenta también su ahijamiento y tamaño de la espiga (fertilidad), y valorando siempre la componente fitopatológica. De las 171 parcelas sembradas de F3 se seleccionaron 551 plantas que dieron origen a la generación F4.

En la campaña agrícola (2007/2008), F4, todas las parcelas presentaban una gran densidad como resultado de un elevado ahijamiento, decidiéndose adoptar, en dicho año la selección masal. Se efectuó una selección previa, en la que se tuvo en cuenta para la eliminación de las parcelas, su susceptibilidad a las enfermedades y su ciclo de desarrollo. Se seleccionaron 301 parcelas de las 551 parcelas que se habían sembrado.

En 2008/2009, en la generación F5, la mayoría del germoplasma en observación presentaba ya alguna estabilidad indicando un nivel de homocigosis elevado. En ese año agrícola se aplicó nuevamente la selección genealógica o por *pedigree*. De las 301 parcelas en observación se seleccionaran 404 plantas. Paralelamente a la selección en el campo, se decidió coger 15 espigas de cada parcela para evaluar ya algunos parámetros de calidad tecnológica (SDS, cenizas, color y vitrosidad). De las 404 plantas seleccionadas en esta generación, sólo 51 siguieron para la F6. En esta población F6, se procedió a una selección teniendo en cuenta la homocigosis, resistencia/tolerancia o susceptibilidad a la septoriosis de la hoja, ciclo de desarrollo, altura del tallo y tamaño y fertilidad de la espiga, quedando 27 parcelas que pasaron a F7 (Figura 3.5)

Estas 27 parcelas corresponden al grupo de germoplasma de sirvió de base para la realización de este trabajo. El germoplasma ha sido evaluado durante los años 2010/11, 2011/12 y 2012/13, pero el año 2010/11 ha sido eliminado debido a problemas ocurridos en la instalación del ensayo. Se utilizaron como testigos tres variedades comerciales (Celta, Hélio y Marialva) obtenidas por el INIAV-Elvas e inscritas en el Catálogo Nacional de Variedades en los años 1986, 1988 y 1999, respectivamente (Tabla 3.2). Estas variedades han sido ampliamente utilizadas por los agricultores portugueses.

Tabla 3.2. Genealogía del germoplasma utilizado en el estudio y su código correspondiente

Genealogía	Código
Preco/Platini//Arcobaleno	INIAV1
Italo/Preco//Colosseo	INIAV2
Italo/Preco//Colosseo	INIAV3
Italo/Preco//Colosseo	INIAV4
Celta	Testigo
Italo/Preco//Arcobaleno	INIAV6
Italo/Preco//Arcobaleno	INIAV7
Italo/Preco//Arcobaleno	INIAV8
Italo/Preco//Iride	INIAV9
Italo/Preco//Iride	INIAV10
Aldura/3/Srn3/Cops//Plata13/4/Iride	INIAV11
Aldura/3/Srn3/Cops//Plata13/4/D86135//Aco89...	INIAV12
Aldura/3/Srn3/Cops//Plata13/4/D86135//Aco89...	INIAV13
Tarro1/2*Yuani//Preco/3/Colosseo	INIAV14
Hélvio	Testigo
Tarro1/2*Yuani//Preco/3/Arcobaleno	INIAV16
Tarro1/2*Yuani//Preco/3/Iride	INIAV17
Tarro1/2*Yuani//Preco/3/Iride	INIAV18
Mongibello//Rascon39/Tilo1/3/Iride	INIAV19
Mongibello//Rascon39/Tilo1/3/Claudio	INIAV20
Mongibello//Rascon39/Tilo1/3/Yallaro-1	INIAV21
Mongibello//Rascon39/Tilo1/3/Yallaro-1	INIAV22
Aracena//Italo/3/Chen"S"/Altar 84//Faisca/4/.....	INIAV23
Rascon37/2*Tarro//Italo/3/Celta	INIAV24
Marialva	Testigo
Plata-1/SNM//Plata19/3/Tarro1/2*Yuani/4/Arcobaleno	INIAV26
Plata-1/SNM//Plata19/3/Tarro1/2*Yuani/4/Iride	INIAV27
Plata-1/SNM//Plata19/3/Tarro1/2*Yuani/4/Iride	INIAV28
Plata-1/SNM//Plata19/3/Tarro1/2*Yuani/4/Iride	INIAV29
Plata-1/SNM//Plata19/3/Tarro1/2*Yuani/4/Iride	INIAV30

3.4 TÉCNICAS CULTURALES

Las labores preparatorias del terreno fueron las típicas de la zona para la siembra de cereales. La densidad de siembra para cada línea fue de 350 granos viables por metro cuadrado, calculando previamente el peso de los 1000 granos y atribuyéndole un porcentaje germinativo medio del 95%. La siembra se efectuó con una sembradora de ensayos de fabricación Austriaca modelo Plotman de seis surcos de la marca Wintestieger. Las fechas de siembra, cosecha y demás operaciones realizadas a lo largo del ciclo de desarrollo vegetativo, en los dos años de ensayo, se presentan en la Tabla 3.3. Los ensayos se llevaron a cabo bajo condiciones de secano, con riegos de apoyo en (2011/12) cuando el déficit hídrico lo hizo necesario para garantizar un adecuado desarrollo de los genotipos utilizados (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Características generales de los ensayos y técnicas culturales empleadas en los dos años de estudio.

Datos Generales	2011/2012	2012/2013
Fecha de siembra	07-12-2011	28-11-2012
Densidad de siembra granos/m²	350	350
Fertilización (unidades ha ⁻¹)		
N	153	122
P ₂ O ₅	50	50
K ₂ O	16	16
Textura del suelo	Franco-Arcillo-Arenoso	Franco-Arenoso
Herbicida Pre-emergencia	Trigonil* (3l/ha)	Trigonil* (3l/ha)
Fecha de aplicación	9-12-2011	29-11-2012
Pos-emergencia	Atlantis* (350g/ha)	Broadway* (275g/ha)
Fecha de aplicación	24-01-2012	26-02-2013
Pluviometría durante el ciclo (mm)	82,8	348,9
T^a máxima durante el ciclo (°C)	24,3	24,3
T^a mínima durante el ciclo (°C)	9,6	9,9
T^a media durante el ciclo (°C)	16,9	16,6
Riego de apoyo (mm)	10+20+10	
Fechas del riego de apoyo	18 Abril, 10 y 16 Mayo 2012	
Fecha de cosecha	05-07-2012	12-07-2013

*Nombre comercial del producto

3.5 DETERMINACIONES Y ANÁLISIS

En cada parcela elemental se realizaron durante los años 2011/12 y 2012/13 las siguientes determinaciones:

PARÁMETROS FENOLÓGICOS Y MORFO FISIOLÓGICOS

- Número de días al espigado (EC 51)
- Madurez fisiológica (EC 90)
- Periodo del llenado del grano
- Rendimiento en grano
- Peso hectolitro
- Peso de 1000 granos
- Número de granos/m²
- Biomasa total en la maduración
- Índice de cosecha
- Altura de la planta

PARÁMETROS DE CALIDAD TECNOLÓGICA DEL GRANO:

- Porcentaje de humedad de las muestras
- Proteína bruta
- Vitrosidad del grano

- SDS
- Cenizas
- Rendimiento en sémola
- Índice de Gluten
- Determinación del color con el colorímetro Minolta CR-300

3.5.1 PARÁMETROS FENOLOGICOS, MORFOLÓGICOS Y AGRONÓMICOS

- **Número de días al espigado (EC 51)**

Corresponde al número de días contados desde el 1 de marzo hasta la aparición de la espiga, de acuerdo con (<http://cropontology.org>).

- **Madurez fisiológica (EC 90)**

Corresponde al número de días contados desde el 1 de marzo hasta la fecha en que el grano se encuentra completamente duro de acuerdo con (<http://cropontology.org>).

- **Periodo del llenado del grano**

Equivale al número de días que va desde cinco días después de la fecha de antesis hasta la fecha de madurez fisiológica.

- **Rendimiento del grano**

Los valores relativos a la producción del grano resultan del peso del grano que se obtuvo después de la cosecha de toda la parcela, al cual se le añadió el peso resultante de la muestra para la determinación de la biomasa (0,25 m²), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Producción} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{(\text{Peso del grano en la parcela (kg)})}{7,2 \text{ m}^2} \times 10\,000 \text{ m}^2$$

- **Peso hectolitro**

Este parámetro equivale al peso hectolitro del grano. Se determinó con la ayuda de un citómetro electrónico del tipo Kern. El valor se expresó en kg HI⁻¹. Como medida discriminadora de calidad en virtud del peso específico, pueden definirse los siguientes umbrales:

1. PH ≥ 80kg/HI: trigo duro extra.
2. PH ≥ 78kg/HI: media calidad.
3. PH ≥ 76kg/HI: baja calidad.
4. PH < 76kg/HI: trigo duro sin especificación. (Deficiones propuestas para clasificar técnica y comercialmente el trigo duro en España, establecidas en el reglamento CE 824/2000 y publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE) nº 301 de 2010). Para la

situación Portuguesa los valores relativos a este parámetro están indicados en la Tabla 1.6.

- **Peso de los 1000 granos**

Para la determinación de este parámetro se empleó un contador fotoeléctrico de granos de la firma PFEUFFER según la norma ISO 520.2010. A continuación se pesó una muestra de 1000 granos en una balanza de precisión METTLER PM400. Los valores se indican en gramos.

- **Número de granos.m⁻²**

Este parámetro se calculó teniendo en consideración la producción de grano y el peso de 1000 granos, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Granos/m}^2 = \frac{\text{Prod (kg/ha)}}{\text{PMG (g)}} \times 100$$

- **Biomasa total en la maduración**

Evaluado con la intención de determinar el índice de cosecha para cada genotipo en estudio. Se cortó aleatoriamente en cada parcela una muestra con 0,25 m² la cual fue pesada, presentándose sus valores en kg ha⁻¹.

- **Índice de cosecha (%)**

El índice de cosecha representa la fracción del peso seco total de la planta que se encuentra en forma de grano y constituye una medida de la eficiencia en el reparto de asimilados entre paja y grano. Se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$I.C (\%) = \frac{\text{Producción de grano (kg/ha)}}{\text{Biomasa a maduración (kg/ha)}} \times 100$$

- **Altura de la planta**

Para la determinación de la altura, se consideró la distancia entre el suelo y la extremidad de la espiga del tallo principal sin contar las aristas.

3.5.2 PARÁMETROS DE CALIDAD TECNOLÓGICA DEL GRANO

Para evaluar la calidad tecnológica de las líneas estudiadas se realizaron las siguientes determinaciones:

- **Preparación de las muestras**

Las muestras fueron molidas en un molino Cyclotec (Tecator, Suecia) con una criba de 0,5 mm, exceptuando el contenido de gluten y el color que se determinó a partir de las sémolas extraídas de acuerdo con el procedimiento descrito en el rendimiento en sémolas.

- **Porcentaje de humedad de las muestras**

La humedad del grano y de las sémolas se determinó de acuerdo con la Norma ISO 712.2009.

- **Proteína bruta**

El contenido en proteína bruta del grano se determinó según el método Kjeldhal, de acuerdo con la Norma ISO 20483.2006. El contenido de nitrógeno por este método (g de N por g de muestra) se multiplicó por el factor 5,7 para determinar el porcentaje de proteína, que después de corregirse mediante el porcentaje de humedad de la muestra, se expresó finalmente en materia seca. Como medida discriminatoria de calidad en virtud del contenido en proteína, pueden definirse los siguientes umbrales:

1. >13% de proteína: trigo duro extra.
2. >12% de proteína: media calidad.
3. >11% de proteína: baja calidad.
4. <11% de proteína: trigo duro sin especificación. (Definiciones propuestas para clasificar técnica y comercialmente el trigo duro en España, establecidas en el reglamento CE 824/2000 y publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE) nº 301 de 2010). Para la situación Portuguesa los valores relativos a este parámetro están indicados en la Tabla 1.6.

- **Vitrosidad del grano**

Este parámetro se determinó realizando un corte transversal al grano con la ayuda de un Farinotomo de Pohl, de acuerdo con la Norma ISO 15585.2008. Se consideró que el grano no es vítreo cuando presentaba puntos amiláceos en el endospermo o un corte no translucido. El porcentaje de vitrosidad fue calculado sobre un total de 100 granos analizados por muestra. Los valores definidos para este parámetro son:

1. >80% de vitrosidad: trigo duro extra.
2. >75% de vitrosidad: media calidad.
3. >60% de vitrosidad: baja calidad.
4. <60% de vitrosidad: trigo duro sin especificaciones o forrajero. (Definiciones propuestas para clasificar técnica y comercialmente el trigo duro en España, establecidas en el reglamento CE 824/2000 y publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE) nº 301 de 2010). Para la situación Portuguesa los valores relativos a este parámetro están indicados en la Tabla 1.6.

- **Índice de Sedimentación (SDS)**

Este índice es una buena estimación de la fuerza del gluten y se basa en la medida del volumen de sedimentación que una muestra de harina produce al reaccionar a la agitación con una solución de dodecil sulfato de sodio (SDS) y ácido láctico. Esta metodología es muy

utilizada en programas de mejora y en la evaluación de la calidad en las primeras generaciones porque se utiliza sólo un gramo de harina integral para su determinación. El método utilizado fue el de Dick y Quick (1983). Los valores umbrales según López-Bellido (2009) son:

1. SDS > 30: buena calidad.
2. SDS < 30: baja o mala calidad.

- **Cenizas**

La determinación del contenido en cenizas fue realizada mediante la incineración de una muestra de harina en una atmosfera oxidante a una temperatura de $900 \pm 10^\circ\text{C}$, hasta la combustión completa de las materias orgánicas y posterior determinación del residuo obtenido. Todo esto según la Norma Portuguesa 519 (1993). Los valores se expresan en porcentaje de residuo obtenido. Los valores definidos para este parámetro son:

1. < 1.75% de cenizas: trigo duro extra.
2. < 1.85% de cenizas: media calidad.
3. < 2.00% de cenizas: trigo duro de baja calidad.
4. > 2.00% de cenizas: trigo duro sin especificaciones. (Deficiones propuestas para clasificar técnica y comercialmente el trigo duro en España, establecidas en el reglamento CE 824/2000 y publicados en el Boletín Oficial del Estado (BOE) nº 301 de 2010). Para la situación Portuguesa los valores relativos a este parámetro están indicados en la Tabla 1.6.

- **Rendimiento en sémola**

Las muestras de trigo semolero fueron acondicionadas a 16,5% de humedad con la ayuda de un mezclador Chopin MR2 (Group Tripette and Renaud, Francia) y se dejaron en reposo durante 3 horas. Posteriormente se acondicionaron a 17,5% de humedad, al que le siguió un periodo de reposo de 24 horas. A continuación, las muestra de trigo fueron molidas en un molino Chopin CD2 (Group Tripette and Renaud, Francia), seguido de la criba en un Sassor (Group Tripette and Renaud, Francia). Esta metodología permite la obtención, a escala laboratorial, de sémolas con granulometría comprendidas entre 150 y 500 μm . El rendimiento en sémolas se obtuvo a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento en sémola} = \frac{Ms \times (100 - Hs)}{Mt \times (100 - Ht)} \times 100$$

Donde:

Ms – masa en gramos de sémolas obtenidas

Mt – masa en gramos de trigo a moler

Hs – humedad de las sémolas

Ht – humedad del trigo

- **Porcentaje de Gluten Húmedo, Seco e Índice de Gluten**

Para estimar la cantidad y calidad del gluten se utilizó el método de extracción manual según la Norma ISO 21415-1:2007 complementado con ligeras modificaciones del método mecánico según la Norma ISO 21415-2:2006. El gluten húmedo fue extraído manualmente a partir de muestras de sémolas por lavados sucesivos con una solución de cloruro de sodio (2% p/v) y posteriormente centrifugado en la centrifugadora Gluten Index 2015 (Perten Instruments). El gluten húmedo en la sémola corresponde a la suma de dos fracciones: la que pasa a través del tamiz y la que se queda. El índice de gluten, indicador de la fuerza del gluten, corresponde al porcentaje de gluten húmedo que permanece en la criba inicial después de la centrifugación. Si el gluten es de poca calidad, todo el gluten pasa a través de la criba y el índice de gluten tiene un valor próximo a cero; en el caso contrario, en el que el gluten no pasa la criba, tendría un valor muy próximo a 100.

- **Determinación del color con el colorímetro Minolta CR-300**

La evaluación del color en las sémolas del trigo se estimó con la ayuda del colorímetro Minolta CR-300. Las lecturas fueron realizadas para el iluminante D₆₅. El colorímetro fue inicialmente calibrado para las coordenadas Yxy, usando el blanco como patrón de calibración (Y=93,10, x=0,3161, y=0,3326). A continuación se escogió el espacio cromático para obtener los resultados de las muestras que se expresaran en las coordenadas cromáticas L*a*b*. La muestra a analizar se colocó en una cubeta de vidrio CR-A504 que se puso en contacto con el sensor del colorímetro equipado con el soporte CR-A503. Los resultados de las lecturas se recogieron en el registrador del aparato DP-301. La coordenada L* representa la luminosidad (contribución del negro o del blanco, variando entre 0 y 100 respectivamente), a* la contribución del verde o rojo (si es negativo o positivo) y b* la contribución del azul o amarillo (cuando es negativo o positivo). La determinación del índice de amarillos (PCI) se obtuvo con el recurso a la siguiente fórmula:

$$PCI = \sqrt{L^2 + b^2}$$

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados fueron sometidos a un análisis de la varianza (ANOVA) mediante el paquete estadístico STATISTIX 8.0 (Analytical Software, Tallahassee, 2003) de acuerdo con el modelo de McIntosh (1983). Para el tratamiento de las medias se utilizó el test de Tukey de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$. Se estudiaron además las correlaciones entre los parámetros a analizar y se calcularon los coeficientes de variación de cada análisis, con el objeto de evaluar el grado de precisión de los resultados experimentales.

Con el objetivo de obtener una visión simultánea de las relaciones entre las variables estudiadas y detectar aquellas combinaciones que expliquen más adecuadamente la

variabilidad existente en los caracteres considerados, se recurrió al método de ordenación designado por análisis de los componentes principales (ACP). Esta técnica permite hacer la sustitución de "n" ejes iniciales (características) por un nuevo sistema de ejes ortogonales, donde el primero de estos, designado por la cebadora componente principal, tiene la dirección en que se produce la mayor dispersión de los puntos. El segundo eje, segundo componente principal, ortogonal al primero, y por lo tanto, no correlacionado con él, está orientado en la dirección de la segunda mayor dispersión de los mismos puntos, y, así sucesivamente para los restantes ejes. Este método de análisis consiste en calcular:

- La matriz de los coeficientes de correlación entre características, a partir de la matriz de datos estandarizados (uniformizados).
- Los autovalores y los autovectores de la matriz de correlaciones (componentes principales).
- La matriz de proyección de los genotipos en las componentes principales, es decir, las coordenadas de los puntos que representan los genotipos en el nuevo sistema de ejes.
- A partir de la matriz de proyección se obtienen las proyecciones de los genotipos en los planos definidos por la 1ª y 2ª, 1ª y 3ª componentes principales.

Para la realización de esta análisis se utilizó el programa NTSYS-pc (numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System), versión 2.01 (Rohlf, 1997).

Tomando como base la matriz de coeficientes de distancias euclideas, se realizó el análisis de grupos, adoptándose el método de aglomeración designado por UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages). Los resultados obtenidos fueron expresados en dendogramas, que son estructuras ramificadas donde los niveles a los que se unen las diferentes ramas están relacionados con los valores de las medidas de semejanza en que se basa el método de agregación utilizado. Se calcularon, así mismo, los coeficientes de correlación cofonética, que se traducen en el grado de distorsión entre la matriz de valores cofonéticos y la matriz de similitud, permitiendo así evaluar si el dendograma es una representación aceptable de los datos originales o no.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

Las limitaciones al crecimiento de los cereales en los ambientes de secano mediterráneo son varias como se describió anteriormente, constituyendo la inadecuada distribución de las lluvias el principal factor limitante (Anderson, 1992; Maçãs, 1996; Nawab *et al.*, 2011). Portugal, situado en el extremo más occidental de la Península Ibérica (Latitudes 37° a 42°N y longitudes 9° a 6°O), se caracteriza por la existencia de una gran variabilidad espacio-temporal de la precipitación. El Alentejo, situándose en torno al paralelo 38°N, con una altitud que sólo en la sierra de San Mamede sobrepasa los 1000m, es una región de marcada influencia mediterránea. La caracterización de las limitaciones físicas y biológicas del ambiente, determinantes para la ocurrencia y frecuencia de factores de estrés asociados al desarrollo y crecimiento del trigo, es esencial para el conocimiento del comportamiento de los genotipos a lo largo del ciclo de desarrollo.

Para realizar los pertinentes climatogramas de los dos años de estudio se tomaron los datos de la estación meteorológica más próxima (INIAV-Elvas). Los restantes datos necesarios han sido fornecidos por el Instituto Portugués del Mar y Atmosfera (IPMA). Los valores medios de las principales variables climáticas constan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Valores medios de las principales variables climáticas de las zonas de estudio: EMP y Herdade da Comenda. Los valores corresponden a la media de los últimos 50 años (1961-2010).

Variable Climática	INIAV-Elvas
Tª media anual (°C)	16,4
Tª mínima media anual (°C)	10,1
Tª máxima media anual (°C)	22,8
Tª máxima media marzo a junio (°C)	23,2
Duración media del periodo de heladas (meses)	2 – 3
Tª ≥ 25 °C media marzo a mayo (meses)	1,4
Precipitación media anual (mm)	510,3
Duración media del periodo seco (meses)	3 - 4
Precipitación de invierno (mm)	214,4 (39,2%)
Precipitación de primavera (mm)	132,7 (24,3%)
Precipitación de otoño (mm)	142,3 (26,0%)

En la Tabla 4.2 se presentan las medias de precipitación por decenios comprendidos entre 1931 y 1991, según un estudio elaborado por Maçãs (1996), en que se pone en evidencia la enorme irregularidad de la precipitación de otoño, invierno, primavera y verano en dicha zona de Portugal con efectos directos en los rendimientos de los cereales.

Tabla 4.2. Media de la cantidad de precipitación (mm) en el Alentejo por decenios en el periodo 1931-1991, en 51 estaciones meteorológicas.

Decenio	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Total
1931/40	168,2	277,1	190,7	24,1	660,1
1941/50	143,5	227,0	199,4	21,4	591,2
1951/60	168,9	233,3	192,3	23,4	617,9
1961/70	201,6	290,0	168,9	36,8	697,3
1971/80	137,5	252,7	141,5	28,4	560,1
1981/90	198,6	234,5	139,3	28,9	601,3

Fuente: Maçãs, 1996

Estudios efectuados por Seif y Pederson (1978) en Australia, asociaron una variación de hasta un 86% en el rendimiento del trigo a la variabilidad de la precipitación de primavera (tres semanas antes y dos semanas después de la antesis). Comprobaron además que otros factores climáticos y edáficos tienen una influencia, aunque menor, en la variabilidad en cuanto al rendimiento, como por ejemplo la ocurrencia de bajas o altas temperaturas a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo.

El crecimiento del trigo puede estar limitado por la subida rápida de la temperatura (>30°C) en la primavera, ya que la respiración aumenta y las tasas de asimilación llegan a valores que no compensan las pérdidas en la respiración (Almeida, 2007). Otra consecuencia de la subida brusca de la temperatura en primavera es la aceleración del proceso fisiológico induciendo a una senescencia precoz. Sin embargo, es sabido que la temperatura ejerce una acción esencial en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Maçãs *et al.*, 2000; Almeida, 2007). Existen diferentes formas de medir esa acción, siendo una de ellas la acumulación de temperaturas a partir de un umbral térmico o temperatura base (propia de cada cultivo), procedimiento que ha recibido diferentes denominaciones: suma de temperaturas efectivas, suma de unidades térmicas, suma de unidades calóricas o suma de grados-día (Lamelas *et al.*, 1993). En este trabajo se determinaron la suma de los grados-día de crecimiento (GDC) para dos intervalos de crecimiento, desde la emergencia al espigado (EC-10 a EC-55) y desde la antesis a la madurez fisiológica (EC-65 a EC-90) en los dos años (Tabla 4.3). Estos sumatorios se obtuvieron utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{GDC} = ((T^{\text{a}}_{\text{max}} + T^{\text{a}}_{\text{min}}) / 2) - T^{\text{a}}_{\text{base}} \text{ (siendo la } T^{\text{a}}_{\text{base}} \text{ 0 }^{\circ}\text{C)}.$$

Se verificó una diferencia de 150 GDC entre los dos años en el sumatorio total, pero la mayor diferencia se observó entre el intervalo antesis - maduración con más 942 GDC en 2012/13. Esta diferencia originó un aumento del ciclo de desarrollo vegetativo de los genotipos.

Tabla 4.3. Sumatorio de los grados-día de crecimiento acumulados en diferentes intervalos y los valores de precipitación verificados en los mismos periodos, durante los dos años del estudio.

Periodo	GDC		Precipitación (mm)	
	2011/2012	2012/2013	2011/2012	2012/2013
EC-10 – EC-55	1109	1202	27.7	325.4
EC-65 – EC-90	1012	1954	55.1	23.5
Total Ciclo	2210	2360	82.8	348.9

EC10 (Emergencia); EC55 (Espigado); EC65 (Antesis) y EC90 (Madurez fisiológica); GDC (Grados días crecimiento).

En la Figura 4.1 se muestra el climatograma con las precipitaciones mensuales y las temperaturas máximas y mínimas en la localización del ensayo durante los dos años en que se llevaron a cabo los experimentos (2011/12 y 2012/13). La precipitación varió considerablemente entre años, siendo la precipitación media de los 30 años en la zona del estudio de 510,3 mm. El año 2011/12 fue considerado un año seco, tanto por la precipitación total (269,7 mm) como también por su irregularidad, con gran escasez en algunos periodos considerados muy importantes para el correcto desarrollo de las plantas. Este hecho obligó a que se hicieran algunos riegos suplementarios para “garantizar” el desarrollo vegetativo y así explotar todo el potencial genético de los genotipos en observación. El año 2012/13 se puede considerar un año lluvioso con 656,7 mm, aunque con valores bajos de pluviometría en la fase final del ciclo.

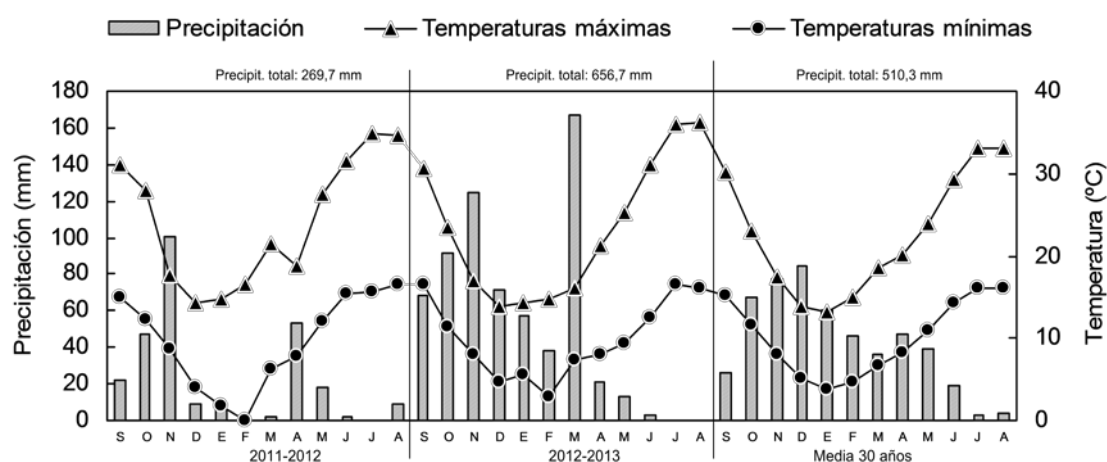


Figura 4.1. Precipitación (anual y mensual) y temperaturas máximas y mínimas medias mensuales durante los años 2011/12 y 2012/13 y de la media de los 30 años. Fuente: Instituto Português del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

El sumatorio de las precipitaciones en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, fue, en el primer año de 121,6 mm (44,0% del total anual) y de 311,2 mm en el segundo año (46,0% del total anual), siendo la media de los 30 años para dicho periodo de 269,0 mm (52,7% del total anual). La precipitación en los meses de marzo, abril y mayo, en el año 2012/13, fue muy superior a la media de los últimos 30 años (29,8% frente a 23,9% de la media de los 30 años). El año 2011/12 presentó también un valor superior en dicho periodo en comparación con la media de los últimos 30 años (26,6% frente a los 23,9% de los 30 años).

En la Figura 4.2 se observa la variación mensual de las precipitaciones en relación a la media de los treinta años para los dos años del estudio. Se evidencia la gran variación de las precipitaciones en relación a la media de los 30 años durante el transcurso del 2011/12, estando los valores de las precipitaciones otoño-invernales por debajo de los valores medios, con excepción del mes de noviembre. Lo mismo se verificó durante el periodo primaveral a

excepción del mes de abril. En el año 2012/13 destacó el valor de la precipitación del mes de marzo con más 131,2 mm de lluvia que la media de los 30 años.

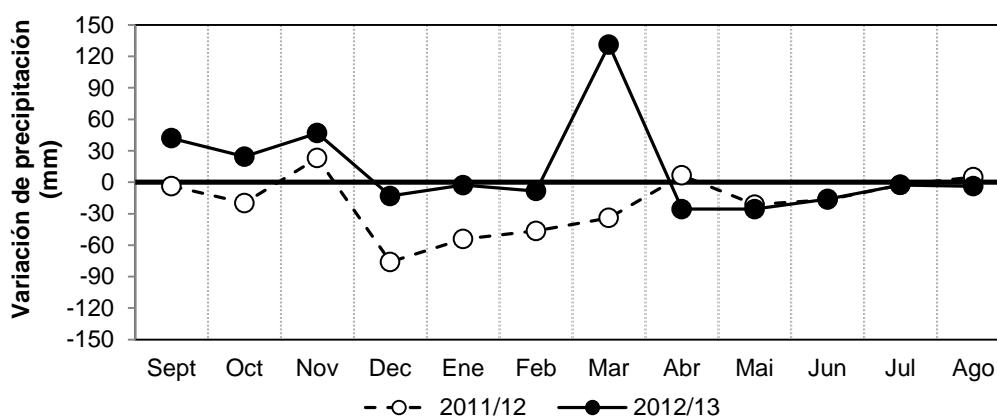


Figura 4.2. Variación mensual de las precipitaciones de los dos años 2011/12 y 2012/13 con respecto a la media de los 30 años. Fuente: Instituto Portugués del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

La temperatura tuvo una evolución más o menos similar a lo largo de los dos años de estudio y similar también a la media de los 30 años (Figura 4.1). Se destaca en el año 2011/12 la temperatura mínima de enero y febrero, 1,7°C y 0,1°C respectivamente, siendo los meses más fríos durante todo el periodo que duró este estudio (la media de los 30 años para estos dos meses fueron 3,7°C y 4,6°C, respectivamente). Si se observan las temperaturas medias de las máximas de los meses de febrero y marzo en el año 2011/12 se verifica una subida brusca de los valores (16,5°C y 21,4°C muy por encima de la media de los últimos 30 años, 15,0 °C y 18,6°C para los referidos meses), lo que unido a la escasa precipitación acumulada, influyó también en el desarrollo vegetativo del germoplasma, obligando a riegos suplementarios como se refirió anteriormente. Las temperaturas máximas durante los meses de abril, mayo y junio (periodo del llenado del grano) mantuvieron un comportamiento bastante similar a lo largo de los dos años de ensayo, siempre por encima de la media de los últimos 30 años, con excepción del mes de abril de 2011/12 en que el valor medio de la temperatura máxima (18,8° C) fue inferior al valor de la media de los 30 años (20,1° C) (Figura 4.1).

4.2 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE LAS DOS LOCALIZACIONES DE LOS ENSAYOS

En la Tabla 4.4 se observa el análisis del suelo realizado en cada localización donde se realizaron los ensayos de campo.

Tabla 4.4. Resultado de los análisis físico-químicos del suelo en la EMP- Elvas y en la Herdade da Comenda a 30 cm de profundidad.

Análisis físico-químicos (0 – 30 cm)	EMP	Herdade da Comenda
Textura	Franco-Arcillo-Arenosa	Franco-Arenosa
Clasificación (FAO, 2006)	Luisols	Fluvisols
pH en agua suspensión 1:2,5	7,4	7,1
Materia orgánica (%)	0,86	1,4
Fósforo asimilable (mg kg ⁻¹)	133,0	203,5
Potasio asimilable (mg kg ⁻¹)	104,0	68,0
Mg intercambiable (cmol kg ⁻¹)	5,67	1,2
Sodio intercambiable (cmol kg ⁻¹)	0,26	0,2

Los análisis del suelo de cada uno de los años indican que los ensayos se desarrollaron sobre suelos bastante distintos desde el punto de vista geológico, textura, con pH neutro y bajo contenido en materia orgánica, aunque con valores de fósforo y potasio asimilables medios (Tabla 4.4).

Se realizó durante los dos años en una parcela del ensayo, (que coincidió con la del testigo Celta) la evaluación de la profundidad máxima de las raíces a lo largo del perfil (Figura 4.3) así como de la capacidad máxima teórica de almacenamiento de agua en cada suelo mediante la determinación de su reserva útil (RU), siguiendo la metodología descrita por el Institut du Vegetal – Arvalis (Francia) (2012). En la Figura 4.4 se presentan de forma gráfica los resultados obtenidos del comportamiento de las raíces del testigo Celta en los dos años. Interesa subrayar que esta determinación se efectuó en el mismo día en ambos los años, el 13 de mayo, coincidiendo con la fase de grano lechoso (EC-73).



Figura 4.3. Fotografía que ilustra el desarrollo de las raíces del trigo a lo largo del perfil del suelo en la fase de grano lechoso (EC-73).

En los dos tipos de suelo podemos verificar que el mayor porcentaje de raíces se encontró en los primeros 15 cm para el suelo de la Comenda y en los 7,5 cm para el suelo de

la EMP. En el suelo de la Comenda se estimó que el 20% de las raíces se encontrarán a 95 cm de profundidad, ya en el suelo de la EMP las raíces presentaron una variación entre el 40 y el 80% entre los 10 y los 50 cm de profundidad (Figura 4.4). La RU potencial es diferente en los dos tipos de suelo estudiados como resultado de las diferencias de profundidad. El suelo de la EMP tiene aproximadamente 60 cm de profundidad y el suelo de Herdade da Comenda tiene 140 cm. El suelo de la EMP, utilizando la fórmula descrita en el apartado de Material y Métodos, presenta un valor de alrededor de los 65 mm de capacidad máxima de almacenamiento de agua a lo largo de su perfil, potencialmente explotable por el sistema radicular de las plantas y es considerado un suelo *seco*. El suelo de la Comenda presenta un valor de RU de 178 mm siendo considerado un suelo *medio*. Esta determinación sirvió para comprender la importancia a través de la profundidad y la RU potencial del efecto que la distribución de la precipitación de invierno y primavera tiene en ambos tipos de suelo. En el suelo de Herdade da Comenda, más profundo y con mayor valor de reserva útil de agua potencialmente almacenable, la precipitación de invierno podrá haber garantizado una esponja de agua suficiente, ayudando a suplir el período de deficiencia de la primavera. El suelo de la EMP, al tener menor reserva útil, la lluvia de primavera y los riegos de apoyo, podrán haber sido más importantes para mantener la menor reserva de agua disponible en niveles más superficiales de forma que las plantas la pudiesen utilizar con más facilidad.

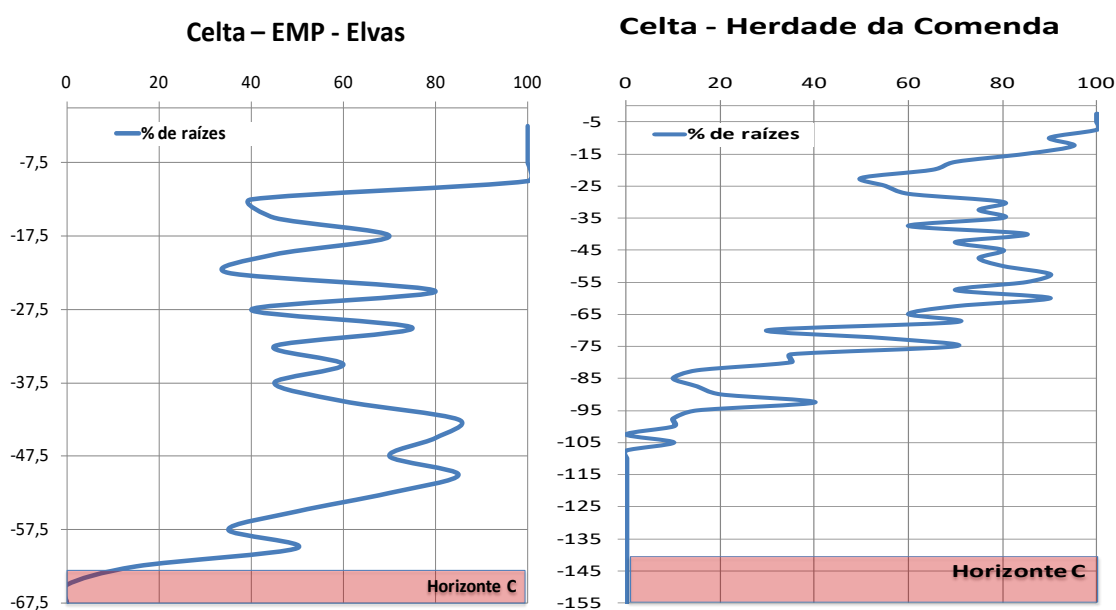


Figura 4.4. Perfil de raíces y profundidad del suelo, obtenido por la metodología del Arvalis, 2012, durante los dos años del estudio.

Otro aspecto considerado en este estudio fue la monitorización del estado hídrico del suelo a lo largo del periodo comprendido entre el encañado (EC-34) y la madurez fisiológica (EC-92), y su influencia sobre el rendimiento de los genotipos estudiados (Figuras 4.5 y 4.6). De los datos obtenidos se verificó que los valores de la humedad del suelo fueron muy distintos a lo largo del periodo observado. En el año 2011/12 (Figura 4.5) se verificó un descenso en los

valores de la humedad en el suelo durante el encañado, prolongándose hasta después del espigado, presentando ligeros incrementos cuando llovió y/o se hicieron los riegos de apoyo. Se observa también que los valores de humedad se mantuvieron siempre en la zona considerada adecuada (color verde) para que las raíces puedan extraer el agua del suelo a lo largo de su perfil.

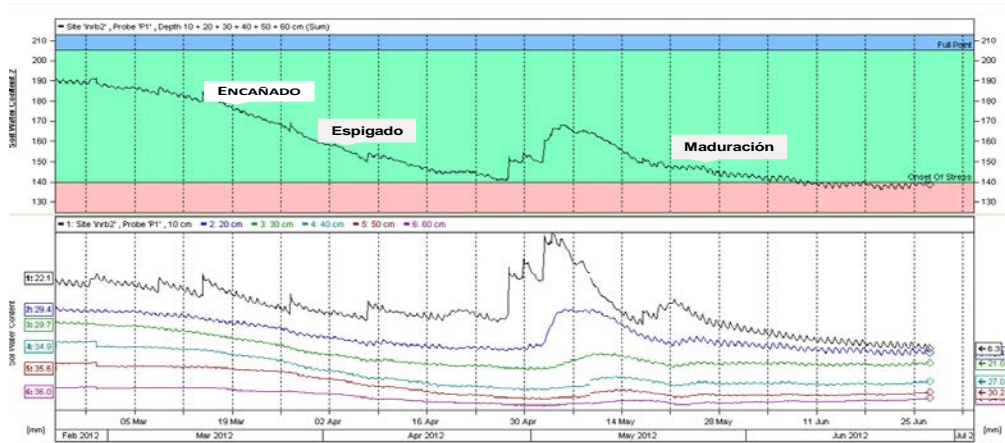


Figura 4.5. Gráfica resultante de la monitorización de la humedad del suelo a lo largo del desarrollo vegetativo de los genotipos durante el año 2012. Fuente: Centro Operativo y Tecnológico del Regadío (COTR).

En 2012/13, el año agrícola transcurrió de una forma normal a nivel de precipitación hasta el espigado. Durante el periodo de llenado del grano la ocurrencia de lluvia disminuyó de una forma notoria provocando un descenso en los niveles de humedad en el suelo. En la Figura 4.6 se observa en la monitorización un descenso muy pronunciado en los valores a partir del 12 de abril hasta casi mediados de mayo. A partir de ese momento, los valores de humedad en el suelo se tornaron tan bajos que la capacidad de extracción por parte de las plantas se tornó muy difícil, originando la ocurrencia de estrés hídrico (color verde oscuro).

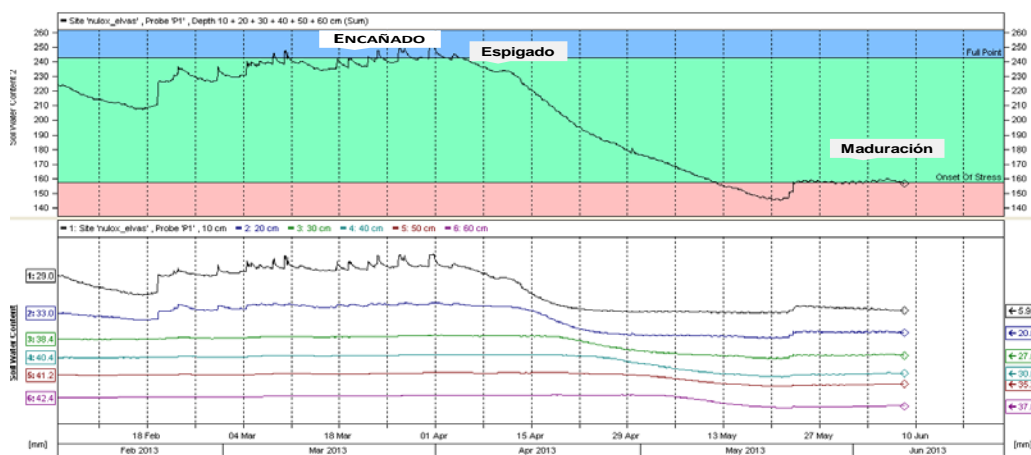


Figura 4.6. Gráfica resultante de la monitorización de la humedad del suelo a lo largo del desarrollo vegetativo de los genotipos durante el año 2013. Fuente: Centro Operativo y Tecnológico del Regadío (COTR).

4.3 CARACTERIZACIÓN FENOLÓGICA

El ajuste fenológico fruto del trabajo de la mejora genética, es el principal mecanismo de adaptación de los trigos ya que puede evitar pérdidas en el rendimiento y reducir las oscilaciones de un año a otro (Aleman, 2012). Estudios realizados por Worland y Snape (2001) mostraron la capacidad de las plantas en detectar y adaptarse a los cambios de fotoperiodo y temperatura, siendo el ajuste fenológico una estrategia para maximizar su supervivencia. El trigo no es una excepción, por lo que genotipos de floración precoz son adecuados para zonas cálidas y secas por su mayor adaptación a estas condiciones, mientras que los tardíos aprovechan mejor los recursos en las zonas más frías y húmedas (Goldringer *et al.*, 2006).

En la Tabla 4.5 se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA) para la longitud del ciclo en cuanto a días a espigado, días a la madurez fisiológica y el número de días del llenado del grano. Las variables año de estudio y genotipo, así como la interacción entre ellas, influyeron significativamente ($P < 0,001$) en la longitud del ciclo en los 3 parámetros evaluados.

Tabla 4.5. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) de las longitudes de ciclo en cuanto a los días al espigado, días a madurez fisiológica y días de llenado del grano en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones semi-áridas mediterráneas.

	g.l.	Días al espigado	Días a la madurez fisiológica	Días de llenado del grano
Año	1	79,08***	7023,99***	1504,14***
Genotipo	29	39,15***	13,86***	20,41***
Año x Genotipo	29	5,15***	7,89***	8,20***

***Significación a un 0,001 nivel de probabilidad n=240

La longitud del ciclo es una característica de gran relevancia a la hora de evaluar la adaptación de una variedad a diferentes regiones, determinando la producción del cultivo bajo condiciones normales (Richards, 1996; Slafer y Araus, 1998). Esta razón es el motivo por el cual la longitud en cuanto al número de días al espigado y a la madurez fisiológica son atributos importantes a tener en cuenta en los programas de mejora genética (Slafer, 2003). En programas de mejora llevados a cabo en regiones de climatología irregular, como la zona de estudio, se tiene por objetivo fundamental buscar genotipos cuya fecha de espigado coincida con el periodo considerado como “óptimo”, o sea, el periodo en el que no haya la ocurrencia de heladas tardías y a su vez que el inicio del llenado del grano no vaya a coincidir con temperaturas muy altas y/o la posible falta de agua en primavera.

Mientras que la fecha de siembra se adelantó ocho días en el año 2012/13 en relación al año 2011/12, el ciclo fue ligeramente más largo en el segundo año, con una media de cinco días más hasta alcanzar el espigado (Figura 4.7). En el año 2011/12, como fue seco y en

marzo hubo una subida acentuada de la temperatura máxima (Figura 4.1), se produjo un acortamiento del número de días al espigado en todos los genotipos estudiados. Estos resultados están en consonancia con lo observado en líneas de trigo duro en estudios realizados por Annicchiarico *et al.* (1995) y Tuberosa *et al.* (2007), quienes verificaron que bajo condiciones de estrés hídrico y subidas bruscas de temperaturas, se produce una reducción en el tiempo al espigado.

Todos los genotipos estudiados presentaron diferencias en relación a la fecha de espigado (Figura 4.7). En 2011/12 los genotipos más precoces fueron INIAV1 (35 días), INIAV7 (34 días), INIAV8 (35 días) siendo INIAV2 (46 días), INIAV3 (45 días) e INIAV20 (42 días) los que presentaron un mayor número de días al espigado en relación con el comportamiento de los testigos ese año, Celta (37 días) y Marialva (38 días). El año 2012/13 los genotipos más cortos respecto al espigado fueron INIAV7 (35 días), INIAV6 (35 días) e INIAV8 (36 días), mientras que los más tardíos fueron INIAV2 (51 días), INIAV3 (49 días) e INIAV4 (49 días). Ese año Celta tardó 42 días hasta el espigado.

Teniendo en cuenta las fechas de siembra utilizadas en los dos años agrícolas, que para este tipo de germoplasma se pueden considerar periodos normales, se puede afirmar que todos los genotipos estudiados tuvieron fechas de espigado consideradas adecuadas para nuestro padrón climático.

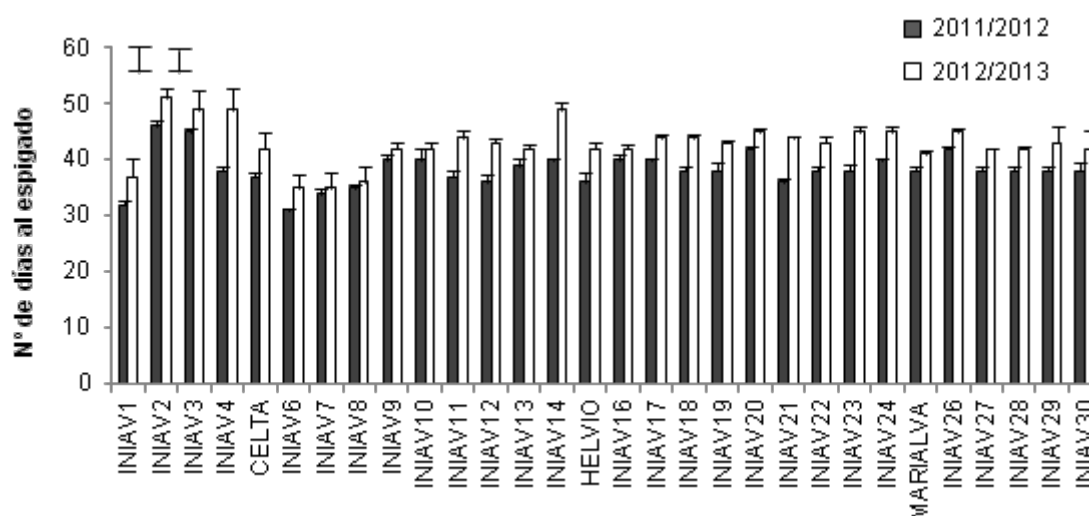


Figura 4.7. Comportamiento de los genotipos estudiados sobre el número de días al espigado durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

Otro aspecto relevante en la evaluación del germoplasma fue la determinación de la madurez fisiológica, ya que nos sirve para definir el periodo que dura el llenado del grano. En la región sur de Portugal, la temperatura media del periodo que va desde la antesis hasta la

madurez fisiológica está muchas veces por encima de la temperatura óptima para el crecimiento máximo del grano (Figuras 1.12 y 1.13). A menudo suceden episodios de altas temperaturas crónicas durante el llenado del grano, con la temperatura media a variar entre los 18 – 25°C y temperaturas máximas diarias hasta 32 – 35°C (Figura 1.14).

En la Figura 4.8 se puede observar una reducción, en todos los genotipos, del número de días a la madurez fisiológica en el año seco, 2011/12, en comparación con el año 2012/13. La media del año 2011/12 fue de 91 días y en 2012/13 de 102 días hasta la madurez fisiológica. Los genotipos que tuvieron un ciclo más corto en 2011/12 fueron INIAV6 (88 días), INIAV7 (88 días) e INIAV26 (89 días), siendo para el testigo Marialva de 89 días hasta la madurez fisiológica. INIAV3 (97 días), INIAV28 (95 días) e INIAV21 (94 días) fueron aquellos que completaron el ciclo más tarde ese año. En relación al año 2012/13 el comportamiento de los genotipos fue tal que los genotipos INIAV6 (100 días) e INIAV7 (100 días) fueron los más cortos, siendo que INIAV13 (104 días), INIAV14 (104 días) e INIAV24 (104 días) los más largos.

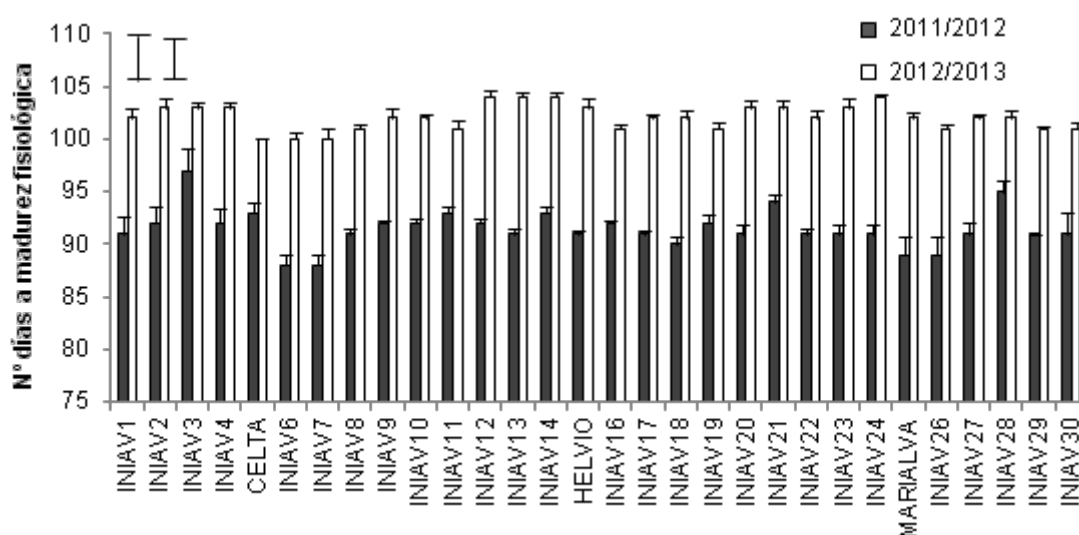


Figura 4.8. Comportamiento de los genotipos estudiados sobre el número de días a la madurez fisiológica durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

La Figura 4.9 presenta el comportamiento a nivel de la duración del periodo de llenado del grano de los 30 genotipos en los dos años en que duró el estudio. Se observa como el periodo de llenado del grano fue significativamente mayor el año 2012/13, de media unos 9 días más, siendo los genotipos INIAV6 (56 días), INIAV8 (54 días), INIAV28 (54 días) los que presentaron de media periodos más largos e INIAV2 (43 días) e INIAV24 (45 días) los más cortos en el año 2011/12. El testigo Marialva tuvo 41 días y el Celta 53 días de duración del llenado del grano. En 2012/13 INIAV3 (53 días), INIAV4 e INIAV14 con 54 días han sido los

más cortos en la duración del llenado del grano, siendo INIAV1, INIAV6, INIAV7 e INIAV8 con 64 días los que presentaron un llenado del grano más largo esa campaña.

Cabe destacar el comportamiento de INIAV4, Celta, INIAV11 e INIAV14 ya que, a pesar de las diferencias entre los dos años, mostraron tener algún ajuste fisiológico en relación con la duración del llenado del grano, pues hubo poca diferencia en el número de días de un año a otro.

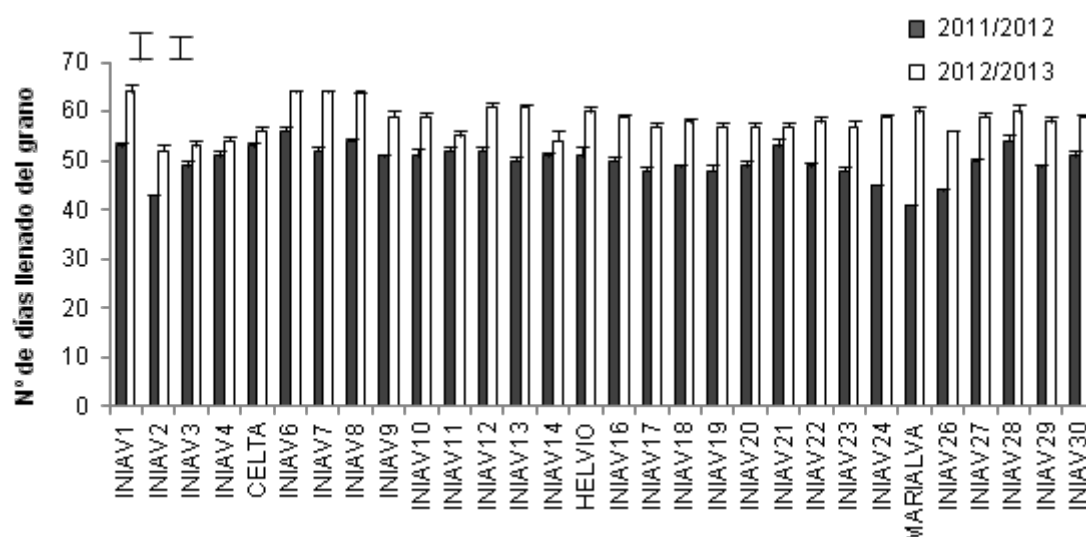


Figura 4.9. Comportamiento de los genotipos estudiados sobre el número de días de llenado del grano durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

En condiciones no limitantes para el crecimiento, la mayoría de los fotoasimilados que se acumulan en el grano provienen de la actividad fotosintética de la hoja bandera, así como de la penúltima hoja de la planta y de su espiga. La capacidad que posee el trigo para completar el llenado del grano a través de la removilización de reservas provenientes del tallo y de otros órganos vegetativos, hace que bajo condiciones de estrés hídrico, parte del llenado del grano se produzca a expensas de la translocación de asimilados acumulados en la planta antes de la antesis (Tahir y Nakata, 2005; Álvaro *et al.*, 2008).

En las Figuras 4.10 y 4.11 se observan los valores de las temperaturas máximas diarias registradas desde el espigado hasta la madurez fisiológica y los valores de precipitación y riegos de apoyo en dicho periodo durante los años del estudio 2011/12 y 2012/13. En ellas se puede constatar las diferencias existentes entre los dos años del estudio durante dicho periodo. Estas diferencias originaron, como discutimos anteriormente, una diferencia en las fechas de madurez fisiológica (± 10 días de media) y la consecuente diferencia en el periodo del llenado del grano entre los dos años (± 9 días de media), estando estos valores de acuerdo con los obtenidos por McDonald *et al.* (1983).

Bajo estas condiciones se pone de manifiesto la importancia de los riegos de apoyo, como forma a suplir la falta de precipitación en los periodos críticos del desarrollo vegetativo y reproductivo de los cereales, como se puede constatar con los resultados obtenidos. Desde una perspectiva agrícola, la estabilidad de las producciones se traduce en la maximización de las diferencias interanuales del rendimiento de un determinado genotipo o variedad. Estas relaciones son influidas no sólo por el reparto de los asimilados al grano, sino también por el patrón del uso del agua, entre otras características.

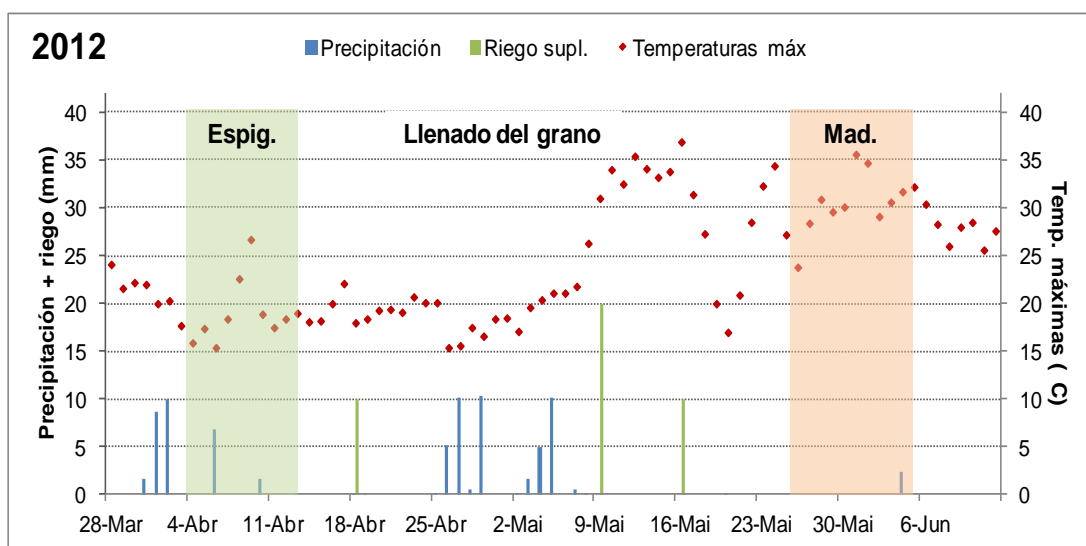


Figura 4.10. Valores de las temperaturas máximas diarias registradas desde el espigado hasta la madurez fisiológica y valores de la precipitación diaria ocurrida en dicho periodo más los valores de la cantidad de agua aportada como riego suplementar. Fuente: Instituto Portugués del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

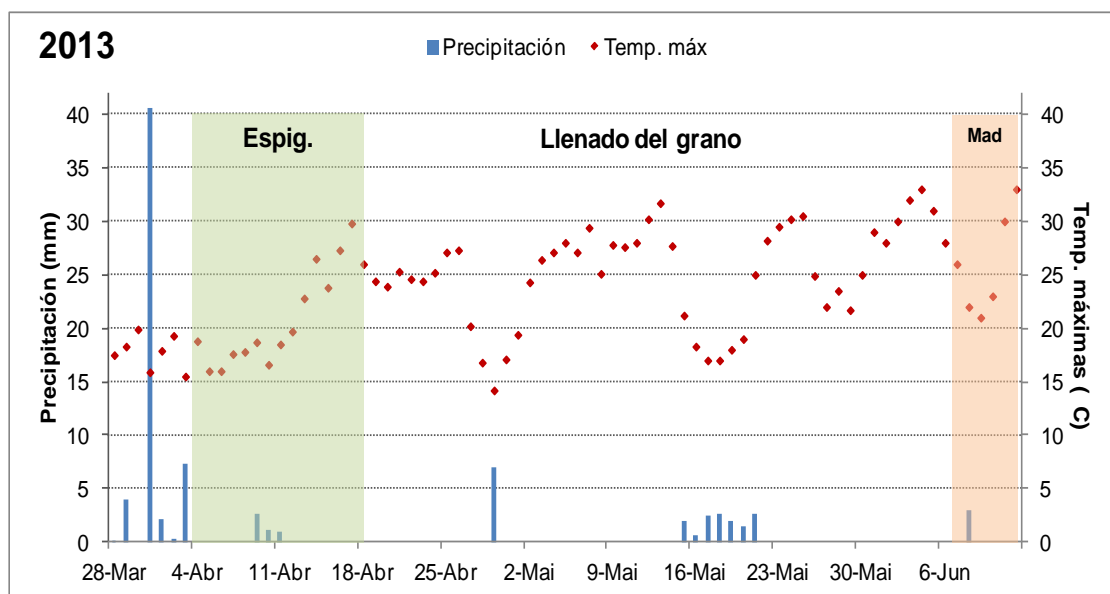


Figura 4.11. Valores de las temperaturas máximas diarias registradas desde el espigado hasta la madurez fisiológica y valores de la precipitación diaria ocurrida en dicho periodo. Fuente: Instituto Portugués del Mar y de la Atmosfera (IPMA).

4.4 ALTURA DE LAS PLANTAS

En la Tabla 4.6 se muestra el resultado del análisis de varianza para el parámetro morfofisiológico altura de las plantas. La variable genotipo así como la interacción año x genotipo influyeron significativamente ($P < 0,001$) en el parámetro altura de la. La variable año de estudio no presentó ningún efecto en el parámetro estudiado.

Tabla 4.6. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) de la altura del tallo, en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones mediterráneas.

	g.l.	Altura
Año	1	1,20 ns
Genotipo	29	9,40***
Año x Genotipo	29	3,16***

ns, no significativo; *** Significación a un 0,001 nivel de probabilidad n=240

La altura en los cereales es un parámetro asociado al rendimiento del trigo, ya que tallos excesivamente altos predisponen a la planta al encamado fisiológico, limitando la cantidad de abonado nitrogenado que puedan recibir y, por tanto, su capacidad productiva (Araus *et al.*, 2008). En la actualidad este parámetro es controlado por la presencia de los genes *Rht*, que, desde su introducción en la “Revolución Verde”, acortaron significativamente la paja en los trigos modernos. Algunos autores como Richards y Passioura (1992), trabajando en condiciones mediterráneas, señalaban que la producción más favorable en este tipo de ambientes se obtiene con genotipos con una estatura comprendida entre los 70 y los 100 cm.

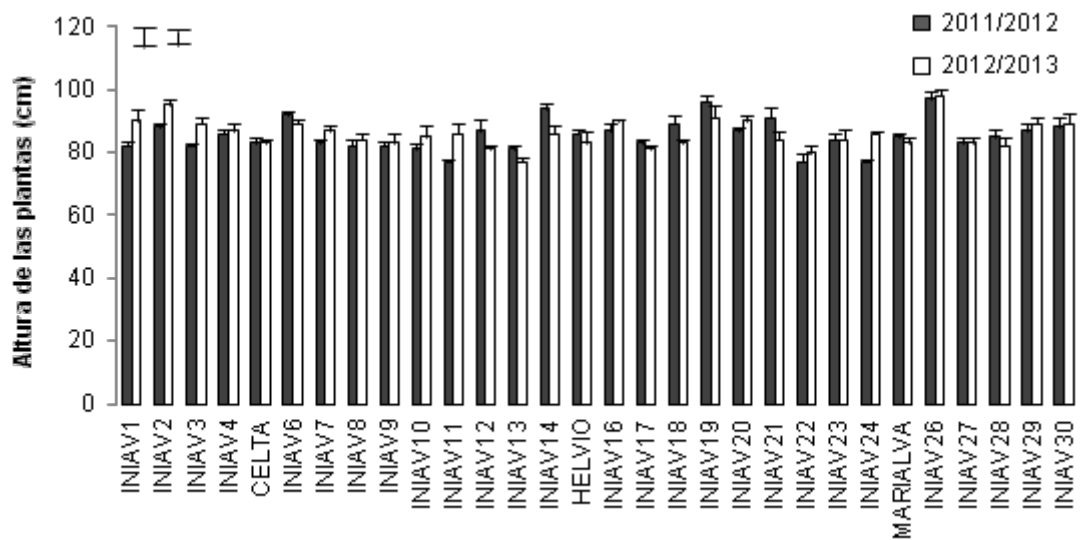


Figura 4.12. Altura del tallo de los genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

Todos los genotipos estudiados presentaron alturas comprendidas entre los 77 y los 98 cm (Figura 4.12), siendo estos valores normales en los trigos duros modernos. Los genotipos más altos fueron INIAV26 (97 cm), INIAV19 (93 cm) e INIAV2 (91 cm), siendo INIAV22 (78 cm) e INIAV13 (79 cm) aquellos que presentaron valores inferiores en altura.

4.5 CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA

Uno de los objetivos principales en los programas de mejora de trigo duro (*Triticum turgidum* L. subsp. *turgidum* var. *durum* Desf.) para las regiones mediterráneas es la selección de genotipos con estabilidad y regularidad en la producción. La estabilidad en la producción de grano, en ambientes que difieren en el régimen hídrico, ha sido relacionada con la capacidad de las plantas para producir un elevado número de granos por unidad de superficie y una alta capacidad para movilizar asimilados de reserva al grano (Blum *et al.*, 1991). La frecuencia, distribución, intensidad y duración de cada uno de los factores limitantes en este tipo de ambiente, así como las diferentes combinaciones entre las mismas, varían ampliamente de año en año, como se describió anteriormente.

4.5.1 PRODUCCIÓN DE GRANO, GRANOS/M² Y PESO 1000 GRANOS

En la Tabla 4.7 se presentan los valores medios, los límites de variación y el resultado de la Anova para cada localización de la producción, sus componentes y otros parámetros agronómicos de los 30 genotipos estudiados durante los dos años 2011/12 y 2012/13 en condiciones mediterráneas.

Los años en que transcurrió el estudio se alejaron significativamente del año medio en lo que se refiere a la cantidad y a la distribución de la precipitación (Figura 4.1). En 2011/12 las producciones fueron elevadas, variando entre los 3.946 y 8.617 kg ha⁻¹, siendo la media del ensayo de 6.545 kg ha⁻¹ (Tabla 4.7). En el año 2012/13 la media de las producciones fue ligeramente inferior a la del año anterior, variando entre los 2.206 y 7.560 kg ha⁻¹, siendo la media del ensayo de 5.332 kg ha⁻¹ (Tabla 4.7). Se verificó una mayor producción de biomasa debido a las mejores condiciones de precipitación y temperatura acaecidas durante las fases iniciales del desarrollo vegetativo, esta evidencia está de acuerdo con trabajos realizados por Passioura y Angus (2010).

Tabla 4.7. Media, límites de variación y resumen del análisis de variancia en cada localización de la producción y sus componentes y otros parámetros agronómicos para las 30 genotipos estudiados durante los dos años 2011/12 y 2012/13 en condiciones mediterráneas.

Parámetros	2011/12 EMP	2012/13 Comenda
Producción (kg/ha)	6.545ns 3.946 – 8.617	5.332*** 2.206 – 7.560
Granos/m²	14.687ns 8.397 – 23.195	11.336*** 4.674 – 16.154
Peso 1000 granos (g)	45,10ns 33,00 – 55,00	47,20*** 40,00 – 56,00
Biomasa maduración (kg/ha)	13.310ns 7.210 – 18.890	22.625ns 15.120 – 34.400
Índice de Cosecha (%)	50ns 27 – 66	24ns 11– 34
Días al espigado después 1 marzo	38*** 30 - 48	43*** 32 – 52
Días a maduración después 1 marzo	92*** 87 - 98	102*** 98 - 105
Llenado del grano	50*** 41 - 58	58*** 50 – 67
Altura de la Planta (cm)	85*** 70-101	86*** 75-101
Fecha de siembra	07/12/2011	28/11/2012

ns, no significativo, ***, Significación de las diferencias entre los genotipos en cada local para un nivel de probabilidad 0,001 n = 120

En la Tabla 4.8 se muestra el resultado de la ANOVA para el rendimiento y sus componentes. Las variables: año de estudio y genotipo, influyeron significativamente ($P < 0,001$) sobre la producción, el peso de 1000 granos y los granos m^{-2} . Sin embargo, la interacción entre ellas no presentó ningún efecto significativo en los parámetros estudiados.

Tabla 4.8. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) de la producción, peso de 1000 granos y granos por metro cuadrado en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones mediterráneas.

	g.l.	Producción	Peso de 1000 granos	Granos m^{-2}
Año	1	14,76***	26,77***	19,96***
Genotipo	29	2,55***	2,69***	2,28***
Año x Genotipo	29	1,25ns	1,10ns	1,13ns

ns, no significativo; *** Significación a un 0,001 nivel de probabilidad, respectivamente n=240

Los genotipos estadísticamente más productivos en el primer año (2011/12) fueron INIAV28 (7.406 $kg\ ha^{-1}$), INIAV20 (7.371 $kg\ ha^{-1}$), INIAV21 (7.258 $kg\ ha^{-1}$), INIAV26 (7.118 $kg\ ha^{-1}$) e INIAV16 (7.103 $kg\ ha^{-1}$) sobrepasando al primero de los testigos, Celta (6.902 $kg\ ha^{-1}$) (Figura 4.13). Los genotipos con rendimientos más bajos fueron INIAV23 (5.705 $kg\ ha^{-1}$), INIAV14 (5.753 $kg\ ha^{-1}$) e INIAV4 (5.787 $kg\ ha^{-1}$) siendo el testigo menos productivo HÉlvio con 6.018 $kg\ ha^{-1}$. En 2012/13 los genotipos más productivos fueron, INIAV16 (6.185 $kg\ ha^{-1}$), INIAV21 (6.133 $kg\ ha^{-1}$), INIAV30 (6.051 $kg\ ha^{-1}$), INIAV22 (6.019 $kg\ ha^{-1}$) estando el testigo Celta (6.001 $kg\ ha^{-1}$) en la quinta posición (Figura 4.13). Los menos productivos ese año fueron

INIAV12 (4.292 kg ha⁻¹) e INIAV14 (4.323 kg ha⁻¹) siendo el testigo Marialva el que menor producción obtuvo con 5.213 kg ha⁻¹. Estudiando los dos años en conjunto, aunque no estadísticamente significativos, destacaron los genotipos INIAV16, INIAV20, INIAV21, INIAV26, INIAV27 e INIAV28 como aquellos que estuvieron en el top de los más productivos. Otro aspecto a destacar es que el testigo Celta manifestó un comportamiento bastante regular los dos años, estando siempre por encima de la media general del ensayo.

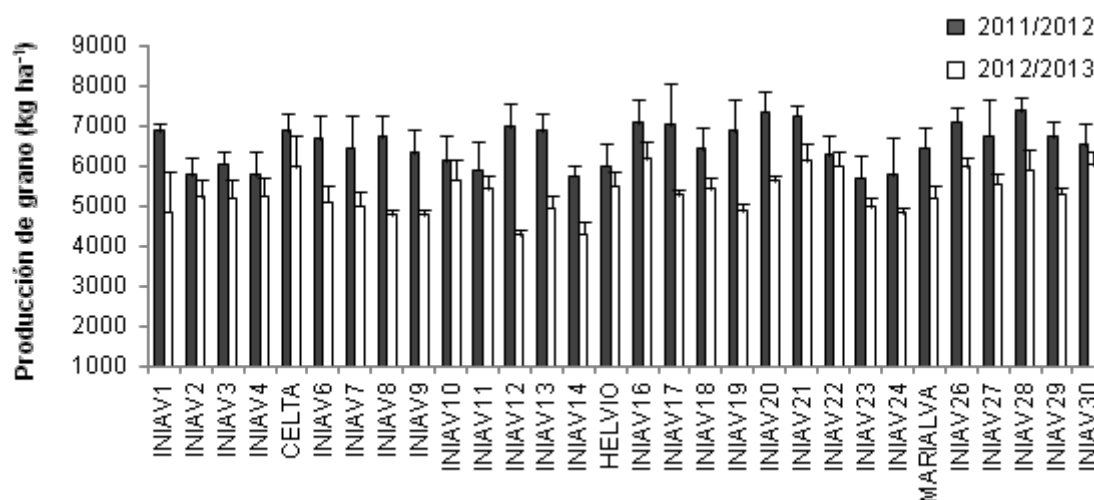


Figura 4.13. Producción de grano (kg ha⁻¹) de los genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

Maçãs (1996) en un estudio realizado en diferentes localizaciones con el objetivo de valorar el efecto de la precipitación de invierno y primavera conjuntamente con el efecto del suelo en la regularidad productiva del trigo en ambiente semiárido mediterráneo, constató que el suelo de la Herdade da Comenda, con una precipitación invernal adecuada, garantiza una buena producción de biomasa en los trigos. Contrariamente en el suelo de la EMP – Elvas, las producciones se encuentran fuertemente relacionadas con la capacidad que los genotipos tengan en aprovechar la lluvia de primavera. Este estudio viene a corroborar los resultados obtenidos en ese trabajo. La temperatura, como se puede verificar en la Tabla 4.9, fue muy similar tanto en las mínimas como en las máximas en los dos años, por lo que la diferencia en el rendimiento fue más dependiente de la componente hídrica, con la influencia también, del tipo de suelo de ambas localizaciones.

Tabla 4.9. Valores relativos a la temperatura media de las mínimas y máximas durante el periodo del llenado del grano y toda la precipitación ocurrida durante el desarrollo vegetativo, como también el valor de los riegos suplementarios efectuados y su implicación en el rendimiento final.

Año	Tº Media/min (Espigado-Madurez)	Tº Media/máx (Espigado-Madurez)	Precipitación Invierno (mm) (Dic - Feb)	Precipitación (mm) (Espigado-Madurez)	Riegos suplementarios (mm)	Producción media de grano (kg ha ⁻¹)
2011/12	10,7	24,3	13,6	55,1	40	6.545
2012/13	9,1	24,3	167,4	28,1	0	5.332

En 2011/12, las temperaturas máximas ocurridas durante el periodo de la antesis, del 11 de abril hasta el 9 de mayo, se situaron entre los 15 y los 25°C, con un valor medio de 24,3°C (Tabla 4.9). Esto, unido a la disponibilidad hídrica ha favorecido un adecuado llenado del grano. Estos resultados son semejantes a los encontrados por otros autores, como Russel y Wilson (1994) y Dupont y Altenbach (2003).

En 2012/13 la temperatura máxima media durante el llenado del grano presentó un valor semejante a la del año anterior 24,3°C (Tabla 4.9). Sin embargo, la ocurrencia de una subida brusca y del comportamiento irregular de la temperatura máxima durante el periodo del llenado del grano (Figura 4.11), asociado a los bajos valores de precipitación, contribuyeron a la reducción en el rendimiento. Panozzo *et al.* (1998) afirmaron que el estrés térmico ocurrido desde los 0 a los 14 días después de la antesis (DAA), produce un efecto más significativo en la producción de grano y en su peso, que un estrés térmico desde los 15 a los 28 DAA ó desde los 29 a los 42 DAA.

En relación al componente del rendimiento granos m⁻², en 2011/12 presentó un valor medio de 14.687 granos m⁻², siendo los genotipos INIAV28 (17.312 granos m⁻²), INIAV13 (16.818 granos m⁻²) e INIAV17 (16.474 granos m⁻²) los que presentaron los valores más elevados. En el segundo año, la media fue significativamente inferior, 11.335 granos m⁻², siendo INIAV21 (13.691 granos m⁻²), INIAV5 (13.401 granos m⁻²) e INIAV22 (12.855 granos m⁻²) los genotipos con el mayor número de granos por unidad de superficie (Figura 4.14).

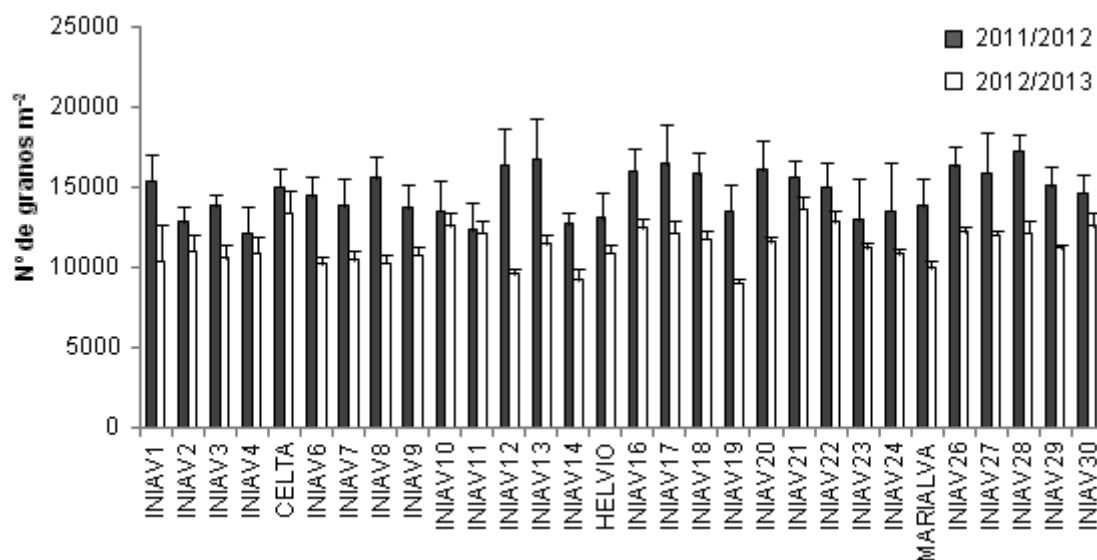


Figura 4.14. Número de granos por metro cuadrado de los genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

Cuando comparamos las variaciones en el rendimiento y sus componentes se verifica que el peso del grano se mantiene relativamente estable (Figura 4.15). El peso del grano, al estar relacionado con la duración del periodo de llenado, con la temperatura y con la ocurrencia o no de estrés hídrico, presentó valores inferiores en media el año 2012/13 (45,12 g)

comparado con los 47,15 g del año 2011/12. Esta reducción en el peso de 1000 granos en 2012/13 pudo estar relacionado con la posible ocurrencia de algún estrés hídrico en la fase final del desarrollo, estando estos valores de acuerdo con trabajos efectuados por otros autores (Almeida, 2007; Erekul y Kohn, 2006; Mohammadi, 2012). Lopes *et al.* (2012) concluyeron en sus trabajos que los genotipos de trigo que sean capaces de mantener elevado peso de 1000 granos bajo de condiciones de estrés indican una mayor tolerancia a ambientes más secos.

Los genotipos que presentaron el mayor valor del peso de los 1000 granos en 2011/12 fueron, INIAV19 (50,93 g) e INIAV11 (47,95 g) mientras que INIAV18 (40,65 g), INIAV13 (42,20 g) y INIAV22 (42,25 g) fueron los que tuvieron el menor peso de 1000 granos. Los testigos Celta, Marialva y Hélio tuvieron un peso de 1000 granos de 46,10 g, 47,13 g y 46,40 g respectivamente en ese año (Figura 4.15). En 2012/13 INIAV19 (54,30 g) e INIAV6 (50,03 g) han sido los genotipos con el mayor peso del grano, siendo INIAV13 (44,53 g) e INIAV23 (44,28 g) aquellos que tuvieron el menor peso en ese año, por debajo de la media general del ensayo. De los testigos sólo Celta, con 44,53 g, estuvo también por debajo de la media del ensayo ya que Marialva y Helvio presentaron un peso de 1000 granos de 52,10 g y 50,53 g respectivamente.

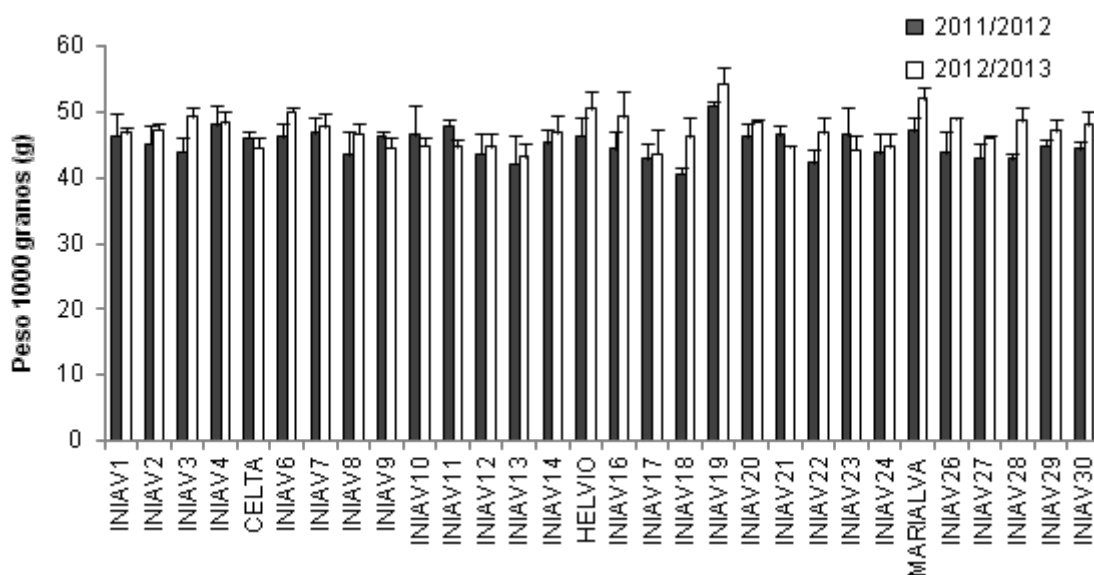


Figura 4.15. Peso de 1000 granos de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

La estrecha relación entre la producción final y estos dos componentes se pone de evidencia en las enormes fluctuaciones verificadas en los resultados obtenidos en este estudio. Los genotipos que presentaran valores muy elevados del número de granos por unidad de superficie y cuyo peso de 1000 granos fue elevado han sido los que tuvieron producciones más elevadas, siendo que la situación contraria también es verdad. En la Tabla 4.10 se presentan los valores medios de los ensayos y los valores de cada uno de los 30 genotipos relativos a la producción y sus componentes para los dos años de estudio.

Se observa en esta Tabla 4.10 que de todas las líneas estudiadas INIAV20 fue el que mostró, durante los dos años, valores de rendimiento y sus componentes siempre superiores a la media general del ensayo. Interesa destacar también que, de los tres testigos estudiados, el que evidenció un mejor comportamiento frente a los genotipos estudiados fue el Celta, siendo Marialva aquel que presentó el peor comportamiento. Son de destacar los coeficientes de variación, que para la producción y el número de granos/m² muestran una buena fiabilidad en los resultados obtenidos.

Tabla 4.10. Medias de los ensayos y valores de la producción y sus componentes de los 30 genotipos estudiados en los dos años 2011/12 y 2012/13.

	Producción (kg/ha)				Granos m ⁻² (número)				Peso 1000 granos (g)			
	2012	% media	2013	% media	2012	% media	2013	% media	2012	% media	2013	% media
INIAV1	6.982	107	4.864	91	15.441	105	10.412	92	46.45	103	46.88	99
INIAV2	5.799	89	5.236	98	12.861	88	11.072	98	45.45	101	47.35	100
INIAV3	6.064	93	5.206	98	13.837	94	10.58	93	43.95	97	49.25	104
INIAV4	5.787	88	5.262	99	12.177	83	10.903	96	48.15	107	48.4	103
CELTA	6.902	105	6.001	113	15.024	102	13.401	118	46.1	102	44.53	94
INIAV6	6.704	102	5.119	96	14.501	99	10.209	90	46.3	103	50.03	106
INIAV7	6.467	99	5.012	94	13.853	94	10.466	92	46.88	104	47.83	101
INIAV8	6.743	103	4.798	90	15.623	106	10.299	91	43.48	96	46.68	99
INIAV9	6.338	97	4.798	90	13.725	93	10.764	95	46.33	103	44.6	95
INIAV10	6.141	94	5.668	106	13.533	92	12.599	111	46.5	103	44.88	95
INIAV11	5.903	90	5.433	102	12.391	84	12.142	107	47.95	106	44.78	95
INIAV12	7.003	107	4.292	80	16.407	112	9.595	85	43.6	97	44.75	95
INIAV13	6.900	105	4.960	93	16.818	115	11.466	101	42.2	94	43.23	92
INIAV14	5.753	88	4.323	81	12.716	87	9.245	82	45.4	101	46.88	99
HELVIO	6.018	92	5.525	104	14.687	100	11.335	100	46.4	103	50.53	107
INIAV16	7.104	109	6.185	116	16.066	109	12.507	110	44.43	98	49.33	105
INIAV17	7.052	108	5.279	99	16.474	112	12.187	108	42.95	95	43.63	93
INIAV18	6.453	99	5.439	102	15.885	108	11.772	104	40.65	90	46.2	98
INIAV19	6.894	105	4.894	92	13.544	92	9.018	80	50.93	113	54.3	115
INIAV20	7.371	113	5.642	106	16.096	110	11.626	103	46.3	103	48.58	103
INIAV21	7.258	111	6.133	115	15.654	107	13.691	121	46.6	103	44.7	95
INIAV22	6.298	96	6.019	113	15.034	102	12.855	113	42.25	94	46.83	99
INIAV23	5.705	87	4.992	94	13.011	89	11.262	99	46.55	103	44.28	94
INIAV24	5.780	88	4.843	91	13.549	92	10.83	96	43.88	97	44.73	95
MARIALVA	6.470	99	5.213	98	13.871	94	9.998	88	47.13	104	52.1	110
INIAV26	7.118	109	5.991	112	16.386	112	12.217	108	43.83	97	49	104
INIAV27	6.762	103	5.565	104	15.921	108	12.041	106	43.08	95	46.18	98
INIAV28	7.406	113	5.927	111	17.312	118	12.146	107	42.88	95	48.73	103
INIAV29	6.749	103	5.305	99	15.103	103	11.224	99	44.85	99	47.25	100
INIAV30	6.540	100	6.051	113	14.693	100	12.615	111	44.5	99	48.08	102
Media	6.545		5.332		14.687		11.335		45.12		47.15	
SE	1.023,14		781,72		2.944,37		1.661,30		4.378		3.157	
CV (%)	16		15		20		15		10		7	

SE – Error Estándar; CV – Coeficiente de Variación; % media – Porcentaje del genotipo sobre la media del ensayo.

4.5.2 BIOMASA Y ÍNDICE DE COSECHA

En la Tabla 4.11 se muestra el resultado del análisis de varianza para la biomasa a la maduración e índice de cosecha. La variable año de estudio influyó significativamente ($P < 0,001$) en ambos parámetros mientras que la interacción año x genotipo influyó significativamente ($P < 0,05$) en la biomasa a la maduración.

Tabla 4.11. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) del la biomasa a la maduración e Índice de cosecha en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones mediterráneas.

	g.l.	Biomasa a la maduración	Índice de cosecha
Año	1	169.27***	792.71***
Genotipo	29	0.90ns	1.75ns
Año x Genotipo	29	1.82*	1.31ns

ns, no significativo; *,*** Significación a un 0,05 y 0,001 nivel de probabilidad, respectivamente n=240

En la Figura 4.16 se ponen de manifiesto las diferencias entre los dos años del estudio en los valores obtenidos de biomasa, que se deben fundamentalmente al efecto de la temperatura invernal y de la precipitación (Tabla 4.9). Los genotipos que produjeron más biomasa en 2011/12 fueron INIAV12 (15.413 kg ha⁻¹), INIAV18 (14.738 kg ha⁻¹) e INIAV14 (14.640 kg ha⁻¹), pero ninguno de ellos fue de los genotipos más productivos. Contrariamente, los genotipos que produjeron menos biomasa fueron Celta (10.580 kg ha⁻¹), INIAV29 (11.328 kg ha⁻¹) y Hélio (11.630 kg ha⁻¹), estando el testigo Celta como uno de los genotipos más productivos ese año. En el año 2012/13 el comportamiento de los genotipos fue diferente, siendo Celta (26.350 kg ha⁻¹), INIAV26 (26.050 kg ha⁻¹), INIAV7 (24.780 kg ha⁻¹) e INIAV24 (24.260 kg ha⁻¹) los que obtuvieron mayores valores de biomasa a la maduración, mientras que INIAV6 (18.260 kg ha⁻¹), INIAV13 (18.850 kg ha⁻¹) e INIAV23 (19.560 kg ha⁻¹) fueron los que produjeron menores valores de biomasa.

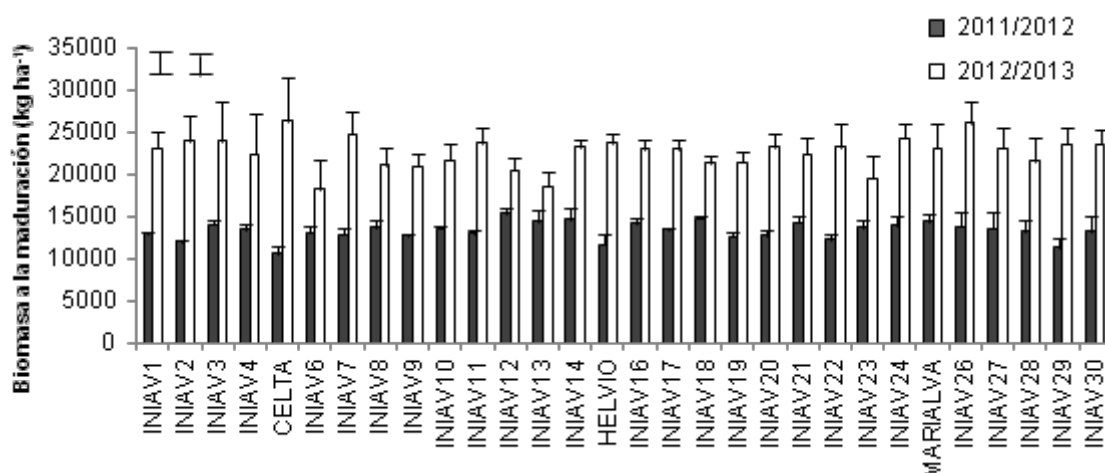


Figura 4.16. Biomasa a la maduración (kg ha⁻¹) de los genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

La Figura 4.17 muestra los valores obtenidos para el Índice de cosecha (IC) de los 30 genotipos durante los dos años de ensayo. Este parámetro según Zhong-hu y Rajaram (1994) está correlacionado, en condiciones de campo, con las temperaturas después del periodo pos-antesis. El IC, al ser el porcentaje de la producción de grano sobre la biomasa total a la maduración se vió muy influido por el efecto del año. Los genotipos que presentaron valores más elevados del IC en 2011/12 fueron INIAV20 (60,2%), INIAV17 (59,6%), INIAV28 (56,7%) y el testigo Celta con el valor más elevado (67,1%). Contrariamente, los genotipos INIAV14 (39,8%), INIAV23 (41,6%) e INIAV24 (41,3%) fueron los que obtuvieron los valores más bajos en ese año. La media del ensayo en ese año fue de 50,0%. En 2012/13 los valores del IC fueron significativamente inferiores al del año anterior, siendo INIAV6 (28,7%), INIAV28 (27,6%) e INIAV21 (27,5%) los genotipos que tuvieron valores más elevados de IC. Por el otro lado, INIAV14 (19,2%), INIAV1 (20,9%), INIAV7 (20,5%) e INIAV24 (20,2%) fueron los que presentaron los valores más bajos en 2013. La media general del ensayo en ese año fue de 23,9%.

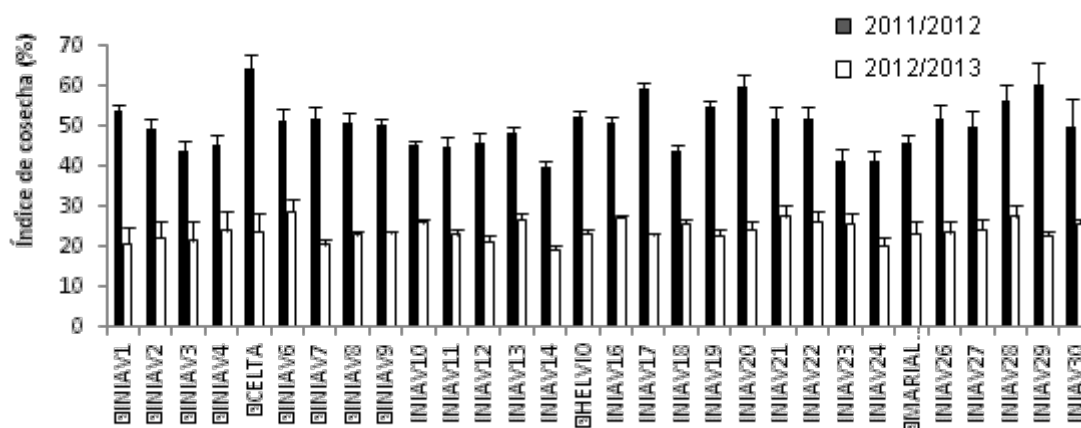


Figura 4.17. Índice de cosecha (%) de los genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

4.5.3 CORRELACIONES ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y FENOLÓGICAS

El estudio de las correlaciones entre características es de extrema importancia en los trabajos de mejora genética al permitir determinar las alteraciones genéticas asociadas a los atributos sometidos a la presión de selección (Maçãs, 1996). En la Tabla 4.12 se presentan los coeficientes de correlación (r) entre la producción de grano y algunos parámetros agronómicos en los 30 genotipos estudiados en el año 2011/12 y 2012/13.

Tabla 4.12. Coeficientes de correlación (r) entre los parámetros agronómicos y fenológicos de las 30 líneas estudiadas en el año 2011/12 y 2012/13.

Características	Granos m ⁻² (número)	Biomasa Maduración (kg ha ⁻¹)	Peso Mil Granos (g)	Índice Cosecha (%)	Maduración Fisiológica (días)	Llenado Grano (días)	Días al Espigado (días)
Producción Grano (kg ha ⁻¹)	0,907**	-0,385**	-0,178**	0,719**	-0,561**	-0,435**	-0,321**
Granos.m ⁻² (número)	-	-0,408**	-0,562**	-0,312**	-0,565**	-0,453**	-0,298**
Biomasa Maduración (kg ha ⁻¹)		-	0,197**	-0,873**	0,790**	0,606**	0,499**
Peso Mil Granos (g)			-	-0,232**	0,218**	0,205**	0,057ns
Índice Cosecha (%)				-	-0,805**	-0,630**	-0,486**
Maduración Fisiológica (días)					-	0,757**	0,628**
Llenado Grano (días)						-	0,022ns
Días al Espigado (días)							-

ns, no significativo *, ** significación al 0,05 y 0,01 respectivamente n=240

Se observa que la producción de grano estuvo positivamente y altamente correlacionada con el número de granos m⁻² ($r=0,907^{**}$), en línea con los estudios realizados por Maçãs (1996) y Royo *et al.* (2007). Se ha verificado una correlación negativa entre el peso del grano y la producción ($r=-0,178^{**}$) ya que el peso del grano es el componente del rendimiento que muchas veces se ve afectado negativamente por las condiciones climáticas en este tipo de ambiente, como señalaban Wardlaw *et al.* (1989) y Jenner *et al.* (1991). Se verificó también una correlación negativa entre el peso del grano y el número de granos m⁻² ($r=-0,562^{**}$). Estudios de Royo *et al.* (2007) mostraron que la mejora genética en trigo duro ha progresado a un nivel comparable a la del trigo harinero. Esto se debe principalmente al incremento en el número de granos por unidad de superficie y por espiga así como a un mayor índice de cosecha como resultado de un mejor reparto de los asimilados entre la biomasa vegetativa y las espigas. Se observa también una correlación altamente significativa y negativa entre el rendimiento en grano y los tres parámetros fenológicos evaluados: días al espigado ($r=-0,321^{**}$), llenado de grano ($r=-0,435^{**}$) y maduración fisiológica ($r=-0,561^{**}$).

4.5.4 ANALISIS DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA

La evaluación de la variabilidad genética existente en un determinado grupo de germoplasma es un proceso fundamental cuyo resultado permite al mejorador disponer de la información necesaria para realizar la selección o identificación de los genotipos con mayor interés para el programa de mejora. A esto se le añade la posibilidad de conocer los caracteres que más contribuyen a la variabilidad entre los diferentes genotipos estudiados (Borém, 1998).

4.5.4.1 MÉTODO DE ORDENACIÓN (ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES – ACP)

Para conocer y poder así utilizar todo el potencial genético de cada uno de estos genotipos, es importante evaluar las características morfológicas y agronómicas más importantes. Por eso, para tener una noción de la distribución de los genotipos en el espacio multidimensional, se recurrió al método de ordenación designado por el análisis de los componentes principales (ACP). Este análisis nos proporciona una información adicional útil relativa a las características más importantes para la definición de los diferentes grupos de germoplasma empleado. En la Tabla 4.13 se pueden observar los límites de variación encontrados para las diferentes características estudiadas.

Tabla 4.13. Límites de variación observados en las características estudiadas.

Características	Mínimo	Máximo	Media	C.V. (%)
1 Número de días al espigado (Esp)	33,0	49,0	40,9	8
2 Madurez fisiológica (MF)	94,0	100,0	97,0	1
3 Llenado del grano (LG)	48,0	60,0	54,4	5
4 Altura de las plantas (Alt)	79,0	98,0	85,9	5
5 Granos por m² (Gr/m²)	10.980	14.729	13.011	8
6 Peso 1000 granos (PMG)	42,7	52,6	46,1	4
7 Biomasa a maduración (BM)	15.675	19.930	17.967	5
8 Índice de cosecha (IC)	29,5	44,3	36,9	9
9 Rendimiento (Rend)	5.038	6.696	5.939	7

En las Figuras 4.18 y 4.20 se pueden observar las proyecciones de los 30 genotipos en los planos definidos por los componentes 1-2 y 1-3, respectivamente. El porcentaje de variación que es explicado por los 3 primeros componentes se observa en la Tabla 4.14. Se comprueba como el primer eje es el responsable del 34.01% de la variabilidad total, que el segundo es el responsable del 23.26% y el tercero del 20.74%. Estos datos muestran que los 3 primeros ejes explican el 78.02% de la variabilidad existente en este grupo de germoplasma.

Las Figuras 4.19 y 4.21 representan las proyecciones de las 10 características relacionadas con la fenología y el rendimiento en los planos definidos por los componentes 1-2 y 1-3. La proyección de los autovectores indica la importancia relativa de las diferentes características en la distribución espacial de las líneas. La contribución de cada una de ellas para la formación de los tres primeros componentes puede observarse en la Tabla 4.13, donde los valores que corresponden a las características que más influyeron en cada componente principal se resaltan en negrita y se consideran los valores de los coeficientes por su valor absoluto.

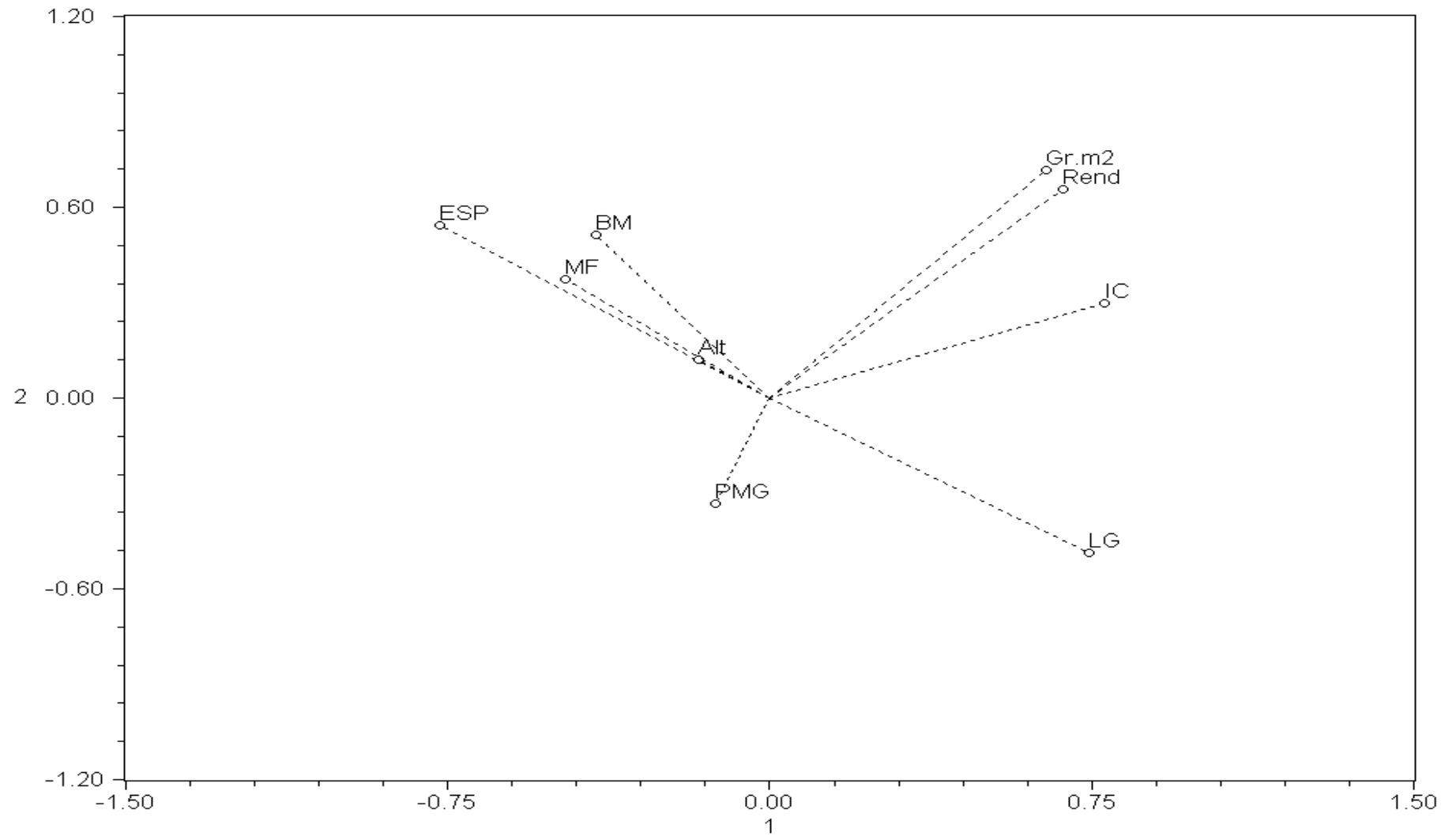


Figura 4.19 . Proyección de las 9 características de la matriz en el plano definido por las componentes principales 1 y 2.

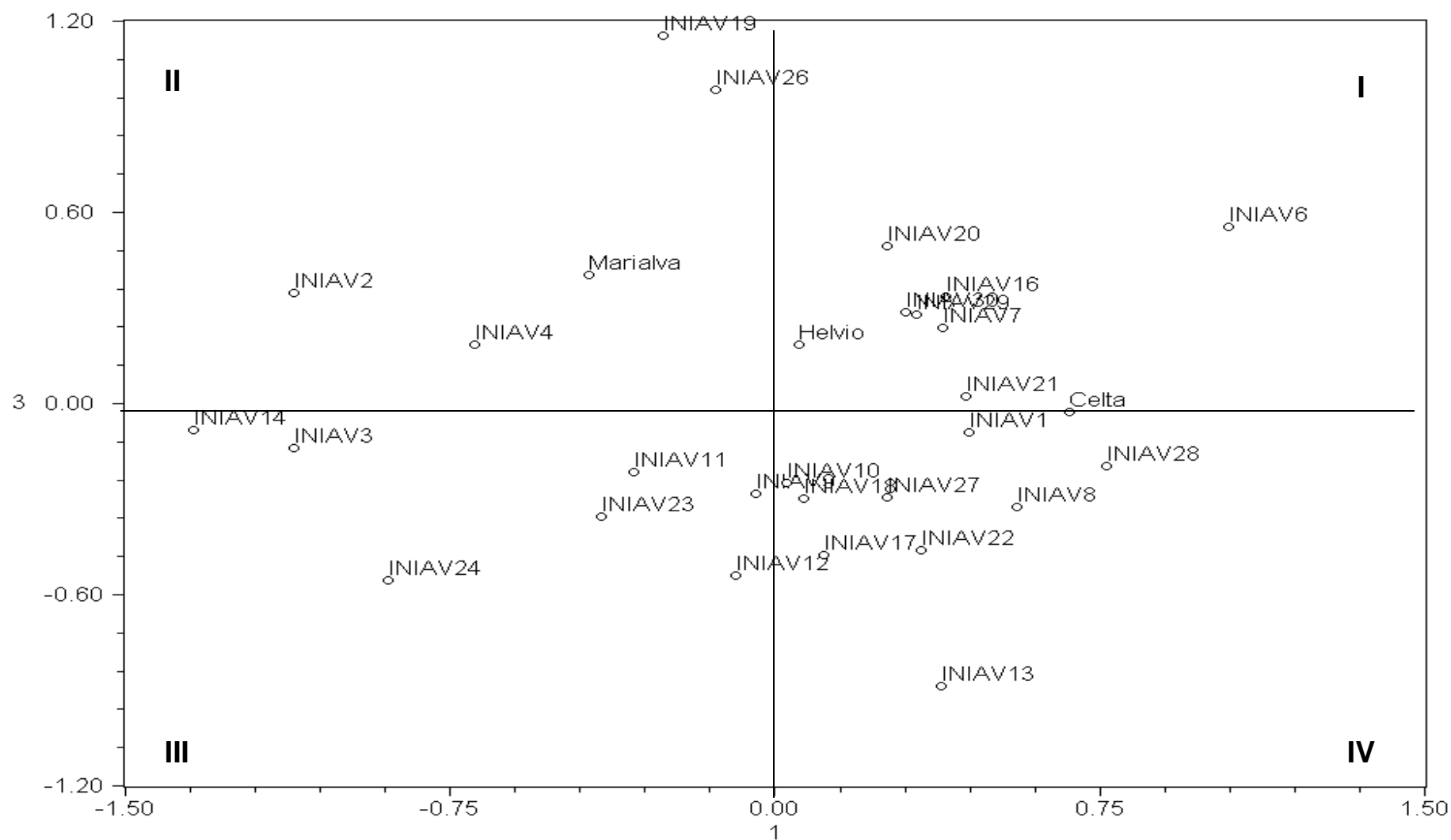


Figura 4.20. Proyección de los 30 genotipos de la matriz en el plano definido por las componentes principales 1 y 3.

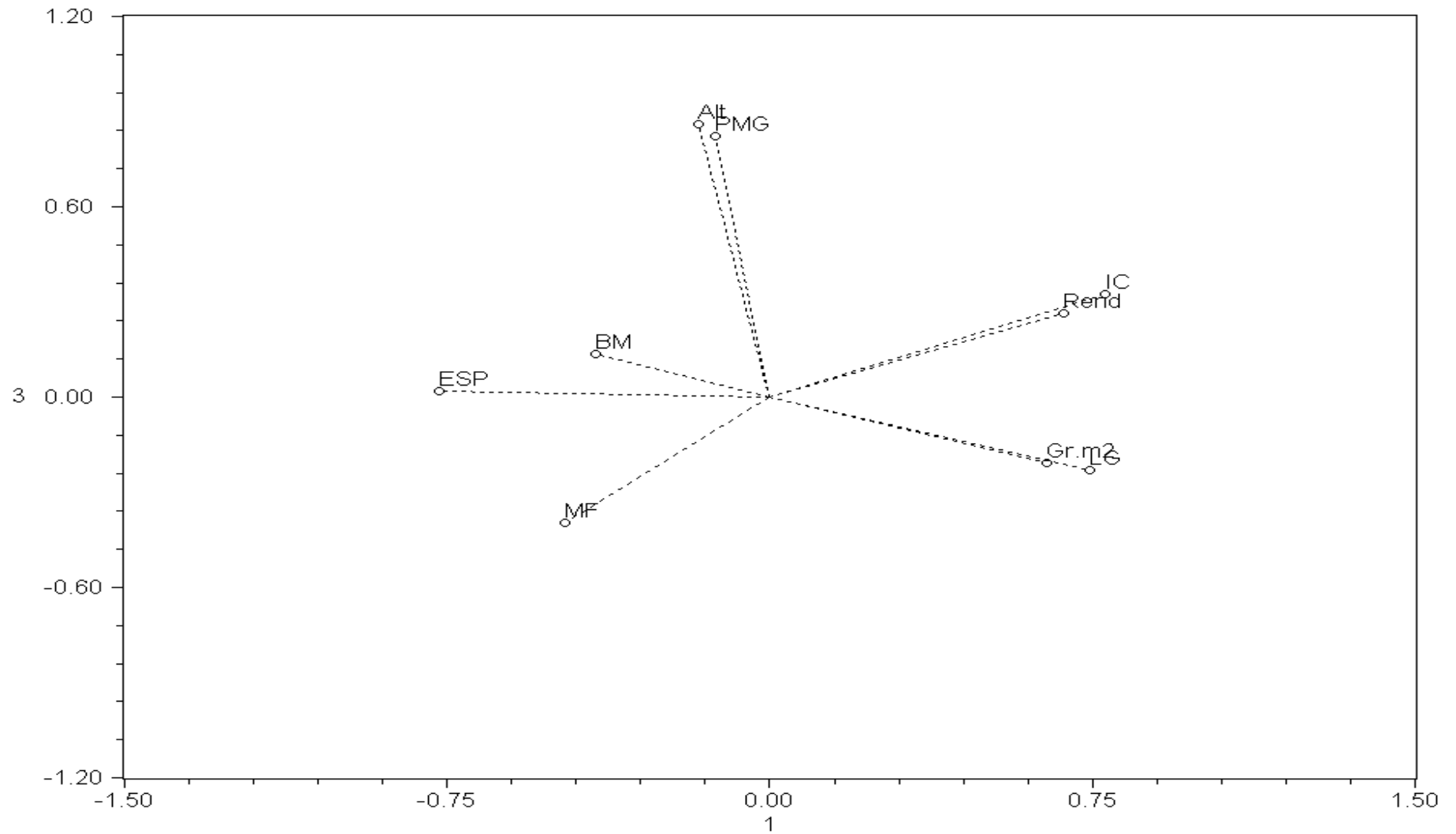


Figura 4.21. Proyección de las 9 características de la matriz en el plano definido por las componentes principales 1 y 3.

Tabla 4.14. Correlación entre las características relacionadas y los tres primeros componentes en el análisis matriz.

Características	Componentes Principales		
	1	2	3
1 Número de días al espigado (Esp)	-0,7684	0,5439	0,0198
3 Madurez fisiológica (MF)	-0,4755	0,3732	-0,3955
4 Llenado del grano (LG)	0,7428	-0,4854	-0,2318
5 Altura de las plantas (Alt)	-0,1663	0,1219	0,8605
6 Granos por m ² (Gr/m ²)	0,6438	0,7180	-0,2065
7 Peso 1000 granos (PMG)	-0,1249	-0,3318	0,8240
8 Biomasa a maduración (BM)	-0,4037	0,5138	0,1368
9 Índice de cosecha (IC)	0,7787	0,2989	0,3236
10 Rendimiento (Rend)	0,6827	0,6551	0,2658
Valor propio	3,0613	2,0936	1,8667
Variación (%)	34.01	23.26	20.74
Variación propio (%)	34.01	57.27	78.02

Las características que más contribuyeron para el componente 1 (Tabla 4.14 y Figuras 4.18 y 4.19) fueron el número de días al espigado (Esp) y la duración del llenado del grano (LG), el índice de cosecha (IC) y el rendimiento (Rend). El primer componente agrupa los genotipos de acuerdo con su fenología y su potencial de rendimiento. En este eje, los genotipos situados en el cuadrante I (a derecha de la proyección) presentan mayor valor de rendimiento e índice de cosecha. Entre ellos destacan INIAV21, INIAV16, Celta e INIAV28. En el cuadrante II (a la izquierda de la proyección) se encuentran los genotipos INIAV2 e INIAV3, como aquellos que tienen el espigado más tardío. Contrariamente, en el cuadrante IV se encuentra el genotipo con el llenado del grano más largo, INIAV6. Podemos aún concluir que los genotipos con el periodo del llenado del grano más largo son los que presentan menor número de días al espigado y vice-versa.

El número de granos m⁻² (Gr/m²) y el rendimiento (Rend) fueron las características que más influencia presentaron sobre la componente 2 (Tabla 4.14 y Figura 4.19). Este segundo eje separa los genotipos de acuerdo con los componentes del rendimiento pudiéndose afirmar que, con la escala utilizada, el número de granos por metro cuadrado es inversamente proporcional al peso del grano. En este caso destacan INIAV19 como el genotipo con el peso de 1000 granos más elevado e INIAV16, INIAV17, INIAV20, INIAV21, INIAV28 y Celta como los que presentaron el mayor número de granos por m².

Las características que más han contribuido para el componente 3 (Tabla 4.14 y Figuras 4.20 y 4.21) son la altura de las plantas (Alt) y el peso 1000 granos (PMG). Aquí aparecen los genotipos INIAV26 e INIAV19, como aquellos que presentaron un elevado peso de 1000 granos, siendo INIAV26 uno de los más altos. Todos los genotipos incluidos en este estudio presentaron por tanto diferenciación entre ellos, ya que poseen variabilidad tanto

fenotípica como agronómica. Las proyecciones de los 30 genotipos en el plano definido por las 3 componentes principales confirman algunos de los resultados anteriormente discutidos.

4.5.4.2 MÉTODO DE AGLOMERACIÓN

En la Figura 4.22 se puede observar el dendrograma basado en los valores de la matriz euclidiana. Según Mohammadi y Prasanna (2003), la distancia euclidiana es el coeficiente estadístico más usado para estimar la distancia genética (DG) entre Unidades Taxonomicas Operativas (UTO) (genotipos o poblaciones) en datos morfológicos. La correlación cofonética de los dendogramas o es igual a la euclidiana, $r=0,749$ (caso de la matriz de distancias), o es inferior, como es el caso del dendrograma basado en la matriz de coeficientes de correlación. En esta última, el coeficiente de correlación cofonético es casi el mismo ($r=0,743$) (Rohlf, 1997), revelando la existencia de un buen ajuste entre la matriz de coeficientes de correlación de los genotipos y la matriz de los valores cofonéticos.

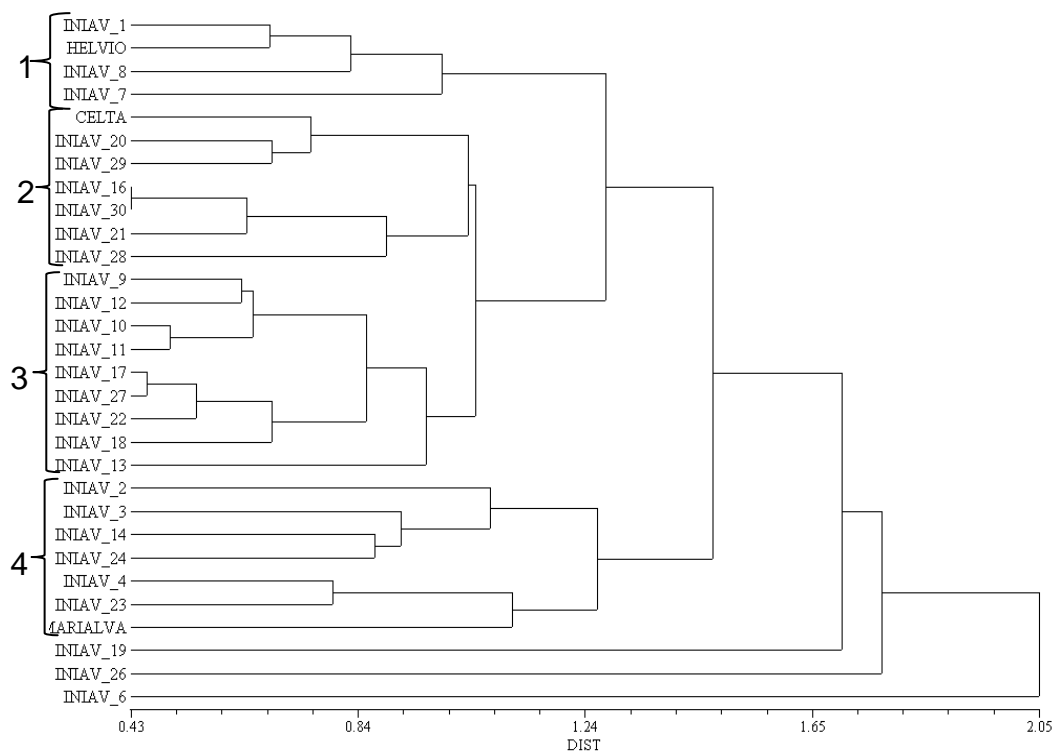


Figura 4.22. Dendrograma basado en el análisis de los valores de la matriz de distancias euclidianas, obtenido usando el método UPGMA.

El dendrograma sugiere la formación de 4 grupos principales bien definidos. En el grupo 1 se encuentran los genotipos (INIAV1, Helvio, INIAV8 e INIAV7) los que tienen más número de días de llenado del grano, en el grupo 2 encontramos el (Celta, INIAV20, INIAV29, INIAV16, INIAV30, INIAV21 e INIAV28) los más productivos, en el grupo 3 tenemos el (INIAV9,

INIAV12, INIAV10, INIAV11, INIAV17, INIAV27) los que tienen más biomasa y en el grupo 4 se incluyen el (INIAV2, INIAV3, INIAV4, INIAV14, INIAV23, INIAV24 y Marialva) mayor número de días al espigado y a la antesis. En el dendrograma podemos aún distinguir los genotipos INIAV19, INIAV26 y INIAV6, por su mayor PMG, mayor altura y mayor duración del llenado del grano, respectivamente.

4.6 CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD TECNOLÓGICA

La calidad de un trigo se define como la capacidad de respuesta a las exigencias tecnológicas, la cual depende del genotipo, de las condiciones culturales y ambientales como de la interacción genotipo x ambiente (Li *et al.*, 2013; Kaya y Akcura, 2014). La calidad del trigo duro está relacionada con la evolución tecnológica, el gusto de los consumidores, la utilización del producto final, la cultura de cada país, así como por todo el conjunto de normativas comunitarias que definen actualmente los diferentes niveles de calidad para el trigo duro (Igrejas, 2000).

La calidad del grano es un factor influido por la cantidad de proteína bien como por la calidad de esa proteína (Li *et al.*, 2013). El contenido de proteína del trigo varía ampliamente, del 8 al 17% en la m.s. El contenido de proteína está ligado al genotipo, cuya heritabilidad se estima en 0,70 (Suprayogi *et al.*, 2009), dependiendo también del ambiente, o por la fertilidad del suelo e por la fertilización nitrogenada (Tolbert, 2004; Bouacha *et al.*, 2014).

4.6.1 PROTEÍNA, SDS Y PESO HECTOLITRO

En la Tabla 4.15 se muestra el resultado del análisis de varianza para la proteína en el grano, SDS y peso del hectolitro (kg HI^{-1}). Las variables año de estudio, genotipo así como la interacción entre ellas influyeron significativamente ($P < 0,001$) en los valores de las mismas y ($P < 0,01$) para las variables genotipo así como la interacción en la proteína y la interacción para SDS.

Tabla 4.15. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) del la Proteína en el grano (%), SDS (mm) y peso del hectolitro (kg HI^{-1}) en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones mediterráneas.

	g.l.	Proteína m.s. (%)	SDS (mm)	Peso hectolitro (kg HI^{-1})
Año	1	352,93 ***	10,67**	91,40***
Genotipo	29	1,98 **	3,12***	7,85***
Año x Genotipo	29	1,85 **	1,76**	4,11***

,* Significación a un 0,01 y 0,001 nivel de probabilidad respectivamente n=240

Como se sabe el nitrógeno es un macronutriente con una enorme influencia en el contenido proteico del grano del trigo, ya que es el principal componente de la proteína (Maçãs y Gomes, 2004; Clarke *et al.*, 2005). Varios autores (Oury *et al.*, 2003; Oury y Godin, 2007)

constataron la existencia de una correlación negativa existente entre la producción y la cantidad de proteína del grano, ya que en este tipo de ambientes todos los factores que llevan a un aumento rápido de la senescencia foliar, provocan una disminución en la síntesis de carbohidratos y a un aumento de la proteína disponible para el grano.

En la Tabla 4.16 se presentan los valores medios y los límites de variación para cada parámetro tecnológico en los dos años 2011/12 y 2012/13. Se observa que a nivel de la calidad semolera el año 2011/12 fue significativamente superior que el 2012/13.

En este estudio el rango de valores referentes a la proteína del grano se situaron entre los 10,4 y los 14,6%. La media del año 2011/12 fue de 13,5%, siendo en el año 2012/13 de 11,5% (Tabla 4.16). En el año 2011/12, los genotipos que mayor valor de proteína tuvieron fueron Marialva (14,7%), INIAV30 (14,2%), INIAV22 (14,2%) e INIAV9 (14,1%). Los que tuvieron el valor más bajo ese año fueron INIAV2 (12,5%), INIAV14 (12,7%) e INIAV24 (12,4%). En el año 2012/13 los genotipos que tuvieron mayores valores de proteína fueron INIAV19 (12,9%), INIAV24 (12,9%), Marialva (12,4%) e INIAV12 (12,3%). INIAV28 (10,4%), INIAV4 (10,5%) e INIAV16 (10,5%) fueron, los que obtuvieron los valores más bajos de proteína (Figura 4.23).

Tabla 4.16. Media, límites de variación y resumen del análisis de variancia para cada local, de los diferentes parámetros de calidad tecnológica para los 30 genotipos estudiados durante los dos años 2011/12 y 2012/13 en condiciones mediterráneas.

Parámetros	2011/12	2012/13
	EMP	Comenda
Proteína M.S. (%)	13,6ns 11,3 – 15,5	11,5ns 9,6 – 14,0
Vitrosidad (%)	98,0ns 80,0 – 100,0	80,0*** 40,0 – 99,0
Peso hectolitro (kg HI ⁻¹)	81,60*** 77,01 – 84,02	83,09*** 77,81 – 85,70
SDS	38,67ns 20,00 – 58,00	33,76*** 20,00 – 49,00
Índice de amarillos (PCI)	88,12* 86,56 – 89,42	85,67ns 81,10 – 89,30
L*	85,10*** 85,99 – 83,84	82,78ns 84,40 – 80,40
a*	-1,21*** 0,02 – -1,77	-0,91ns 0,40 – -1,30
b*	22,90*** 15,67 – 25,18	21,70*** 17,00 – 24,50
Índice de gluten (IG)	50,80*** 30,00 – 74,00	63,63*** 46,00 – 84,00
Cenizas (%)	1,6*** 1,4 – 2,0	1,7*** 1,3 – 2,0
Rendimiento en sémola (%)	55,0ns 49,4 – 60,5	50,9ns 43,0 – 57,4
Abono Nitrogenado UN.ha ⁻¹	30+69+54=153	30+92=122
Fecha de siembra	07/12/2011	28/11/2012

ns no significativo ***, Significación de las diferencias entre los genotipos en cada local para un nivel de probabilidad 0,001 n = 120

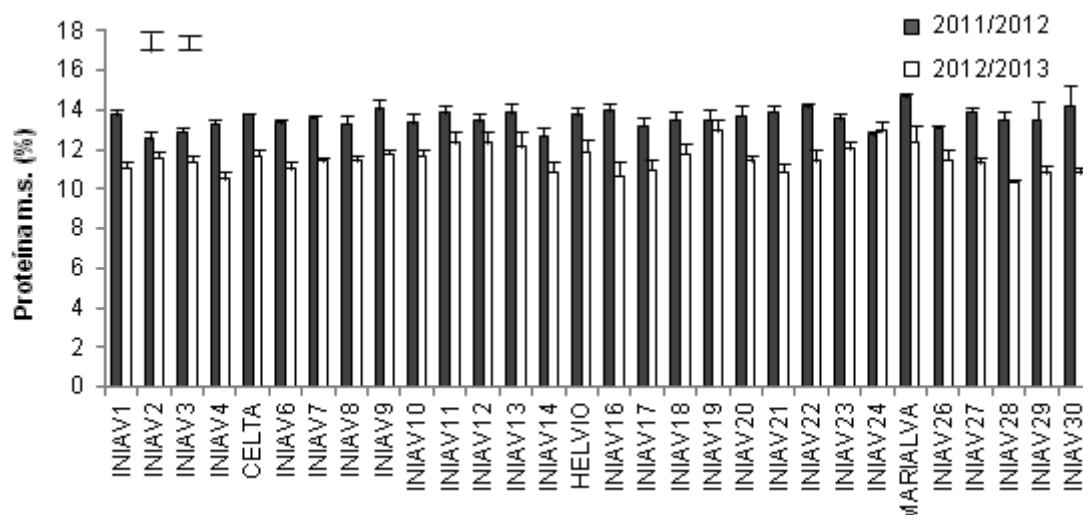


Figura 4.23. Proteína m.s. (%) de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

Los parámetros asociados con la fuerza del gluten permiten determinar indirectamente el resultado de la interacción entre gliadinas y gluteninas al formar el gluten. La manera más rápida de determinar la fuerza del gluten en pequeñas muestras de grano es el método de sedimentación con SDS, que determina de manera muy general las propiedades de hidratación y el grado de expansión de las proteínas, particularmente de las gluteninas las cuales se relacionan con la pureza y la extensibilidad del gluten (Gupta *et al.*, 1993; Dupont *et al.*, 2008).

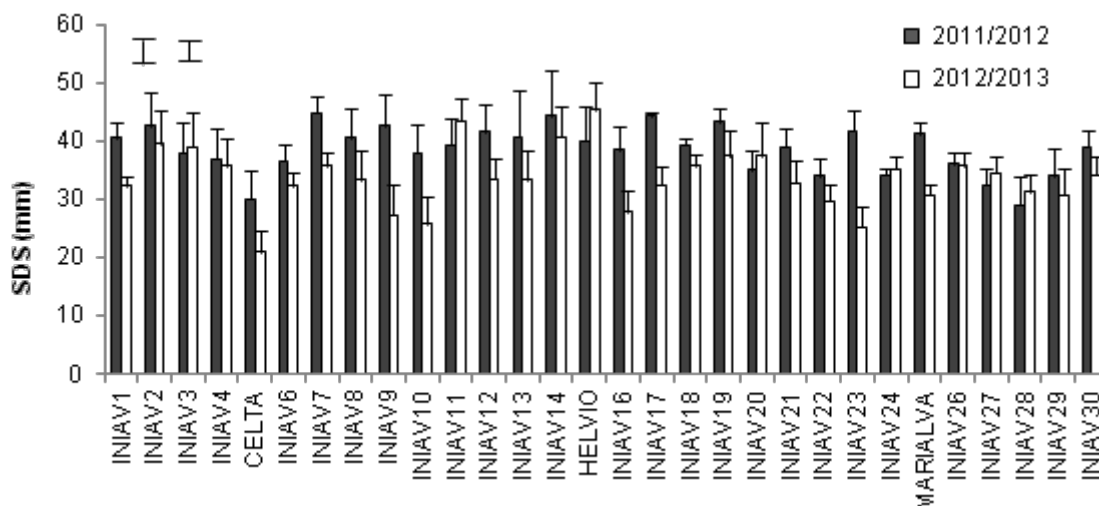


Figura 4.24. SDS (mm) de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

La media del SDS en el año 2011/12 fue de 38,6 mm y en 2012/13 de 33,6 mm. Este parámetro está correlacionado con la proteína del grano (Tabla 4.15) por lo que los valores obtenidos están en consonancia con los de la proteína en los dos años del estudio. En 2011/12 los genotipos que presentaron mayores valores de SDS fueron INIAV7 (44,8 mm), INIAV14 (44,3 mm) e INIAV17 (44,3 mm), mientras que INIAV28 (29,0 mm) y Celta (30,0 mm) fueron los que presentaron los valores menores. En 2012/13 Hélio (45,3 mm), INIAV11 (43,5 mm) e INIAV14 (40,8 mm), fueron aquellos que tuvieron los valores más elevados, mientras que Celta (21,0 mm), INIAV23 (25,3 mm), INIAV10 (25,8 mm) e INIAV16 (27,8 mm) presentaron los valores más bajos. El genotipo INIAV14 se destacó como el genotipo que presentó valores superiores a la media en los dos años mientras que Celta mostró los valores inferiores (Figura 4.24).

Es bien sabido que el peso del hectolitro es el mejor índice de calidad del trigo, hasta tal punto que ya, tradicionalmente, los buenos compradores adquirían el trigo al peso. El peso hectolitro es un indicador de manejo adecuado y está relacionado con el rendimiento industrial de semolina (López-Bellido, 1991; Nuñez, 2003). De hecho, valores de peso hectolitro altos suelen estar bonificados económicamente por parte de la industria.

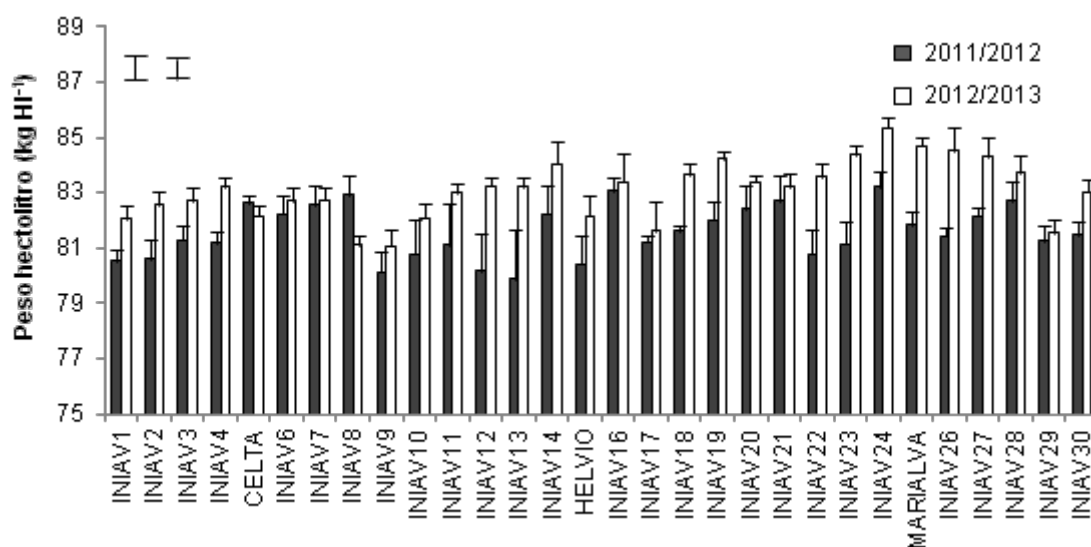


Figura 4.25. Peso del hectolitro (kg HI^{-1}) de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

En la Figura 4.25 se presentan los valores relativos al peso del hectolitro de los 30 genotipos utilizados a lo largo de los dos años de estudio. Los valores encontrados fueron más elevados en 2012/13 con una media del ensayo de $83,09 \text{ kg HI}^{-1}$, siendo de $81,60 \text{ kg HI}^{-1}$ la media general en el año 2011/12. En la Tabla 4.14 se verifica el efecto significativo del año en este parámetro, como también del genotipo existiendo diferencias significativas entre los diferentes genotipos utilizados. A pesar de todo, los valores fueron bastante elevados en

2011/12 en el que los genotipos INIAV24 (83,22 kg HI⁻¹), INIAV16 (83,06 kg HI⁻¹), INIAV8 (82,94 kg HI⁻¹) e INIAV28 (82,71 kg HI⁻¹) e INIAV13 (79,89 kg HI⁻¹), Hélio (80,43 kg HI⁻¹) e INIAV1 (80,53 kg HI⁻¹) los que tuvieron valores más bajos, aunque encontrándose dentro de los valores adecuados para la valorización comercial del trigo duro. En 2012/13 Marialva (84,69 kg HI⁻¹), INIAV26 (84,51 kg HI⁻¹) e INIAV27 (84,29 kg HI⁻¹) destacaron como los genotipos que obtuvieron mayores pesos hectolitros e INIAV9 (81,06 kg.hI⁻¹), INIAV8 (81,11 kg.hI⁻¹) e INIAV29 (81,55 kg.hI⁻¹) los que tuvieron valores inferiores ese año.

4.6.2 RENDIMIENTO EN SÉMOLA, VITROSIDAD Y CENIZAS

En la Tabla 4.17 se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA) para el rendimiento en sémola, vitrosidad del grano y cenizas, en el que las variables año de estudio, genotipo (excepto para el rendimiento en sémola) y la interacción entre ellas influyeron significativamente ($P < 0,05$) en las mismas.

Tabla 4.17. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) del Rendimiento en sémola, vitrosidad del grano y cenizas en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones mediterráneas.

	g.l.	Rendimiento en sémola (%)	Vitrosidad del grano (%)	Cenizas (%)
Año	1	9,48 *	46,66***	34,20***
Genotipo	29	1,44 ns	2,25***	1,82***
Año x Genotipo	29	1,64 *	2,77***	1,12 ns

ns no significativo *, *** significación a un 0,05 y 0,001 nivel de probabilidad n=240

En las Figuras 4.26 y 4.27 se representan el comportamiento a lo largo de los dos años de estudio de los 30 genotipos en relación a su rendimiento en sémola y a la vitrosidad del grano. Podemos verificar que ambos parámetros de calidad fueron significativamente más elevados en el año 2011/12, el año más seco pero con un periodo de llenado del grano con mejor reparto de la humedad. Estos dos parámetros, al estar directamente correlacionados entre ellos y a su vez con la proteína del grano, corroboran las diferencias existentes entre los dos años, estando los resultados de acuerdo con Ercoli *et al.* (2014).

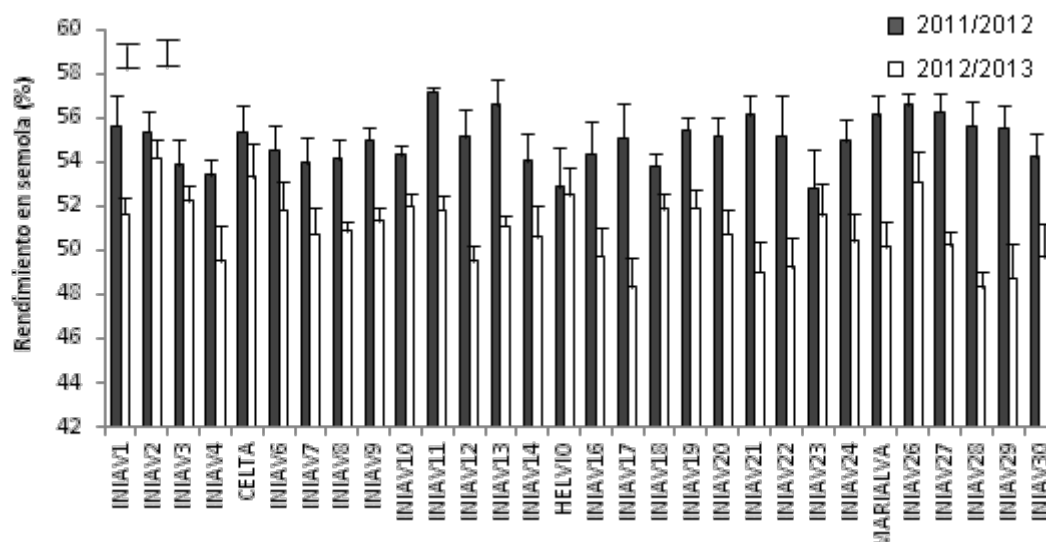


Figura 4.26. Rendimiento en sémola (%) de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

Los genotipos que obtuvieron un mayor rendimiento en sémola en el año 2011/12 (Figura 4.26) fueron respectivamente INIAV11 (57,2%), INIAV13 (56,6%) e INIAV26 (56,6%). Los que produjeron valores más bajos fueron INIAV23 (52,9%), Hélió (52,9%) e INIAV4 (53,4%). La media del ensayo en 2011/12 fue de 54,9% y de 50,9% en 2012/13. En 2012/13 los valores en rendimiento en sémola fueron más bajos, siendo los genotipos con mayores rendimientos el INIAV2 (54,2%), Celta (53,3%) e INIAV26 (53,1%). Ese año los genotipos que obtuvieron valores más bajos fueron INIAV17 (48,4%) e INIAV28 (48,4%).

En relación con la vitrosidad, los valores fueron significativamente más elevados en 2011/12 que en 2012/13, estando la media del ensayo en 97,1%. Los genotipos que mayores valores obtuvieron fueron INIAV11 (99,5%), INIAV3 (99,3%) e INIAV9 (99,3%) (Figura 4.27). En 2011/12 sólo seis de las 30 líneas estuvieron por debajo de la media general del ensayo, siendo INIAV14 (93,8%) el que obtuvo el valor más bajo. En el año 2012/13 la media general del ensayo fue de 79,5% influida, principalmente, por la climatología, que parece haber provocado un efecto de dilución del nitrógeno debido fundamentalmente, a la gran cantidad de lluvia acaecida hasta el mes de marzo, faltando al final del ciclo, lo que repercutió en los parámetros de calidad, en consonancia con numerosos trabajos (Carson y Edwards, 2009; Li et al., 2013; Kong et al., 2013; Rozbicki et al., 2015) que comprobaron la gran influencia del ambiente en la calidad del grano del trigo. Los genotipos con valores más elevados de vitrosidad ese año fueron INIAV11 (91,5%), INIAV13 (87,5%) e INIAV18 (87,0%).

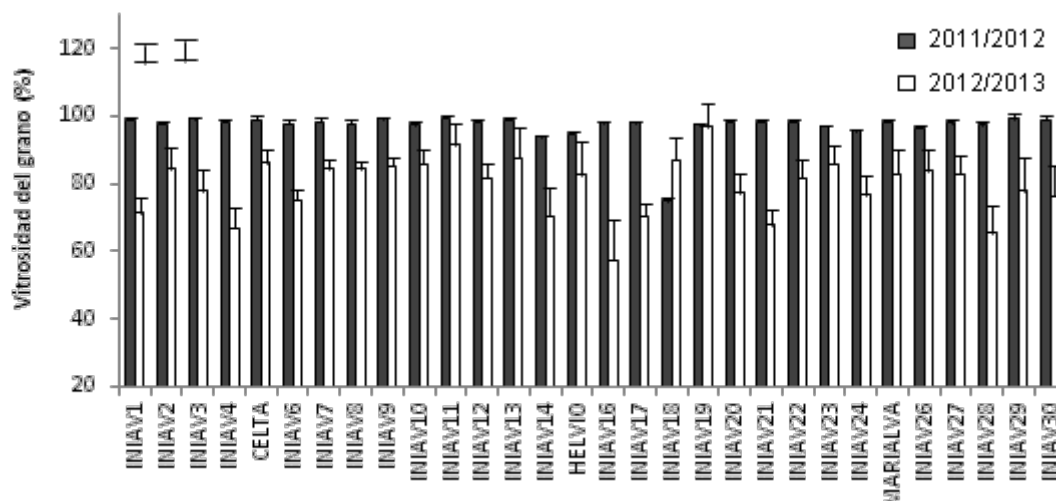


Figura 4.27. Vitrosidad del grano (%) de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

En la Figura 4.28 se representan los valores referentes a las cenizas del grano en las campañas 2011/12 y 2012/13 del grupo de germoplasma estudiado. Los genotipos que obtuvieron los valores más bajos en 2011/12, una vez que las cenizas se cotizan por el valor más bajo, fueron INIAV14 (1,48%), INIAV12 (1,53%), INIAV23 (1,55%), siendo INIAV29 (1,71%) e INIAV1 (1,71%) aquellos que presentaron los valores más elevados. El año 2012/13 los genotipos que tuvieron menor porcentaje de cenizas en el grano fueron INIAV20 (1,61%), INIAV27 (1,66%) e INIAV2 (1,66%). El testigo Marialva (1,88%), INIAV6 (1,87%) e INIAV19 (1,86%) presentaron los valores más elevados en esa campaña. Los valores encontrados se pueden atribuir tanto a las diferencias entre los genotipos, a las condiciones ambientales (temperatura y efecto suelo), como también a la fertilización empleada, estando estos valores de acuerdo con trabajos efectuados por Rozbicki *et al.* (2015) quienes concluyeron que existe un pequeño impacto del genotipo y grandes efectos del año y de la interacción genotipo por ambiente sobre la composición de los metabolitos y la calidad del grano de trigo.

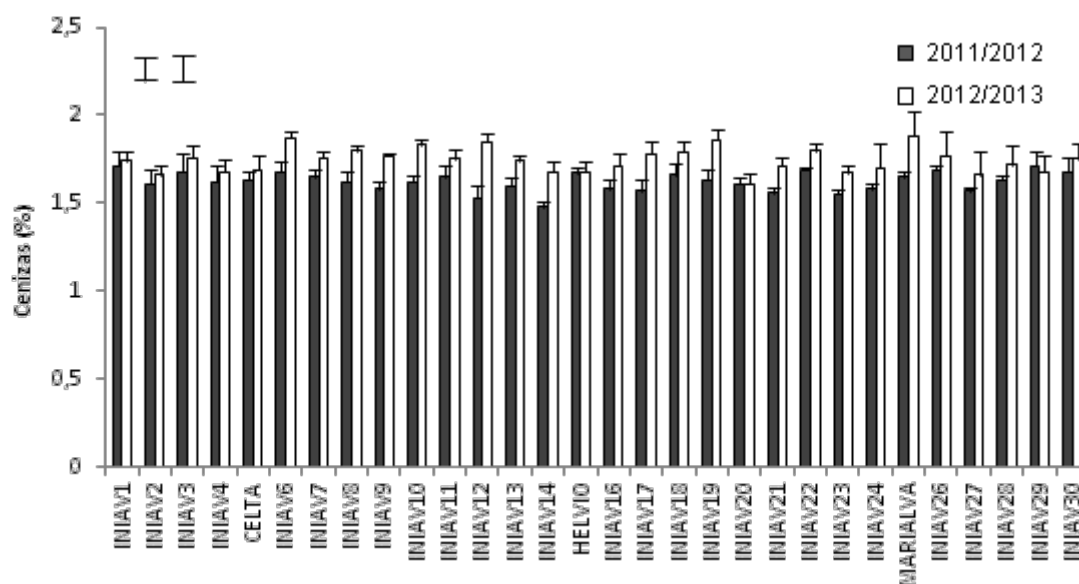


Figura 4.28. Porcentaje de cenizas en el grano de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

El porcentaje de cenizas es un índice que refleja la pureza de las sémolas (Marquez, 1997) y representan el porcentaje de sales minerales presentes en el grano, concentradas fundamentalmente en la parte externa del mismo. Del porcentaje de cenizas en el grano dependerá el rendimiento en sémolas ya que el contenido de sémola es mayor cuando el contenido de cenizas es más bajo (Halverson y Zeleny, 1988). Además, el contenido de cenizas en los granos maduros es generalmente mayor en las condiciones de sequía que en las condiciones adecuadas de humedad (Kottmann *et al.*, 2014), aunque el estrés por sequía afecta a la removilización en menor medida de lo que afecta a la fotosíntesis y a la translocación de minerales de órganos vegetativos al grano (Wardlaw *et al.*, 2002). Con los resultados obtenidos con los genotipos estudiados constatamos el incremento de los valores del año 2011/12 (1,62%) al 2012/13 (1,74%). Este resultado se debió fundamentalmente a las condiciones ambientales verificadas a lo largo del llenado del grano en los dos años del estudio. El efecto de la precipitación en primavera en 2012/13, pudo haber sido un factor importante en esta diferencia en el porcentaje de cenizas, como también la temperatura y la fertilización nitrogenada que se empleó en cada año.

4.6.3 ÍNDICES DE COLOR: L*, a*, b* E ÍNDICES DE AMARILLOS

El color es un carácter de calidad de gran importancia en trigo duro. Este cereal es utilizado en la elaboración de pastas secas (por ejemplo vermicelli, spaghetti y macarroni) y frescas. El color amarillo brillante, requerido en los granos y productos de pasta, es el resultado

de la presencia de pigmentos carotenoides del tipo xantófilas y su degradación por enzimas oxidativas, como lipoxigenasas (LPX), peroxidases (POD) y polifenol oxidasas (PPO) (Borrelli *et al.*, 2008). Los pigmentos carotenoides y el color amarillo son caracteres cuantitativos que muestran, en la mayoría de los casos, una herencia transgresiva bidireccional, con evidencias de interacción genotipo-ambiente. Son altamente heredables y están controlados por más de un gen, con un efecto predominantemente aditivo (Taghouti *et al.*, 2010; Roncallo *et al.*, 2012).

En la Tabla 4.18 se presenta el resultado de la ANOVA para los índices L*, a*, b* y el PCI. La variable año de estudio influyó significativamente ($P < 0,001$) en todos los índices estudiados. La variable genotipo influyó significativamente ($P < 0,05$) en los índices a* y b* e índice de amarillos, no presentando ningún efecto significativo para el índice L*.

Tabla 4.18. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) de los Índices L*, a*, b* y el índice de amarillos (PCI) en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones mediterráneas.

	g.l.	L*	a*	b*	Índice de amarillos (PCI)
Año	1	116,20 ***	20,69 ***	10,96 ***	138,67 ***
Genotipo	29	1,41 ns	4,03 ***	5,62 ***	1,81 *
Año x Genotipo	29	0,67 ns	0,53 ns	0,49 ns	0,64 ns

ns no significativo *, *** Significación a un 0,05 y 0,001 nivel de probabilidad respectivamente n=240

La literatura existente acerca del efecto del ambiente sobre la concentración de pigmentos en trigo no es demasiado clara. En general, se han observado mayores concentraciones en el grano en estaciones frías con alta humedad que en condiciones cálidas y secas. También se han obtenido contenidos más elevados de pigmentos en cultivos bajo riego que en cultivos de secano (Güller, 2003; Roncallo *et al.*, 2012).

El estrés ambiental, causado por déficit hídrico o altas temperaturas durante diferentes etapas del llenado del grano podría afectar la concentración y composición de los pigmentos. Sin embargo, en otros estudios se observó que la concentración de pigmentos durante el periodo de llenado del grano tiene una correlación positiva, pero débil, con la temperatura media y negativa con la precipitación (Clarke *et al.*, 2006). En general, tanto el peso del hectolitro como el peso de mil granos se correlacionan negativamente con la concentración de pigmentos, probablemente debido a un efecto de dilución por el incremento de otros constituyentes del grano (Clarke *et al.*, 2006), estando los resultados obtenidos en este estudio de acuerdo con estos autores.

En la Figura 4.29 se presentan los valores referentes al índice L* del Minolta en las campañas 2011/12 y 2012/13 del grupo de germoplasma estudiado. Los resultados obtenidos constatan el incremento de los valores del año 2011/12 (85,1) respecto al 2012/13 (82,8). Los genotipos que obtuvieron los valores más bajos en 2011/12 fueron INIAV11 (80,4), INIAV19

(80,7) y Hélio (80,9), estando INIAV16 (86,0), INIAV29 (85,8) e INIAV30 (85,7) entre aquellos que presentaron los valores más elevados.

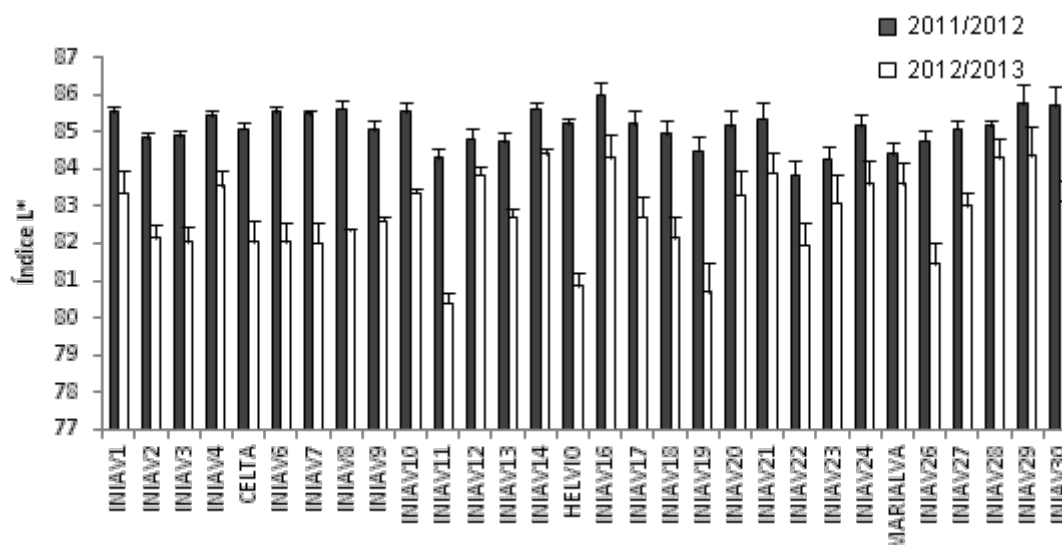


Figura 4.29. Valor del índice L* del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

La Figura 4.30 representa la información relativa al índice a* del Minolta para los dos años de estudio para cada una de las 30 genotipos estudiados. Los resultados obtenidos reflejan el mismo comportamiento que para el índice anterior a excepción del testigo Hélio que presentó un comportamiento diferente con respecto a los restantes genotipos. Este aspecto tuvo reflejo en el valor del índice de amarillos, siendo este testigo el genotipo con la media de los dos años más baja (84,7). Este aspecto corrobora lo descrito por Roncallo *et al.* (2009), el cual comprobó que estos caracteres tienen una heredabilidad elevada, evidenciando este genotipo una característica bastante baja a nivel del color para la fabricación de pastas. Destacar el genotipo INIAV14 como aquel que tiene mayor estabilidad en los valores durante los dos años del estudio (-1,6 y -1,7 respectivamente), siendo INIAV20 (-1,7) e INIAV24 (-1,8) los dos que tuvieron los valores más negativos en el año 2011/12.

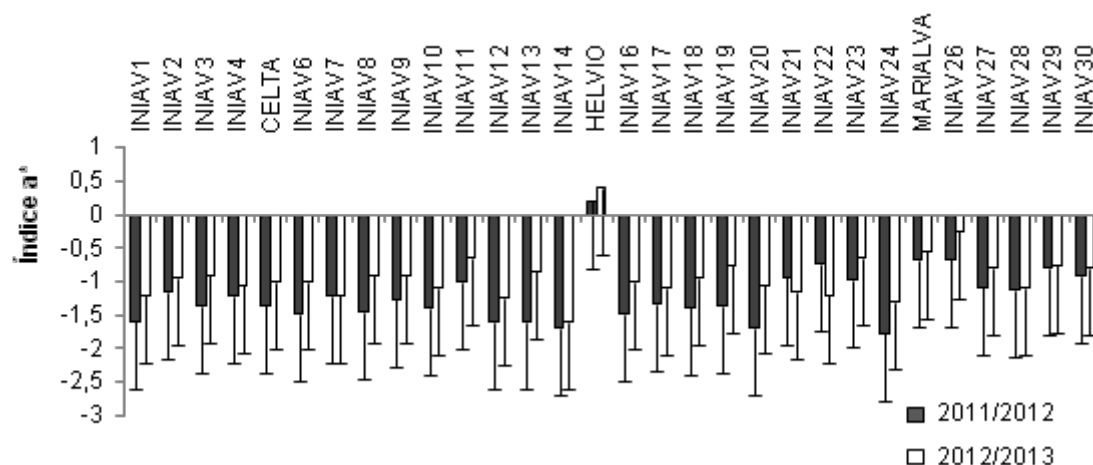


Figura 4.30. Valor del índice a* del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

En la Figura 4.31 están los valores del índice b* indicador del color amarillo de la sémola, el otro componente de la fórmula de cálculo del PCI. Se constata también un ligero incremento de los valores en el año 2011/12 en relación al año 2012/13. Los genotipos con mayores valores en 2011/12 fueron INIAV19 (25,18), INIAV13 (25,11) e INIAV6 (24,73), siendo Hélio (15,67), INIAV29 (18,55) e INIAV30 (19,50) los que presentaron los valores más bajos. En 2012/13, INIAV8 (24,50), INIAV14 (24,40) e INIAV6 (24,15) fueron aquellos genotipos que obtuvieron los valores más elevados, mientras que Hélio (17,00), INIAV30 (17,80) e INIAV26 (19,10) los de valores inferiores.

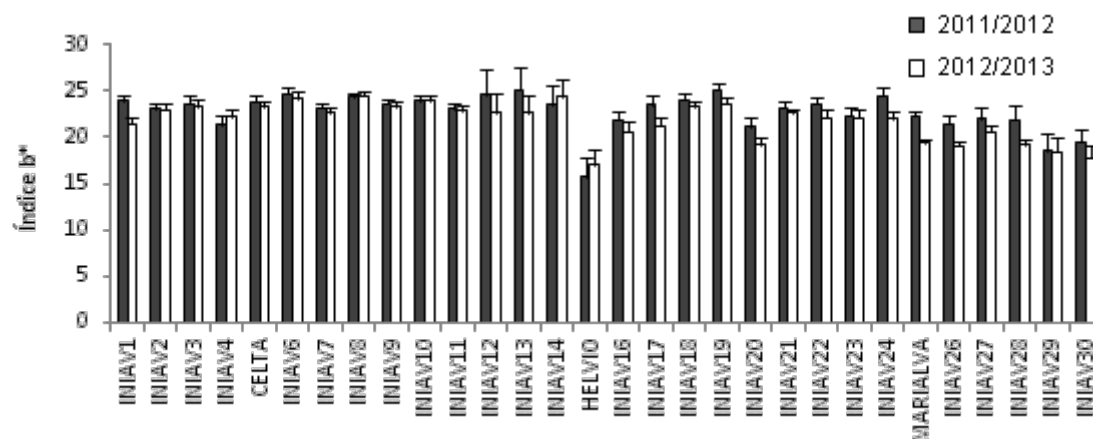


Figura 4.31. Valor del índice b* del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

La Figura 4.32 presenta los valores obtenidos en los dos años del estudio para el índice de amarillos (PCI), parámetro tecnológico con gran importancia en la industria semolera ya que nos indica el valor semolero real de los diferentes genotipos. De los valores obtenidos

verificamos el ligero incremento de los valores en 2011/12, año excelente para la calidad de los diferentes genotipos estudiados. Los genotipos que presentaron un valor más elevado del PCI en 2011/12 fueron INIAV6 (89,0), INIAV8 (89,0) e INIAV1 (88,9), siendo Hélio (86,7) e INIAV22 (87,1) los que presentaron valores inferiores. En 2012/13, INIAV14 (87,9), INIAV21 (87,0) e INIAV12 (86,9) fueron los que tuvieron valores más elevados y Hélio (82,7), INIAV11 (83,6) e INIAV26 (83,7) más bajos. En cuanto al año medio, los genotipos que presentaron los valores más elevados de PCI fueron INIAV14 (88,3), INIAV10 (87,8), INIAV16 (87,6), INIAV21 (87,7) e INIAV12 (87,6), encontrándose el primer testigo, Celta (86,8) en la 19ª posición. Este aspecto nos indica como las líneas avanzadas empleadas en este estudio evidencian un importante incremento en cuanto al contenido en pigmentos.

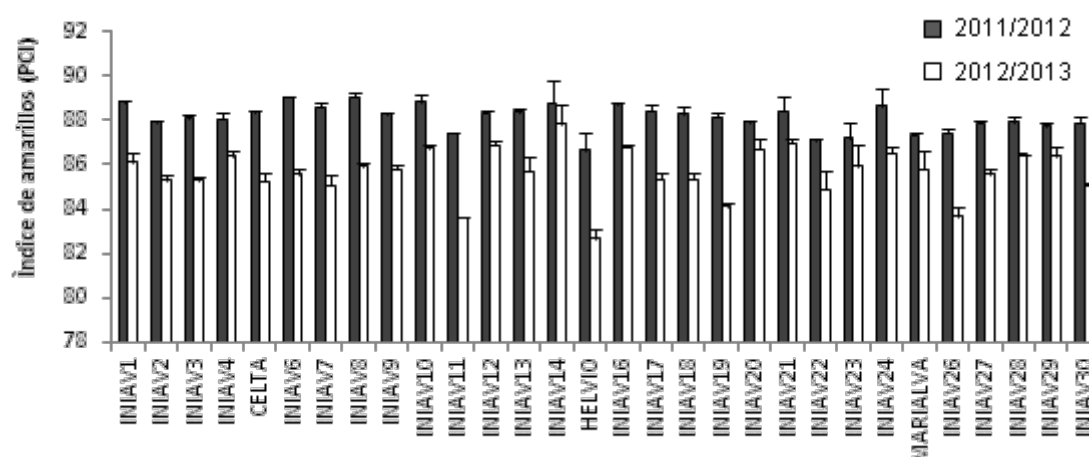


Figura 4.32. Valor del Índice de amarillos del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar.

4.6.4 ÍNDICE DE GLUTEN

En la Tabla 4.19 se muestra el resultado del análisis de varianza para el índice de Gluten (IG). Las variables: año de estudio, genotipo así como la interacción entre ellas influyeron significativamente ($P < 0,001$) para este parámetro tecnológico.

Tabla 4.19. ANOVA (g.l. grados de libertad y estadístico F) del Índice de gluten (IG) en los años agrícolas 2011/12 y 2012/13 bajo condiciones mediterráneas.

	g.l.	Índice de Gluten (IG)
Año	1	609,63***
Genotipo	29	38,91***
Año x Genotipo	29	13,07***

*** Significación a un 0,001 nivel de probabilidad n=240

Gluten es el nombre genérico dado al conjunto de proteínas insolubles del trigo. Las propiedades del gluten han sido identificadas como un factor esencial de la calidad de cocción

de la pasta (Marchylo *et al.*, 2004; Sissons *et al.*, 2005). Su elasticidad es uno de los requerimientos principales para que los fideos mantengan su forma durante el secado y la pasta resista la sobrecocción. Con la determinación del gluten de forma mecánica se obtiene el IG, que es un excelente método para evaluar su fuerza, ya sea de la harina integral como de la sémola y, además, está fuertemente correlacionado con la determinación manual de la calidad del gluten. Cubadda *et al.* (1992) han clasificado el trigo duro en función del IG en siete clases de gluten, desde inapropiado con $IG < 22$ hasta excelente con $IG > 80$.

La media del año 2012/13 fue de 63,4 y en 2011/12 de 50,6. En 2011/12, Hélio (73,5), INIAV14 (67,0) e INIAV17 (65,0) fueron los que presentaron IG más elevados, siendo Celta (18,0), INIAV21 (31,0) e INIAV23 (40,0) los que obtuvieron los valores más bajos. Los genotipos que tuvieron valores más elevados en 2012/13 fueron INIAV17 (83,5), INIAV3 (79,5), INIAV1 (78,5), siendo INIAV23 (48,0), INIAV20 (48,5) e INIAV10 (51,5) los de IG más bajo. Según la clasificación definida por Cubadda *et al.* (1992), solamente el testigo Celta presentó un IG inapropiado (Figura 4.33).

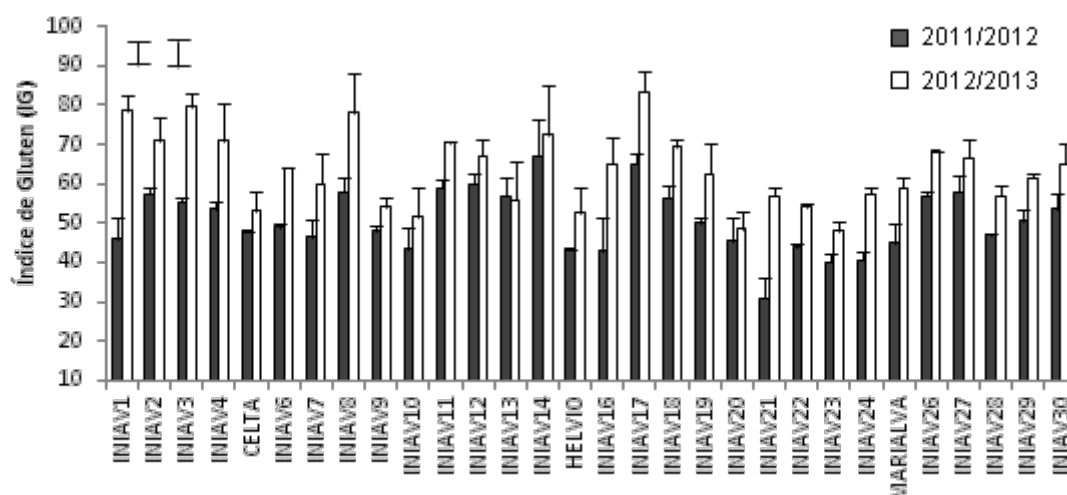


Figura 4.33. Valor del Índice de Gluten (IG) de los 30 genotipos estudiados durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13. La barra vertical de cada columna representa su error estándar. Las barras verticales de la izquierda de la figura indican la LSD para la comparación de tratamientos: la de la izquierda al mismo nivel de año, y la de la derecha a distinto nivel de año.

4.6.5 CORRELACIONES ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD TECNOLÓGICA

En la Tabla 4.20 se presentan las correlaciones efectuadas entre todos los parámetros de calidad para los 30 genotipos durante los dos años del estudio. Se puede observar que la proteína del grano estuvo positiva y altamente correlacionada con la vitrosidad estando de acuerdo con los autores (Bilgin *et al.*, 2010), el SDS, el rendimiento en sémola y el índice de amarillos, y negativa y altamente correlacionada con las cenizas, el peso hectolitro y el índice

de gluten. El rendimiento en sémola estuvo altamente correlacionado con la vitrosidad del grano estando estos datos de acuerdo con los obtenidos por Rharrabti *et al.* (2000).

Se verificó una correlación positiva entre el porcentaje de cenizas y el peso hectolitro, pero negativa con el rendimiento en sémola y el índice de amarillos. El peso hectolitro estuvo negativamente correlacionado con la vitrosidad del grano y el rendimiento en sémola. Una correlación positiva y altamente significativa se verificó entre el índice de amarillos y el índice L* y b* pero negativa con el índice a*. Se constata también una correlación negativa entre el índice L* y el índice a*, como también entre el a* y el b*. Este índice (L*), al entrar en la fórmula para la obtención del PCI, está altamente correlacionado con la vitrosidad del grano.

El IG estuvo inversamente correlacionado con la proteína, de acuerdo con los resultados obtenidos por Cubadda *et al.* (1992) y Kaya y Akcura (2014), así como con la vitrosidad del grano y el índice de amarillos (PCI), lo que originó valores más elevados en 2012/13.

Tabla 4.20. Coeficientes de correlación (r) entre los diferentes parámetros de calidad en los 30 genotipos en el año 2011/12 y 2012/13.

Características	SDS (%)	Cenizas (%)	Peso Hectolitro (kg/hl)	Vitrosidad (%)	Rendimiento en sémola (%)	IG	PCI	L **	a **	b **
Proteína (%)	0,301**	-0,238**	-0,392**	0,731**	0,556**	-0,374**	0,391**	0,346**	-0,016ns	0,216*
SDS (%)	-	-0,281**	-0,254**	0,293**	0,159*	0,086ns	0,118ns	0,072ns	-0,057ns	0,139ns
Cenizas (%)		-	0,249**	-0,187**	-0,224**	0,219*	-0,324**	-0,370**	0,194*	0,081ns
Peso Hect. (kg/Hl)			-	-0,370**	-0,336**	0,059ns	-0,221*	-0,190*	-0,008ns	-0,143ns
Vitrosidad (%)				-	0,575**	-0,372**	0,265**	0,211*	-0,012ns	0,229*
Rend. en sémola (%)					-	0,169ns	0,107ns	0,022ns	0,092ns	0,314**
IG						-	-0,426**	-0,405**	0,198*	-0,131ns
PCI							-	0,947**	-0,637**	0,305**
L **								-	-0,521**	0,009ns
a **									-	-0,416**
b **										-

ns, no significativo *, ** significación al 0,05 y 0,01 respectivamente * n=120 n=240

4.6.6 ANALISIS DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA

4.6.6.1 MÉTODO DE ORDENACIÓN (ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES – ACP)

Para conocer la variabilidad tecnológica de cada uno de estos genotipos se recurrió nuevamente al análisis de los componentes principales (ACP). En la Tabla 4.21 se pueden observar los límites de variación encontrados para las diferentes características estudiadas.

Tabla 4.21. Límites de variación observados en las características estudiadas.

Características	Mínimo	Máximo	Media	C.V. (%)
1. Peso hectolitro (PH)	80,6	84,3	82,3	1
2. Vitrosidad (Vitro.)	78,0	97,0	88,3	5
3. Proteína (Prot.)	11,8	13,6	12,5	3
4. Cenizas (Cen.)	1,6	1,8	1,7	3
5. L*	82,4	85,2	83,9	1
6. a*	-1,7	0,2	-1,1	3
7. b*	16,3	24,4	22,3	9
8. Índice de amarillos (PCI)	84,7	88,3	86,9	1
9. Índice de gluten (IG)	36,0	74,0	57,1	15
10. Rendimiento en sémola (RS)	51,0	55,0	52,9	2
11. SDS	26,0	43,0	36,2	1

En las Figuras 4.34 y 4.36 se observan, las proyecciones de los 30 genotipos en los planos definidos por los componentes 1-2 y 1-3, respectivamente. El porcentaje de variación que es explicado por los 3 primeros componentes se observa en la Tabla 4.22. Se comprueba que el primer eje es el responsable del 33,5% de la variabilidad total, mientras que el segundo es el responsable del 18,1% y el tercero del 16,2%. Estos datos muestran que los 3 primeros ejes explican el 67,9% de la variabilidad existente en este grupo de germoplasma (Tabla 4.22).

Tabla 4.22. Correlación entre las características relacionadas y los tres primeros componentes en el análisis matriz.

Características	Componentes Principales		
	1	2	3
1 Peso hectolitro (PH)	0,2687	0,2568	0,2844
2 Vitrosidad (Vitro.)	-0,7484	0,3877	-0,1604
3 Proteína (Prot.)	-0,5934	0,5063	0,1768
4 Cenizas (Cen.)	-0,4516	0,1690	-0,1197
5 L*	0,8800	-0,1107	0,2191
6 a*	-0,7078	-0,4108	0,5028
7 b*	0,1793	0,5943	-0,7257
8 Índice de amarillos (PCI)	0,8922	0,2756	-0,2380
9 Índice de gluten (IG)	-0,0618	-0,7103	-0,6019
10 Rendimiento en sémola (RS)	-0,5596	0,2625	-0,3066
11. SDS	-0,2794	-0,5551	-0,5411
Valor propio	3,6870	1,9929	1,7853
Variación (%)	33,51	18,11	16,23
Variación acumulativa (%)	33,51	51,63	67,87

Las Figuras 4.35 y 4.37 representan las proyecciones de las 10 características relacionadas con los parámetros tecnológicos determinados en los planos definidos por los componentes 1-2 y 1-3. La proyección de los autovectores indica la importancia relativa de las diferentes características en la distribución espacial de los genotipos. La contribución de cada una de ellas para la formación de los tres primeros componentes puede observarse en la Tabla 4.22, donde los valores que corresponden a las características que más influyeron en cada componente principal se resaltan en negrita y se consideran los valores de los coeficientes por su valor absoluto.

Las características que más contribuyeron para el componente 1 (Tabla 4.22 y Figuras 4.34 y 4.35) fueron: índice de amarillos (PCI), índice L*, vitrosidad (Vtro), proteína (Prot) y el rendimiento en sémola (RS). El primer componente permite separar los genotipos de acuerdo con su calidad semolera. En este eje, los genotipos situados en el cuadrante II y III (a la izquierda de la proyección) presentan los valores de vitrosidad, proteína y rendimiento en sémola más elevados, estando en el mismo eje (a la derecha de la proyección), en los cuadrantes I y IV, los genotipos con los valores más elevados de PCI e índice L*. Entre ellos se destacan los genotipos INIAV11, INIAV19 y Marialva como los que tienen contenidos en vitrosidad, proteína y rendimiento en sémola más elevados e INIAV14, INIAV16 e INIAV21, INIAV24 como aquellos que tienen el L* y PCI más elevados, respectivamente.

En cuanto a las características que más influencia presentan sobre la componente 2 (Tabla 4.22 y Figuras 4.34 y 4.35) se encuentra el índice de gluten (IG). Este segundo eje separa los genotipos de acuerdo con su rendimiento industrial. Los genotipos presentes en el cuadrante IV tienen niveles de IG más elevados, destacando el INIAV17.

La característica que más ha contribuido para la componente 3 (Tabla 4.22 y Figura 4.36 y 4.37) es el índice b*. Este componente permite separar los genotipos de acuerdo su grado de color de la sémola, pudiéndose afirmar que, el índice b*, al reflejar lo brillante y amarilla que será la pasta tras su cocción, es un indicador de gran importancia a la hora de seleccionar genotipos en los programas de mejora. En este parámetro se seleccionarían los genotipos INIAV8, INIAV6, INIAV18 e INIAV10.

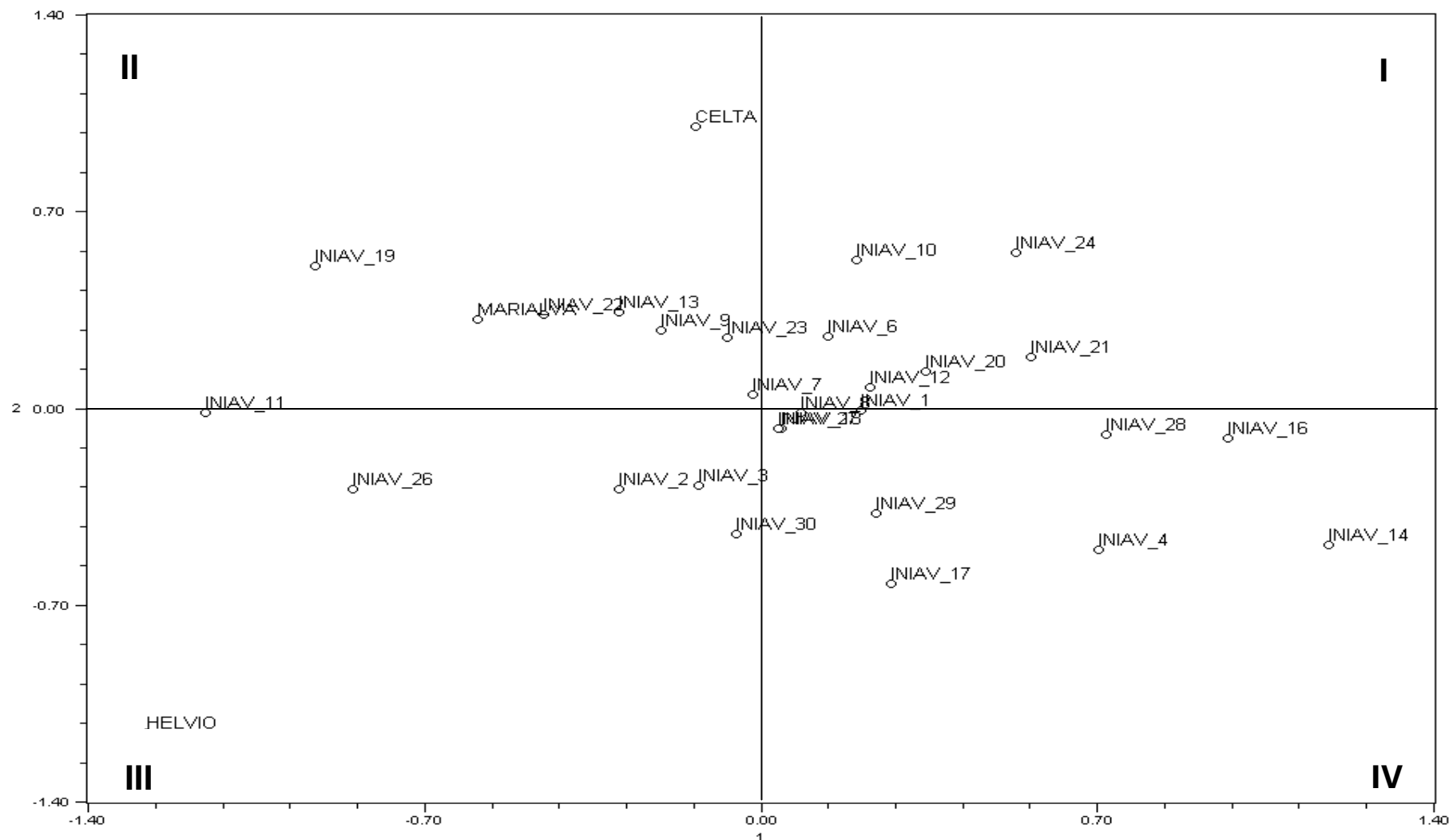


Figura 4.34. Proyección de los 30 genotipos de la matriz en el plano definido por las componentes principales 1 y 2.

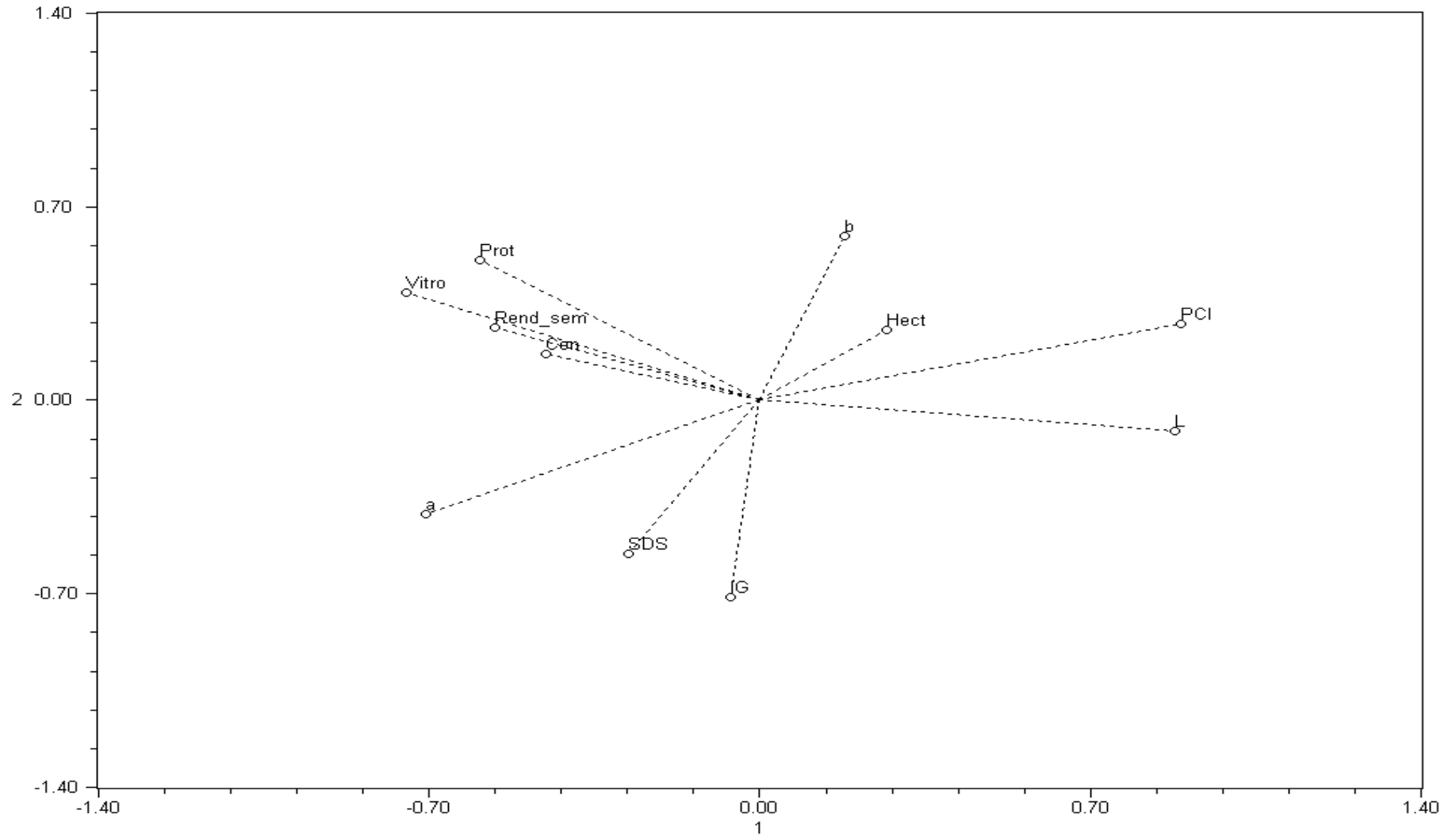


Figura 4.35. Proyección de los 30 genotipos de la matriz en el plano definido por las componentes principales 1 y 2.

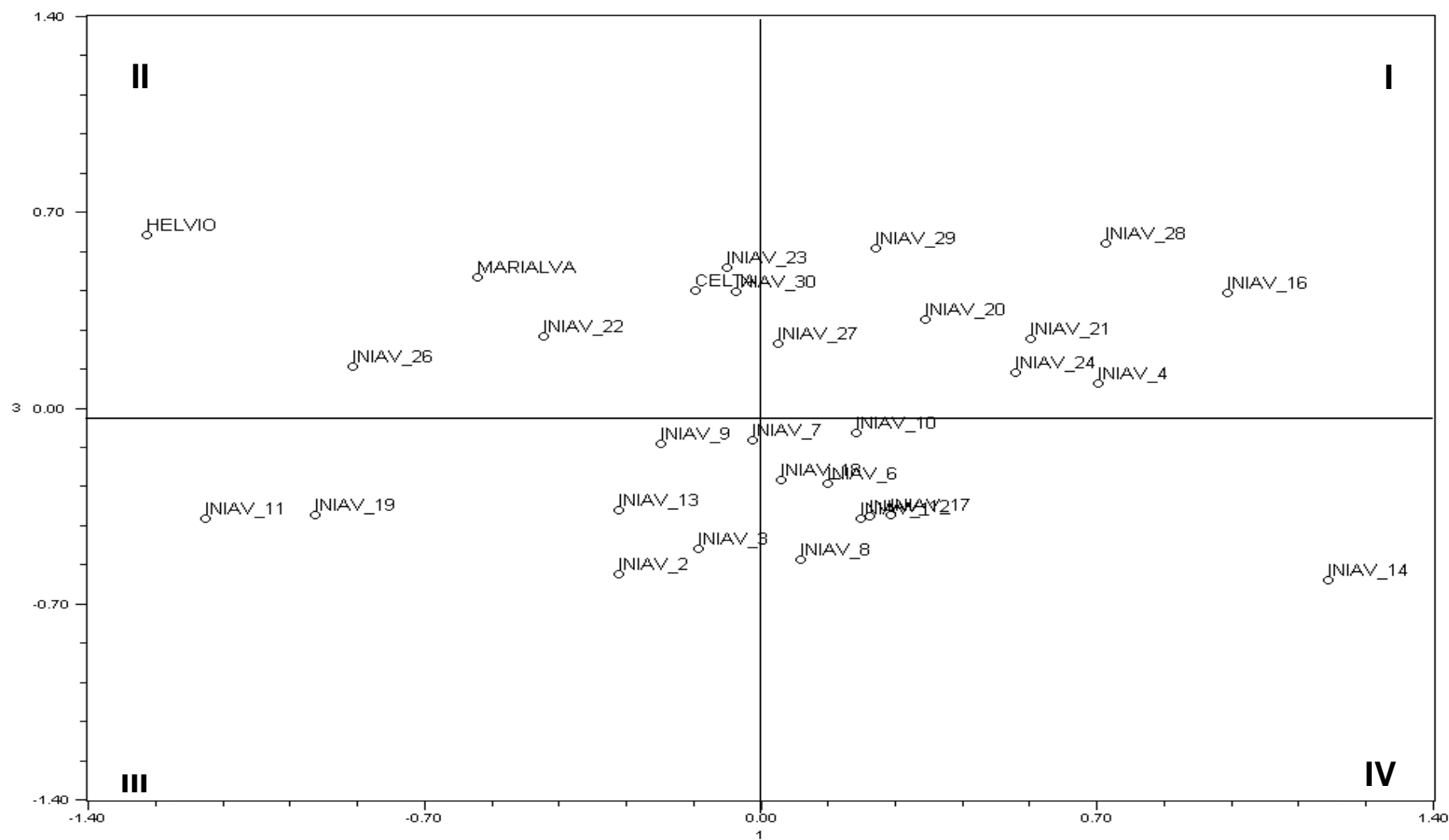


Figura 4.36. Proyección de las 10 características de la matriz en el plano definido por las componentes principales 1 y 3.

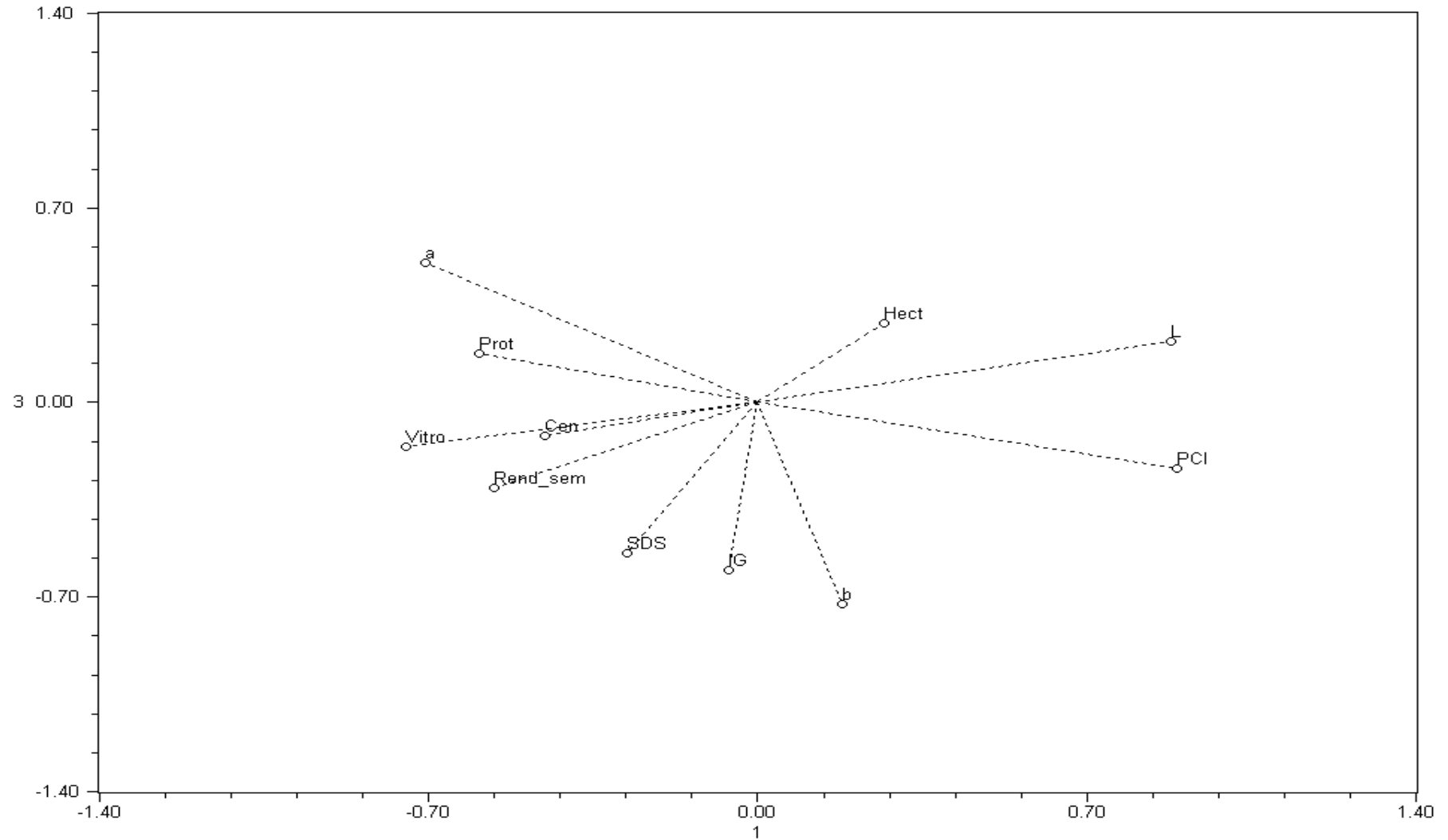


Figura 4.37. Proyección de las 10 características de la matriz en el plano definido por las componentes principales 1 y 3.

4.6.6.2 MÉTODO DE AGLOMERACIÓN

En la Figura 4.38 se puede observar el dendrograma basado en los valores de la matriz euclidiana. El coeficiente de correlación fonético es ligeramente superior al obtenido para los datos agronómicos ($r=0,80$), revelando la existencia de un grado de ajuste elevado entre la matriz de coeficientes de correlación de los genotipos y la matriz de los valores fonéticos. El dendrograma sugiere la formación de 4 grupos bien definidos.

En el grupo 1 se encuentran los genotipos INIAV1, INIAV3, INIAV6, INIAV8, INIAV18, INIAV7, INIAV12, INIAV9, INIAV13, INIAV10 e INIAV2 que tienen altos valores de IG. En el grupo 2 encontramos INIAV4, INIAV17, INIAV16 y INIAV28 (por su elevado valor de L^*), en el tercer grupo se incluyen los genotipos que tienen un elevado peso del hectolitro (INIAV29, INIAV30, INIAV20, INIAV21, INIAV24, INIAV23, INIAV27 y Celta) y en el grupo 4 donde se agrupan INIAV11, INIAV19, INIAV26, INIAV22 y Marialva por presentar elevada vitrosidad y rendimiento en sémola. El genotipo INIAV14 destaca por su elevado valor en PCI y Hélio se presenta distinto a los demás por su elevado valor de a^* y bajo valor del PCI (Figura 4.38).

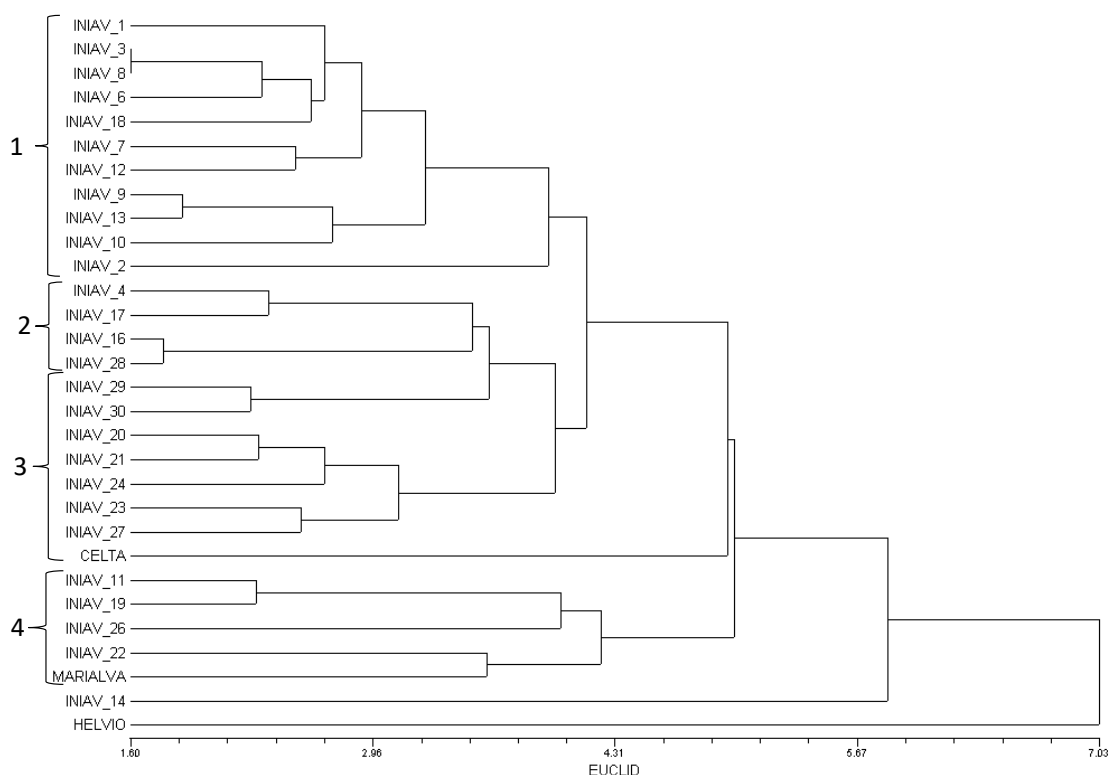


Figura 4.38. Dendrograma basado en el análisis de los valores de la matriz de distancias euclidianas, obtenido usando el método UPGMA.

En la Tabla 4.23 se presenta el comportamiento de los 30 genotipos utilizados de acuerdo con los valores medios de los años 2011/12 y 2012/13 para algunos de los parámetros agronómicos y tecnológicos determinados, teniendo como referencia los cinco genotipos más

productivos en cada característica. Para la producción de grano destacaron los genotipos INIAV16, INIAV20, INIAV21, INIAV26 e INIAV28. Con mejor comportamiento a nivel del IC, característica muy importante en este tipo de ambiente fueron los genotipos INIAV6, INIAV20, INIAV28, INIAV29 y el Testigo Celta. Respecto al peso hectolitro, parámetro de valoración comercial fueron INIAV16, INIAV24, INIAV27, INIAV28 y el testigo Marialva. A nivel tecnológico en primer lugar debido a la proteína, importante en los indicadores de calidad, fueron INIAV9, INIAV11, INIAV13, INIAV19 y el testigo Marialva los cinco mejores en la media de los dos años. La vitrosidad, otro parámetro de gran importancia comercial para el trigo duro con gran influencia en el rendimiento en semola, fueron INIAV7, INIAV11, INIAV13; INIAV19 y el testigo Celta los que presentaron los mejores valores. En cuanto a las cenizas, el mejor comportamiento lo tuvieron los genotipos INIAV2, INIAV4, INIAV14, INIAV20 e INIAV21. Relativo al índice de amarillos (PCI) destacaron INIAV10, INIAV12, INIAV14, INIAV16, e INIAV21. Por último para el índice de gluten (IG) destacaron INIAV2, INIAV3, INIAV8, INIAV14 e INIAV17.

Tabla 4.23. Comportamiento de los genotipos de acuerdo con la media de los dos años (2011/12 y 2012/13) para algunos de los parámetros estudiados, teniendo como referencia los cinco más productivos en cada característica.

	Prod.	Granos m ⁻²	P1000 granos	Biom.	IC	LIG	Peso Hect.	Prot.	Vitro	SDS	RendSem.	Ceni	L*	a*	b*	PCI	IG
INIAV1														✓			
INIAV2						✓				✓	✓	✓					✓
INIAV3				✓		✓											✓
INIAV4		✓										✓					
CELTA					✓				✓		✓						
INIAV6		✓			✓										✓		
INIAV7				✓					✓	✓							
INIAV8															✓		✓
INIAV9								✓									
INIAV10																✓	
INIAV11								✓	✓	✓	✓						
INIAV12														✓		✓	
INIAV13								✓	✓		✓				✓		
INIAV14				✓						✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
HELVIO			✓							✓							
INIAV16	✓	✓					✓						✓			✓	
INIAV17																	✓
INIAV18																	
INIAV19			✓					✓	✓						✓		
INIAV20	✓				✓							✓		✓			
INIAV21	✓											✓	✓			✓	
INIAV22																	
INIAV23																	
INIAV24		✓		✓		✓	✓							✓			
MARIALVA		✓	✓			✓	✓	✓									
INIAV26	✓			✓		✓					✓						
INIAV27		✓					✓										
INIAV28	✓	✓			✓		✓						✓				
INIAV29					✓								✓				
INIAV30					✓								✓				

4.7 LA ETAPA FINAL

La Mejora de Plantas es una actividad científica multidisciplinar y dinámica que interactúa con diferentes áreas del conocimiento y de la sociedad civil. Tiene como objetivo la obtención de un producto, la nueva variedad, suficientemente interesante para que los agricultores, empresas de comercialización de semillas y la industria transformadora puedan sacar partido del nuevo germoplasma después de su inscripción en el catálogo de variedades.

No obstante, la creación de una variedad de trigo es el resultado de varios años de observación y selección de un gran volumen de material creado mediante cruzamientos, o bien, introducido de otros países, pero seleccionado bajo determinadas condiciones ambientales. La nueva variedad de trigo, además de tener elevados rendimientos, debe presentar buenas características agronómicas, por ejemplo resistencia al estrés térmico, adecuada resistencia a las enfermedades y características industriales que justifiquen su inclusión en el mercado. La limitada vida útil que presenta la nueva variedad, de 6 a 8 años, se traduce en la necesidad de mantener de una forma permanente en los programas de mejora genética, un gran flujo de material genéticamente diferente, que en gran parte es renovado anualmente.

Por lo tanto, las probabilidades de éxito en la creación de una buena variedad, están directamente relacionadas con el manejo de grandes volúmenes de material genético, lo cual sólo deberá ser realizado por entidades que se dediquen con seriedad y rigor a esta actividad científica. El trabajo desarrollado a lo largo de todos estos años y que fue descrito en esta Tesis Doctoral tuvo el respaldo de una reconocida Institución de Mejora Genética Vegetal el INIAV, I.P. – Pólo de Elvas, cuya creación remonta el año de 1942 y cuyos resultados de su trabajo son reconocidos nacional y internacionalmente.

Los resultados obtenidos llevaron a la identificación de dos genotipos de trigo duro con características agronómicas y tecnológicas superiores que permitieron su selección para variedades comerciales. Se encuentran hoy en día en proceso de candidatura e inscripción al Catalogo Nacional de Variedades Portugués (CNV). Están codificadas con las siglas TE1202 y TE 1203, que significan Trigo Elvas (TE) identificadas en el año 2012 (12) siendo la segunda (02) y tercera línea seleccionada (03) en esa campaña, resultaron de los cruzamientos realizados en el año 2003, que pasados estos trece años de mejora, llegan a su etapa final.

El TE1202 con la genealogía **Aldura/3/Srn3/Cops//Plata13/4/Iride**, de acuerdo con la terminología empleada por (Villareal y Rajaram, 1984) identificado en los dos años como INIAV11 resultó del cruzamiento entre dos parentales italianos y un mexicano y el TE1203 con la genealogía **Mongibello//Rascon39/Tilo1/3/Claudio** (Villareal y Rajaram, 1984) identificado en los dos años como INIAV20, resultó también del cruzamiento entre dos parentales italianos y un mexicano. El TE1202 presentó en los dos años de estudio un comportamiento agronómico bueno, evidenciando regularidad en el rendimiento, pero además demostró un conjunto de

parámetros tecnológicos (proteína, vitrosidad y rendimiento en semola) muy buenos para la fabricación de pastas alimenticias (Tabla 4.23). El TE1203 mostró un comportamiento agronómico excelente, con un potencial muy elevado de rendimiento y un buen índice de cosecha. A nivel tecnológico presentó bajo contenido de cenizas y bajos valores del índice a*, buenos indicadores para la fabricación de pastas de calidad (Tabla 4.23).

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Al final de esta Tesis se pueden elaborar una serie de conclusiones que se resumen en los siguientes puntos:

1. Los resultados obtenidos con este grupo de germoplasma evidencian que la complejidad del clima mediterráneo y la interacción genotipo x ambiente son los principales factores de dificultad en la mejora genética.
2. El efecto de la distribución de la precipitación de invierno y primavera junto con el efecto del suelo de ambas localizaciones jugaron un papel muy importante en el comportamiento del germoplasma, con especial evidencia en la acumulación de biomasa invernal.
3. A nivel agronómico las producciones obtenidas a lo largo de los dos años de ensayo fueron elevadas, con medias anuales de 6.546 kg/ha y 5.213 kg/ha en 2011/12 y 2012/13, respectivamente. Además las diferencias entre genotipos evidenciaron que el potencial genético con lo que se trabajó era elevado.
4. Valorando los dos años del estudio en conjunto destacan los genotipos INIAV16, INIAV20, INIAV21, INIAV26 e INIAV28 como aquellos que estuvieron en el top de los más productivos y mostraron mejor regularidad. Otro aspecto a destacar es el comportamiento del testigo Celta, estando siempre por encima de la media general del ensayo.
5. De los componentes del rendimiento, destacar la importancia del número de granos por unidad de superficie como el principal responsable, en este ambiente, para la obtención de buenas producciones. Respecto a este componente destacaron los genotipos INIAV28 en 2011/12 e INIAV21 en 2012/13.
6. El análisis de los componentes principales para las características fenológicas y agronómicas, mostró, que los tres ejes principales explicaron el 78.02% de la variabilidad existente del conjunto de los genotipos estudiados.
7. Algunos de los parámetros de calidad tecnológica, principalmente proteína, vitrosidad, cenizas y PCI mostraron tener gran influencia ambiental y también buena respuesta al itinerario técnico marcado. Los resultados obtenidos para la proteína del grano, al ser el parámetro tecnológico más importante, indicaron la gran influencia del nitrógeno después de la fase de espigado.
8. Se verificó una correlación positiva entre la proteína y la vitrosidad, el rendimiento en sémola y el índice de amarillos, lo que refuerza la importancia de la proteína en la obtención de parámetros semoleros de buena calidad.
9. El testigo Hélios demostró a lo largo de los dos años un comportamiento tecnológico inferior a los restantes genotipos estudiados. Los genotipos que tuvieron el mejor comportamiento tecnológico en los dos años fueron INIAV11, INIAV14, INIAV16, INIAV19, INIAV20, INIAV21 e INIAV28.

10. El análisis de los componentes principales para las características tecnológicas mostró, que los tres ejes principales explicaran el 67,90% de la variabilidad existente del conjunto de líneas estudiadas.
11. Se seleccionaron las líneas INIAV11 y INIAV20 para su inscripción en el Catálogo Nacional de Variedades, debido tanto a su comportamiento fenológico y agronómico como también a una serie de parámetros tecnológicos que evidenciaron su valía.

Por último y como consideración final me gustaría añadir que la mejora genética vegetal es una actividad multidisciplinar, fascinante y que es responsable de la obtención de variedades que dan valor añadido a la agricultura.

CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

No final desta Tese podem-se elaborar uma serie de conclusões que se resumem nos seguintes pontos:

1. A complexidade do clima tipo mediterraneo e a interação genótipo x ambiente, são os principais fatores de dificuldade para a atividade do melhoramento vegetal, cujos resultados obtidos com este grupo de germoplasma o evidenciam.
2. O efeito da distribuição da precipitação de inverno e primavera, conjuntamente com o efeito do solo de ambos locais, teve um papel importantíssimo no comportamento do germoplasma, com especial incidência na acumulação de biomassa invernal.
3. As regas de apoio, importantíssimas quando possíveis e que garantiram a possibilidade de obtenção de boas produções e qualidade.
4. Ao nível agronómico, as produções de grão obtidas ao longo dos dois anos foram elevadas, com médias gerais de ensaio de 6545 kg/ha e 5213 kg/ha respectivamente (2011/12 e 2012/13),o que nos indicou que o potencial genético com o qual estamos a trabalhar é muito bom.
5. Valorizando os dois anos de estudo em conjunto, destacaram-se as linhas INIAV16, INIAV20, INIAV21, INIAV26 e INIAV28 como aquelas que estiveram no top das mais produtivas e mostraram melhor regularidade. Outro aspeto a destacar foi o comportamento da testemunha Celta que esteve sempre por cima da média geral do ensaio.
6. Dos componentes do rendimento destacar a enorme importância do número de grãos por unidade de superfície, como o principal responsável neste ambiente na obtenção de boas produções. Destacaram-se os genotipos INIAV28 em 2011/12 e INIAV21 em 2012/13.
7. A análise dos componentes principais para as características fenológicas e agronómicas mostraram que os três eixos principais explicaram 78,02% da variabilidade existente do conjunto das linhas estudadas.
8. Alguns dos parâmetros de qualidade tecnológica determinados mostraram ter grande influencia ambiental como também resposta ao itinerário técnico aplicado. A proteína do grão ao ser o parâmetro mais importante, os resultados obtidos indicaram a grande influência do azoto depois da fase do espigamento.
9. Verificou-se uma correlação positiva entre a proteína e a vitreosidade, o rendimento em sémola e o Índice de amarelos, o que reforça a enorme importância da proteína na obtenção de parâmetros de boa qualidade para massas.
10. A testemunha Hélio demonstrou ao longo dos dois anos um comportamento tecnológico inferior às restantes linhas estudadas. As linhas que melhor

comportamento qualitativo tiveram nos dois anos foram o INIAV11, INIAV14, INIAV16, INIAV19, INIAV20, INIAV21 e INIAV28.

11. A análise dos componentes principais para as características tecnológicas mostrou que os três primeiros eixos principais explicaram 67,90% da variabilidade existente do conjunto das linhas estudadas.
12. Selecionaram-se as linhas INIAV11 e INIAV20 para prosseguirem o caminho para variedades, até à sua inscrição no Catálogo Nacional de Variedades. Esta seleção baseou-se no seu comportamento fenológico e agronómico e numa série de parâmetros tecnológicos que evidenciaram, como também na sensibilidade do olho do melhorador que as observou ao longo de tantos anos.

Por último, como conclusão final, o melhoramento genético vegetal é uma atividade multidisciplinar, fascinante e que é responsável pela obtenção de variedades que criem valor acrescentado à agricultura.

BIBLIOGRAFIA

7. BIBLIOGRAFIA

- Abbate, P.E., Andrade, F.H. y Culot, J.P. (1995). The effects of radiation and nitrogen on number of grains in wheat. *J.Agric. Sci. (Camb)*, 124: 351-360.
- Abdel-Aal, E.S.M., Young, J.C., Rabalski, I., Hucl, P. y Fregeau-Reid, J. (2007). Identification and quantification of seed carotenoids in selected wheat species. *Journal of agricultural and food chemistry*, 55(3): 787-794.
- Acreche, M.M., Briceño-Felix, G., Sanchez, J.A.M. y Slafer, G.A. (2008). Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. *Europ. J. Agronomy*. 28: 162-170.
- Akhunov, E.D., Akhunova, A.R. y Dvořák, J. (2005). BAC libraries of *Triticum urartu*, *Aegilops speltoides* and *Ae. tauschii*, the diploid ancestors of polyploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 111(8): 1617-1622.
- Allard R.W. (1999). Principles of Plant Breeding John Willey & Sons. Inc N. Y., 254 pp.
- Alemán, N.R. (2012). Utilidad de los recursos genéticos en mejora: potencial de las variedades tradicionales de trigo duro de la cuenca mediterránea para la mejora de la calidad y el valor agronómico en relación a su origen geográfico. Memoria presentada para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Lleida. Departament de Producció Vegetal i Ciència Florestal. Lleida – Catalunya, 135 pp.
- Almeida, A.S.V. (2007). Parâmetros analíticos de seleção do trigo em ambiente mediterrânico – produção e qualidade. Tese de Doutoramento em Biologia – Biologia Vegetal. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, pp. 23-170.
- Álvaro F., Isidro J., Villegas D., García del Moral L.F. y Royo C. (2008). Breeding effects on grain filling, biomass partitioning, and remobilization in Mediterranean durum wheat. *Agronomy Journal*, 100: 361-370.
- Anderson, W.K. (1992). Increasing grain yield and water use of wheat in rainfed mediterranean type environment. *Aust. J. Agri. Res.*, 43: 1-17.
- Annicchiarico, P., Pecetti, L. y Damania, A.B. (1995). Relationships between phenotypic variation and climatic factors at collecting sites in durum-wheat landraces. *Hereditas*, 122: 163–167.
- Araus, J.L., Slafer, G.A., Royo C. y Serret, M.D. (2008). Breeding for yield and stress adaptation in cereals. *CRC Rev. Plant Sci.*, 27: 377-412.
- Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P. y Royo, C. (2002). Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for?. *Annals of Botany*, 89(7): 925-940.
- Arduini, I., Masoni, A., Ercoli, L. y Mariotti, M. (2006). Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate *European Journal of Agronomy*, 25: 309-318.
- ARVALIS - Institut du Végétal. (2012). Médiocultures. Produire plus et mieux les grandes cultures en zone méditerranéenne. Gardanne – Marseille (France), pp. 45-50.
- Associação Nacional dos Produtores de Milho e Sorgo (ANPROMIS). (2015). Disponible en www.anpromis.pt.
- Bagulho, A.S. (2008). Efeito das proteínas de Reserva e das associadas ao Amido e aos lípidos nas Propriedades Reológicas de Farinhas de Trigo Mole. Tese Doutoramento

- em Engenharia Agroindustrial. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia, 263 pp.
- Bagulho, F. (1969). Prespectivas do melhoramento do *Triticum durum* em Portugal. Separata de *Anales de la estación experimental de Aula Dei*, 9 (2-4): 111-127.
- Baker, C.K. y Gallagher, J.N. (1983). The development of Winter wheat in the field. The control of primordium initiation rate by temperature and photoperiod. *Journal Agri. Sci.*, 101: 337-344.
- Barradas, M.J. y Bagulho, F. (1967). Memória de 25 anos de actividade do Departamento de cereais de autofecundação. *Melhoramento*, 20 (parte I y II): 2-43.
- Barradas, M.T. (1969). Considerações sobre o melhoramento do trigo “rijo” em Portugal. Comportamento agronómico de algumas linhas isoladas em descendência de sementes tratadas de trigo “Amarelejo”. *Melhoramento*, 21: 23-40.
- Barradas, M.T. y Malato-beliz, J. (1961). Amarelejo e Padeira. Trigos híbridos obtidos na Estação de Melhoramento de Plantas. *Agricultura*, 10: 14-21.
- Bilgin, O., Korkut, K.Z., Baser, I., Daglioglu, O., Öztürk, I., Balkan, A. y Kahraman, T. (2010). Variation and heritability for some semolina characteristics and grain yield and their relations in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) *World J. Agric. Sci.*, 6: 301-308
- Blum, A., Shpiler, L., Gozlan, G., Mayer, J. y Sinmena, B. (1991). Mass selection of wheat for grain filling without transient photosynthesis. *Euphytica*. 54:111-116.
- Blumenthal C.S., Bekes, F., Batey, I.L., Wrigley, C. Moss, H.J Mares, D.J. y Barlow, E.W.R. (1991). Interpretation of grain quality results from wheat variety trials with reference to high temperature stress. *Aust. J. Agric. Res.*, 42: 325-334.
- Boletín Oficial del Estado Núm. 317 Jueves 30 de diciembre de 2010, Sec. I. Pág. 108745
- Borém, A. (1998). Melhoramento de Plantas. Universidade Federal de Viçosa, 2ª ed., 453 pp.
- Borrelli, G.M., De Leonardis, A.M., Platani, C., y Troccoli, A. (2008). Distribution along durum wheat kernel of the components involved in semolina colour. *Journal of Cereal Science*, 48(2): 494-502.
- Borrelli, G.M., Troccoli, A., Di Fonzo, N. y Fares, C. (1999). Durum wheat lipoxygenase activity and other quality parameters that affect pasta color. *Cereal Chemistry*, 76 (3): 335-340.
- Borrelli, G.M., De Leonardis, A.M., Fares, C., Platani, C. y Di Fonzo, N. (2003). Effects of modified processing conditions on oxidative properties of semolina dough and pasta. *Cereal Chemistry*, 80(2): 225-231.
- Bouacha O.D., Nouaigui S. y Rezgui S. (2014). Effects of N and K fertilizers on durum wheat quality in different environments. *J. Cereal Sci.*, 59:9-14.
- Brites, C.M.C. (1998). Relação das Proteínas de Reserva do Endosperma do Trigo Duro com a Qualidade das Massa Alimentícias. Tese de Doutoramento em Engenharia Agro-Industrial. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia, 185 pp.
- Brites, C., Muacho, M.C., Sousa, R.B., Vázquez, J.F. y Carrillo, J.M. (1998). Avaliação da qualidade tecnológica de variedades de trigo duro para o fabrico de massas alimentícias. *Melhoramento*. 35.
- Britton, G; Liaaen-Jensen; S. y Pfander, H. (2009). Carotenoids. *Nutrition and Health*, 5: 1-6.
- Brown, T.A., Jones, M.K., Powell, W. y Allaby, R.G. (2009). The complex origins of domesticated crops in the Fertile Crescent. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(2): 103-109.

- Cargnin, A., Souza, M.A., Carneiro, P.C.S. y Sofiatti, V. (2006). Interação entre genótipos e ambientes e implicações em ganhos com seleção de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(6): 987-993.
- Callejo González, M.J. (2002). Industrias de cereales y derivados. AMV Ediciones. 1ª Edición. Madrid.
- Carrillo, J.M., Vazquez, J.F., Rodriguez, M. y Ruiz, M. (2006). Mejora de la calidad del trigo. In: Mejora genética de la calidad en plantas. Liácer G, Díaz M.J, Carrillo J.M, Badanes M.L. (Eds.). U.P.V., pp. 127-164.
- Carson, G.R. y Edwards, N.M. (2009). Criteria of wheat and flour quality. K. Khan, P.R. Shewry (Eds.), *Wheat: Chemistry and Technology* (fourth ed.), AACC International, Inc, St. Paul, MN, USA, pp. 97-118.
- Carvalho, M. (1994). A contribuição conjunta do melhoramento e da fitotecnia na produção de trigo em Portugal face á política agrícola comum. *Melhoramento*, 33: 577-608.
- Ceccarelli, S. (1989). Wide adaptation: How wide?. *Euphytica*, 40(3): 197-205.
- Cerealis, Produtos Alimentares, S.A. (2015). Disponible en <http://www.cerealis.pt/>
- Chaurand, P., Stoeckli, M. y Caprioli, R.M. (1999). Direct profiling of proteins in biological tissue sections by MALDI mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, 71(23): 5263-5270.
- Chaves, L.J., Vencovsky, R. y Geraldi, I.O. (1989). Modelo não linear aplicado ao estudo da interação genótipo x ambiente em milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 24: 259-268.
- Clarke F.R., Clarke J.M., Pozniak, C.J., Somers, D.J., Dexter, J.E., Knox, R.E., Reimer S., McCaig, T.N. y Singh, A.K. (2008). Association mapping of semolina yield in diverse durum wheat germplasm. In: Proc. 11th International Wheat Genetics Symposium. Rudi Appels, Russell Eastwood, Evans Lagudah, Peter Langridge, Michael Mackay, Lynne McIntyre e Peter Sharp (Eds.). Sydney University Press, pp. 485-487.
- Clarke, F.R., Clarke, J.M., Mccaig, T.N., Knox, R.E. y Depauw, R.M. (2006). Inheritance of yellow pigment concentration in seven durum wheat crosses. *Can J Plant Sci.*, 86: 133-141.
- Clarke, J.M, McCaig, T.N, DePauw, R.M, Knox, R.E, Clarke, F.R, Fernandez, M.R. y Ames, N.P (2005). Strongfield durum wheat. *Can J Plant Sci.*, 85: 651–654
- Coco, J.A.C. (2013). Adaptabilidade e Estabilidade de Produção de Trigo Mole - Interação Genótipo x Ambiente. Tese de Mestrado em Agricultura Sustentável. Escola Superior Agrária de Elvas. Instituto Politécnico de Portalegre. 103 pp.
- Commission Internationale de L'Éclairage (CIE). (1976). Disponible en www.cie.co.at/.
- Consejo Internacional de Cereales (CIC). (2015). Disponible en www.igc.int.
- Consejo Internacional de Cereales (CIC). (2014). Disponible en www.igc.int.
- Cooper, M. y Delacy, I.H. (1994). Relationships among analytical methods used to study genotypic variation and genotype-by-environment interaction in plant breeding multi-environment experiments. *Theoret. Appl. Genetics*, 88: 561.
- Coutinho, J.N.P. (1991). Estudo preliminar de 11 Genótipos de Trigo Mole (*Triticum aestivum* L. Thell) representativas de várias fases do Melhoramento em Portugal". Tese de Mestrado em Produção Agrícola. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia. 101 pp.

- Cubadda, R., Carcea, N. y Pasqui, L.A. (1992). Suitability of the glúten index method for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. *Cereal Foods World Res.*, 37: 866-869.
- Decreto Leí nº122/2012 - (Diario da República, 1.ª série — N.º 117 — 19 de junio de 2012).
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R. y Martin, D.G. (1987). The relationship of durum wheat test weight to milling performance and spaghetti quality. *Cereal Foods World*, 32(10): 772-777.
- Días, A.S. (1998). Definição de critérios de selecção em Trigo mole para a região mediterrânica do Sul de Portugal. Tese da Licenciatura em Engenharia Agrícola. Universidade de Évora, 98pp.
- Dick, J.W. y Quick, J.S. (1983). A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chem.*, 60: 315-318.
- DuPont F.M, Samoil V. y Chan R. (2008). Extraction of up to 95% of wheat (*Triticum aestivum*) flour protein using warm sodium dodecyl sulfate (SDS) without reduction or sonication. *J Agric Food Chem.* 58 (19) 7431-7438.
- Dupont, M.F. y Altenbach, S.B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *J. of Cereal Sci.* 38:133-146.
- Dvorak, J., Luo, M.C., Yang, Z.L. y Zhang, H.B. (1998). The structure of the Aegilops tauschii genepool and the evolution of hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 97(4): 657-670.
- Elouafi, I., Nachit, M.M. y Martin, L.M. (2001). Identification of microsatellite on chromosome 7B showing a strong linkage with yellow pigment in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Hereditas*, 135: 255-261.
- Ercoli, L., Masoni, A., Pampana, S., Mariotti, M. y Arduini, I. (2014). The response of durum wheat to the preceding crop in a Mediterranean environment. *The Scientific World Journal*.
- Erekul O. y Kohn W. (2006). Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter Triticale (*Triticosecale* Wittm.) varieties in North-East Germany. *J. Agron. Crop Sci.*, 192: 452-464.
- EUROSTAT (2015). Disponible en <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>
- FAO. (2006). Food and Agriculture Organization. Disponible en <http://www.fao.org/>
- Feldman, M. (1978). Proc. 5th Int. Wheat Genetic Symp. *Indian Soc. Genet. Pl. Breeding*. New Delhi, 32-120pp.
- Feldman, M. (2001). Origin of cultivated wheat. In: Bonjean, A.P., Angus, W.J., (Eds). The world wheat book. *A history of wheat breeding*. Lavoisier Publishing, Paris, pp. 3-56.
- Ferro Palma, J.M.A. (2009). Influencia de la fertilización con abonos verdes de veza (*Vicia sativa* L.) y triticale (X *Triticosecale* Wittmack) en la fertilidad del suelo, rendimiento y calidad del trigo blando (*Triticum aestivum* L.). Memoria presentada para optar al grado de Doctor. Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal. Universidad de Extremadura. Badajoz. 152pp.
- Ficco, D.B.M., Riefolo C., Nicastro, G., De Simone, V., Di Gesu, A.M., Beleggia, R., Platani, C., Cattivelli, L. y De Vita, P. (2009). Phytate and mineral elements concentration in a collection of Italian durum wheat Genotipos. *Field Crops Res.*, 111: 235-242.

- Finney, K.F., Yamarzaki, W.T., Youngs, V.L. y Rubenthaler, G.L. (1987). Quality of hard, soft and durum wheat. In: Heyne, E.G. (eds.). *Wheat and Wheat Improvement*. ASA/CSSA/SSSA: Madison, W. I., pp. 677-748.
- Flores, C.G., Flores, R.D., Alcantar-González, G. y Trinidad-Santos, A. (2005). Fosfatasa ácida, nitrato reductasa, glutamina sintetasa y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en cereales. *Terra: Organo Científico de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*, AC.
- Fратиanni, A., Irano, M., Panfili, G. y Acquistucci, R. (2005). Estimation of color of durum wheat. Comparison of WSB, HPLC, and reflectance colorimeter measurements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(7): 2373-2378.
- Fuller, D.Q., Willcox, G. y Allaby, R.G. (2012). Early agricultural pathways: moving outside the 'core area'hypothesis in Southwest Asia. *Journal of Experimental Botany*, 63(2): 617-633.
- Gallagher, J.N. y Biscoe, P.V. (1978). Radiation, absorption, growth and yield of cereals. *J. Agric. Sci.*, 91: 47-60.
- García del Moral, L.F., Rharrabti, Y., Elhani, S., Martos, V. y Royo, C. (2005). Yield formation in Mediterranean durum wheats under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. *Euphytica*, 146: 213-222.
- García del Moral, L.F. y Ramos, J.M. (1989). Fisiología de producción de grano. En "La cebada: morfología, fisiología, genética, agronomía y usos industriales". J.L. Molina Cano (Eds.). Ministerio de Agricultura e Pesca y Alimentación, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 137-178.
- Godon, B. (1991). Composition biochimique des céréales. Les industries de première transformation des céréales. Lavoisier. Paris. pp. 77-104.
- Goldringer, I., Prouin, C., Rousset, M., Galic, N. y Bonnin, I. (2006). Rapid differentiation of experimental populations of wheat for heading time in response to local climatic conditions. *Annals of Botany*, 98(4): 805-817.
- Golovnina, K.A., Glushkov, S.A., Blinov, A.G., Mayorov, L.R., Adkison, L.R. y Goncharov, N.P. (2007). Molecular phylogeny of the genus *Triticum* L. *Plant Syst. Evol.*, 264: 195-216.
- Gomes, M.C. (1999). Identificação de variabilidade genética para resistência/tolerância a elevadas temperaturas na fase final do ciclo, em genótipos de trigo (*Triticum* sp.). Tese de Mestrado em Melhoramento de Plantas. Universidade de Évora, 95pp.
- Gomes, M.C. y Nascimento, C. (1997). Seleção e Melhoramento em Plantas Autogâmicas. Trabalho apresentado na Disciplina de Genética Quantitativa e das Populações. Mestrado em Melhoramento de Plantas. Universidade de Évora. pp.3-37.
- González, F. y Rojo, C. (2005). Gramíneas y seudocereales. En "Prontuario de Agricultura". Co-Edición Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación y Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 3-228.
- González; J.M. y Cubero, J.I. (1993). Selection Strategies and Choice of Breeding Methods. In: *Plant Breeding: Principles and Prospects* (Capítulo XVIII). Edited by M. D. Hayward; Bosemark, N.O. and Ramagosa, I. Chapman & Hall. London. pp. 281-310.
- Grahmann, K., Verhulst, N., Peña, R.J., Buerkert, A., Vargas-Rojas, L. y Govaerts, B. (2014). Durum wheat (*Triticum durum* L.) quality and yield as affected by tillage-straw management and nitrogen fertilization practice under furrow-irrigated conditions. *Field Crops Research*, 164: 166-177.

- Guerrero, A. (1992). Cultivos Herbáceos Extensivos. 5ª Edición. Ed. Mundi-Prensa, 779 pp.
- Gupta, R.B., Khan K. y MacRitchie F. (1993). Biochemical basis of flour properties in bread wheats.1. Effects of variation in the quantity and size distribution of polymeric protein. *J Cereal Sci.*, 18: 23-41.
- Güler, M. (2003). Irrigation effects on quality characteristics of durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 83: 327-331.
- Ministério de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2015). Disponible en: <http://www.magrama.gob.es>
- Halverson, J. y Zeleny, L. (1988). Criteria of wheat quality. En: *Wheat: Chemistry and technology*. Volume I. (Ed Y Pomeranz), pp. 15-45.
- Hanft, J. M. y Wych, R.D. (1982). Visual indicators of physiological maturity of hard red spring wheat. *Crop Sci.*, 22: 584-587.
- Haun, J.R. (1973). Visual quantification of wheat development. *Agr. J.*, 65: 116-117.
- He, X.Y., He, Z.H., Zhang, L.P., Sun, D.J., Morris, C.F., Fuerst, E.P. y Xia, X.C. (2007). Allelic variation of polyphenol oxidase (PPO) genes located on chromossomes 2A and 2D and development of functional markers for the PPO genes in common wheat. *Theoretical and Applied Genetic*, 115: 47-58.
- Heun, M., Schäfer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B. y Salamini, F. (1997). Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science*, 278: 1312-1314.
- Hoseney, R.C. (1991). Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales. Zaragoza. Acribia, 321pp.
- Crop Ontology for Agricultural data. Disponible en: <http://cropontology.org>
- Igrejas, G.P.P. (2000). Fatores Genéticos, Bioquímicos e Tecnológicos Associados à Utilização do Trigo Mole (*Triticum aestivum* L.). Tese Doutorado em Genética. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real, 237pp.
- IPO (2013). International Pasta Organization. Disponible en: <http://www.internationalpasta.org/index.aspx>
- IPO (2014). International Pasta Organization. Disponible en: <http://www.internationalpasta.org/index.aspx>
- Jaaska, V. y Jaaska, U. (1980). Biochem. Physiology. *Pflanzen*, 175: 7-570.
- Jauhar, P.P. (2006). Spontaneous haploids in durum wheat: their cytogenetic characterization. *Euphytica*, 148: 341-344.
- Jenner, C.F., Ugalde, T.D. y Aspinall, D. (1991). The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Aust. J. Plant Physiol.*, 18: 211-226.
- Lopes M.S., Reynolds M.P., Jalal-Kamali M.R., Moussa M., Feltaous Y. y Tahir I.S.A. (2012). The yield correlations of selectable physiological traits in a population of advanced spring wheat lines grown in warm and drought environments. *Field Crops Res.*, 128: 129-136.
- Kang, M.S. (1998). Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, 62: 199-252.
- Kaya Y. y Akcura M. (2014). Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Food Sci. Technol.*, 34: 386-393.

- Kirby, E.J.M. y Appleyard, M. (1987). *Cereal Development Guide*, Second Edition. Arable Unit National Agricultural Centre: Stoneleigh. Warwickshire. UK.
- Kong, L., Si F., Zhang, B., Feng, B., Li, S. y Wang, F. (2013). Environmental modification of wheat grain protein accumulation and associated processing quality: a case study of China *Aust. J. Crop Sci.*, 7:173-181.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. y Rubel, F. (2006). World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. Vol. 15. 3: 259-263.
- Kottmann, L., Schittenhelm, S. y Giesemann, A. (2014). Suitability of carbon isotope discrimination, ash content and single mineral concentration for the selection of drought-tolerant winter rye. *Plant Breeding*, 133(5): 579-587.
- Lamelas, C.M., Suárez, L.C. y A.J. Pascale, A.J. (1993). Disponibilidades calóricas para los cultivos en la Provincia de Tucumán. *Rev. Industrial y Agrícola de Tucumán.*, 70(1-2): 29-40.
- Large, E.C. (1954). Growth stages in cereals. Illustration of the "Feekes" scale. *Plant Pathology*, 3: 129.
- Lev-Yadun, S., Gopher, A. y Abbo, S. (2000). The cradle of agriculture. *Science*, 288: 1602-1603.
- Li, Y., Wu, Y., Hernandez-Espinoza, N. y Peña, R.J. (2013). The influence of drought and heat estrés on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *J. Cereal Sci.*, 57: 73-78.
- Liu, B., Segal, G., Rong, J.K. y Feldman, M. (2003). A chromosome-specific sequence common to the B genome of polyploid wheat and *Aegilops searsii*. *Plant Syst. Evol.*, 241: 55-66.
- López Bellido, L. (2009). Informe sobre: Cuestiones referentes al sector de herbáceos, más relevantes para la definición de la Política de Seguros Agrarios: Situación actual y tendencias a corto plazo. Desarrollos Agros tecnológicos Integrados, S.L. Empresa de Base tecnológica de la Universidad de Córdoba. Universidad de Córdoba. 84pp.
- Loss, S.P. y Siddique, K.H.M. (1994). Morphological and physiological traits associated with wheat yield increases in Mediterranean environments. *Advances in Agronomy*, University of Delaware, Newark, USA. 52: 229-276.
- Luis López Bellido (1991). Cultivos Herbáceos Vol.I. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp.26-236.
- Mac Key, J. (2005). Wheat: its concept, evolution and taxonomy. En: *Durum Wheat Breeding: Current Approaches and Future Strategies*. Royo, C.; Nachit, M. M., Di Fonzo, N.; Araus, j. L.; Pfeiffer, W. H. y Slafer, G. A. (eds.). Vol I the Haworth Press, Inc. New York. pp. 3-61.
- Mac Key, J. (1988). A plant breeder's perspective on taxonomy of cultivated plants. *Biologisches Zentralblatt*, 107: 369-379.
- McDonald, G.K., Sulton, B.A. y Ellison, F.W. (1983). The effect of time of sowing on the grain yield of irrigated wheat in the Namoi Valley, New South Wales. *Aust. J. Agric. Res.*, 34: 229-240.
- Maças, B.M. (1983). O interesse do trigo rijo. Notas acerca do melhoramento e características das novas variedades obtidas na E.N.M.P. Relatório de estágio do curso de Engenharia Agrícola. Universidade de Évora. 65pp.
- Maças, B.M. (1996). Definição de critérios de seleção de trigo mole (*Triticum aestivum* L.) para as condições do ambiente mediterrânico do Sul de Portugal. Dissertação apresentada

- no Instituto Nacional de Investigação Agrária para efeitos de concurso para investigador auxiliar. INIA. ENMP. Elvas. 102pp.
- Maçãs, B.M. y Gomes, M.C. (2004). Resposta fenotípica de trigo mole, trigo rijo e triticale à aplicação de azoto. *Melhoramento*, 39: 96-113.
- Maçãs, B.M., Gomes, M.C. y Dias, A.S. (1999). Efeito das temperaturas elevadas durante o enchimento do grão em trigo mole e rijo no Sul de Portugal. *Melhoramento*, 36:27-45.
- Maçãs, B.M.; Gomes, M.C., Dias, A.S. y Coutinho, J.N.P. (2000). The tolerance of durum wheat to high temperatures during grain filling. In: Royo, C.; Nachit, M. M.; Di Fonzo, N.; Araus, J. L. (Eds.). Options Méditerranéennes – Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges. Serie A40. CIHEAM: Zaragoza. España. pp. 257-261.
- Maçãs, B.M., Almeida, A.S., Costa, R., Coutinho J., Costa, A., Pinheiro, N., Gomes, C. y Coco, J. (2011). Melhoramento Genético do Trigo em Portugal – Progressos na produtividade nos últimos 60 anos. Agrorrrural. Contributos Científicos. Instituto Nacional de Recursos Biológicos, I.P. Lisboa. pp. 986- 997.
- MacRitchie, F. (1994). Role of polymeric proteins in flour functionality. In Wheat Kernel Proteins: Molecular and functional aspects. Viterbo, Italy, Università degli Studi della Tusca. pp. 145-150.
- Mahdi, L., Bell, C.J. y Ryan J. (1996). Non- vitreousness or “yellow-berry” in durum wheat as affected by both depth and date of planting. *Cereal Res. Comm.*, 24(3): 347-352.
- Manna, F., Borrelli, G.M., Massardo, D.R., Wolf K., Alifano, P., Del Giudice, I. y Di Fonzo, N. (1998). Differential expression of lipoxygenase genes among durum wheat Genotipos. *Cereal Res. Com.*, 26: 23-30.
- Manzano, J.R. (2007). Prolaminas y marcadores moleculares relacionadas con la calidad en Trigo Duro (*Triticum turgidum* L.). Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Marquez, F. (1997). La calidad del trigo duro. Criterios de evaluación más importantes a tener en cuenta por el computador. *Revista Vida Rural*, 48: 34-35.
- Marchylo, B.A., Dexter, J.E. y Malcolmson, L.M. (2004). Improving the texture of pasta. In: Texture in Food (Vol 2) Solid Foods, Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK. pp 465-500.
- Marchylo, B.A. y Dexter, J.E. (1996). Durum wheat and pasta quality now and into the 21st century. Com. Oral in 10th Int. Cereal and Bread Congress. Porto Carras. Greece. 9p.
- Marshall, D.R., Mares, D.J., Moss, H.J. y Ellison, F.W. (1986). Effects of grain shape and size on milling yields in wheat. II. Experimental studies. *Aust. J. Agric. Res.*, 37: 331-42.
- Martin, J.H., Leonard, W.H. y Stamp, D.L. (1976). Principles of field crop production. Macmillan. New York. USA.
- Matsuo, R.R. y Dexter, J.E. (1980). Relationships between some durum wheat physical characteristics and semolina milling properties. *Canadian Journal of Plant Science*, 60: 49-53.
- Mayta, F.C., Chuquiya, J.C. y Sevillano R.H.B. (2014). Mejoramiento Genético y Biotecnología de Plantas. Universidad Nacional Agraria La Molina – UNACM. Perú. 278 pp.
- Mellado, M. (2007). El trigo en Chile. Primera edición. Colección Libros INIA N° 21, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán, Chile. 684 pp.

- Mergoum, M., Singh, P.K., Anderson, J.A., Peña, R.J., Singh, R.P., Xu, S.S. y Ransom, J.K. (2009). Spring Wheat Breeding. En "Cereals". Carena, M.J. (Eds.), Springer Science + Bussiness Media, LLC, Alemania, Cap.3, pp. 127-156.
- Miralles, D.J. (2004). Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de trigo. Información técnico de trigo. Campaña 2004. Trabajo presentado en el Congreso de A Todo Trigo Mar del Plata. Buenos Aires. Argentina. Publicación Miscelánea, nº 101, pp. 7.
- Miralles, D.J. y Slafer, G.A. (1999). Wheat development. In: Statorre, E. H.; Slafer; G. A. (Eds.). Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination. The Haworth Press: New York. pp. 13-43.
- Miskelly, D.M. (1984). Flour components affecting paste and noodle color. *Journal of Science Food Agriculture*, 35: 463-471.
- Mohammadi, M. (2012). Effects of kernel weight and source-limitation on wheat grain yield under heat estrés. *Afri. J. Biotechnol*, 11: 2931-2937.
- Mohammadi, S.A. y Prasanna, B.M. (2003). Analysis of Genetic Diversity in Crop Plants. Salient Statistical Tools and Consideration. *Crop Science*, 43: 1235-1248.
- Molina Cano, J.L. (1989). La Cebada. Ediciones Mundi-prensa, Madrid. Moragues, M., García del Moral, L.F., Moralejo, M. y Royo, C. (2006). Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin: I. Yield components. *Field Crops Research*, 95: 194-205.
- Nachit, M.M. y Elouafi, I. (2004). Durum wheat adaptation in the Mediterranean dryland: Breeding, estrés physiology, and molecular markers. *Challenges and Strategies of Dryland Agriculture*, pp. 203-218.
- Nachit, M.M., Braum, M., Impiglia, A. y Ketata, H. (1995). Studies on some grain quality trails in durum wheat grown in Mediterranean environments. En: Di Fonzo, N.; Kaan, F.; Nachit, M. (Eds.). Durum Wheat Quality in the Mediterranean Region. *Options Méditerranéennes*, 22: 181-188.
- Nawab, K., Arif, A.M., Shah, P., Rab, A., Khan, M.A., Khan, M.A. y Khan, K. (2011). Effect of FYM, potassium and zinc on phenology and grain yield of wheat in rainfed cropping systems. *Pakistan Journal of Botany*, 43(5), 2391-2396.
- Norma ISO 712:2009. Cereals and Cereal Products – Determination of moisture content – Reference method. pp.16.
- Norma ISO 20483:2006. Cereals and Pulses – Determination of nitrogen content and calculation of crude protein content – Kjeldahl method. pp.13.
- Norma EN ISO 21415-1:2007. Wheat and wheat flour – Gluten content – Part 1: Determination of wet gluten by a manual method. pp.2.
- Norma EN 15585:2008. Cereals and cereal products – Durum wheat (*T. durum* Desf.) – Determination of percentage of mitadine grains and calculation of percentage of vitreous grains. pp.11.
- Norma ISO/FDIS 520:2010. Cereals and pulses – Determination of the mass of 1000 grains. 11pp.
- Nuñez, V.M.M. (2003). Influencia del régimen hídrico sobre parámetros de la calidad del trigo duro (*Triticum durum* Desf.) en ambiente mediterraneo. Memória presentada para optar al grado de Licenciado en Farmácia. Universidad de granada. 85 pp.

- Oak, M.D. y Dexter J.E. (2006). Chemistry, genetics and prediction of dough strength and end-use quality in durum wheat, in *Gliadin and Glutenin: The Unique Balance of Wheat Quality*, ed. by Wrigley C, Bekes F and Bushuk W. AACC International, St Paul, MN, pp. 281-305.
- Ortega, E.M. (2013). Biosíntesis, Acumulación y Estabilidad de Carotenoides en Cereales. Estudio Comparativo entre Trigo duro (*Triticum turgidum*) y *Tritordeum* (H. chilense x *T. turgidum* conv. durum). Memória presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad de Sevilla. Sevilla. 444 pp.
- Oury F-X, Bérard P, Brancourt-Hulmel M, Depatureaux C, Doussinault G, Galic N, Giraud A, Heumez E, Lecomte C, Pluchard P, Rolland B, Rousset M, y Trottet M. (2003) Yield and grain protein concentration in bread wheat: a review and a study of multi-annual data from a French breeding program. *J Genet Bree.*, 57: 59-68.
- Özkan, H., Willcox, G., Graner, A., Salamini, F. y Kilian, B. (2011). Geographic distribution and domestication of wild emmer wheat (*Triticum dicoccoides*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(1): 11-53.
- Ozturk, A., Caglar O., y Bulut, S. (2006). Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. *J. Agron. Crop Sci.*, 192: 10-16.
- Pallarés M., León, A.E. y Rosell, C.M. (2007). Trigo. En "De tales panes tales harinas". León, A.E. y Rosell, C. M. (Eds), Hugo Báez (Editorial), Córdoba (Argentina), Cap. 1, pp. 17-72.
- Panozzo, J.F., Eagles, H.A., Wooton, M. y Bekes, F. (1998). Environment induced changes in grain composition and quality. In. Savage, P. (Eds). *Advances in understanding grain quality*. RACI: Melbourne, Australia. 65:41.
- Panfilii, G., Fratianni, A. y Irano, M. (2004). Improved normal-phase high-performance liquid chromatography procedure for the determination of carotenoids in cereals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(21): 6373-6377.
- Passioura, J.B. y Angus, J.F (2010). Improving productivity of crops in water-limited environments. *Adv. Agron.*, 106: 37-75.
- Peng, J.H., Sun D. y Nevo, E. (2011). Domestication evolution, genetics and genomics in wheat. *Mol Breeding*, 28: 281-301.
- Petersen, G., Seberg, O. y Berthelsen, K. (2006). Phylogenetic relationships of *Triticum* and *Aegilops* and evidence for the origin of the A, B, and D genomes of common wheat (*Triticum aestivum*). *Mol. Phylogenet. Evol.*, 39: 70-82.
- Poblaciones, M.J.S. (2007). Calidad de trigo harinero en condiciones de secano mediterráneas influencia del sistema de laboreo, cultivo precedente y nitrógeno fertilizante. Tesis Doctoral. Universidad de Extremadura. Escuela de Ingenierías Agrarias. 100pp.
- Poehlman, J.M. (1983). *Breeding Field Crops*. Second Edition. The Avi. Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. USA.
- Posner, E.S. y Hibbs A.N. (1997). *Wheat flour milling*. American Association of Cereal Chemists, Inc. United States of America.
- Provan, J., Wolters, P., Caldwell, K.H. y Powell, W. (2004). High-resolution organellar genome analysis of *Triticum* and *Aegilops* sheds new light on cytoplasm evolution in wheat. *Theor. Appl. Genet.*, 108: 1182-1190.

- Rajala, A., Hakala, K., Makela, P., Muurinen, S. y Peltonen-Sainio, P. (2009). Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research*,
- Real Decreto Nº 1618/2005 de 30 de diciembre publicado en Boletín Oficial del Estado (BOE) el 31 de diciembre de 2005.
- Rharrabti, Y., Villegas, D., Garcia del Moral, L. F., Aparicio, N., Ethani, S. y Royo, C. (2000). Environmental and genetic determination of protein content and grain yield durum wheat under Mediterranean conditions. *Plant Breeding*, 20: 381-388.
- Richards, R.A. (1996). Increasing the yield potential of wheat: manipulating sources and sinks. Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers. pp. 134-149.
- Richards, R.A. (1996). Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regul.*, 20: 157-166.
- Richards, R.A. y Passioura, J.B. (1992). The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments. I. Agronomic characteristics. *Aust. J. Agric. Res.*, 43: 517-527.
- Rozbicki, J., Ceglińska, A., Gozdowski, D., Jakubczak, M., Cacak-Pietrzak, G., Mądry, W. y Drzazga, T. (2015). Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 61: 126-132.
- Rohlf, F.J. (1997). NTSYS-pc: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. New York, Exeter Publishing, Ltd.
- Roncallo, P.F., Cervigni, G.L., Jensen, C. y Miranda, R. (2012). QTL analysis of main and epistatic effects for flour color traits in durum wheat. *Euphytica*, 185: 77-92.
- Roncallo, P., Garbus, I., Picca, A., Echenique, V., Carrera, D.A., Cervigni, G.L. y Miranda, R. (2009). Análisis de las bases genéticas del color en trigo candeal. Revista de la Facultad de Agronomía. La Plata. Buenos Aires. Vol. 108(1): 9-23.
- Royo, C., Villegas, D., Rharrabti, Y., Blanco, R., Martos, V. y Garcia del Moral, L.F. (2006). Grain growth and yield formation of durum wheat grow at contrasting latitudes and water regimes in a Mediterranean environment. *Cereal Res. Commun.*, 34: 1021-1028.
- Royo C, Nazco R. y Villegas D. (2014). The climate of the zone of origin of Mediterranean durum wheat (*Triticum durum* Desf.) landraces affects their agronomic performance. *Genet Resour Crop Evol.*, 61(7): 1345–1358.
- Royo, C., Álvaro, F., Martos, V., Ramdani, A., Villegas, D. y Garcia del Moral, L.F. (2007). Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during 20th century. *Euphytica*, 155: 259-270.
- Russel, G. y Wilson, G.W. (1994). An Agri-Pedo-Climatological Knowledge-Base of wheat in Europe. Joint Research Centre: European Commission, Luxembourg.
- Sánchez, J.I. (2008). Análisis ecofisiológico y molecular del impacto de la mejora del trigo duro en ambiente mediterráneo sobre la formación del rendimiento y la acumulación de aminoácidos y proteínas. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Departamento de Fisiología Vegetal. Universidad de Granada. Granada. 189pp.
- Savin, R. y Slafer, G.A. (1991). Shading effects on the yield of an Argentinean wheat Genotipo. *J. of Agri. Sci.*, 116: 1-7.
- Schneider, A., Molnár, I. y Molnár-Láng, M. (2008). Utilisation of Aegilops (goatgrass) species to widen the genetic diversity of cultivated wheat. *Euphytica*, 163: 1-19.

- Seif, E. y Pederson, D.G. (1978). Effect of rainfall on the grain yield of spring wheat, with an application to the analysis of adaptation. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 1107-1115.
- Simane B., Peacock J.M y Struik P.C. (1993). Differences in developmental plasticity and growth rate among drought-resistant and susceptible genotypes of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Plant and Soil*, 157: 155-166.
- Singh, N., Singh, H. y Singh Bakshi, M. (1998). Determining the distribution of ash in wheat using debraming and conductivity. *Food Chemistry*, 62: 169-172.
- Sissons, M. (2008). Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food Chemistry*, 2: 75-90.
- Sissons, M.J., Egar, N.E. y Gianibelli, M.C. (2005). New insights into the role of gluten on durum pasta quality using reconstitution method. *Cereal Chemistry*, 82: 601-608.
- Slafer, G.A. y Araus, J.L. (1998). Improving wheat responses to abiotic stresses. In: Proceedings of the 9th International Wheat Genetics Symposium, 1: 201-213. Slinkard, A.E. (Eds.). University of Saskatchewan Extension Press, Saskatoon.
- Slafer, G.A. y Rawson, H.M. (1994). Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Aust. J. of Plant Physio.*, 21: 393-426.
- Slafer, G.A. (2003). Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Ann. Appl. Biol.*, 142: 117-128.
- Srivastava, J.P. (1987). Barley and wheat improvement for moisture limiting areas in West Asia and North Africa. In: Drought tolerance in winter cereals. (Srivastava, .P., Porceddu, E., Acevedo, E. y Varma, S. (Eds.). John Wiley y Sons Ltd., New York. pp. 61-78.
- Stapper, M. y Harris, H.C. (1989). Assessing the productivity of wheat genotype in a Mediterranean climate, using a crop-simulation model. *Field Crops Research*, 20: 129-152.
- Suprayogi, Y., Pozniak, C.J., Clarke, F.R., Clarke, J.M., Knox R.E. y Singh, A.K. (2009). Identification and validation of quantitative trait loci for grain protein concentration in adapted Canadian durum wheat populations. *Theor Appl Genet.*, 119(3): 437-448.
- Taghouti, M., Gaboun, F., Nsarellah, N., Rhrib, R., ElHaila, M., Kamar, M., Abbad-Andalousi, F. y Udupa S.M. (2010). Genotype x environment interaction for quality traits in durum wheat cultivars adapted to different environments. *African Journal of Biotechnology*, 9(21): 3054-3062.
- Tahir, I.S.A. y Nakata, N. (2005). Remobilization of nitrogen and carbohydrate from stems of bread wheat in response to heat stress during grain filling. *J. of Agr. and Crop Sci.*, 191: 106-115.
- Tolbert E.S. (2004). Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Sci.*, 44: 425-432.
- Trocconi, A., Boneli, G.M., De Vita, P., Fares, C. y Di Fonzo, N. (2000). Durum Wheat Quality: A multidisciplinary concept. *J. Cereal Sci.*, 32: 99-113.
- Tuberosa, R., Giuliani, S., Parry, M.A. y Araus, J.L. (2007). Improving water use efficiency in Mediterranean agricultural: what limits the adoption of new technologies? *Ann. Appl. Biol.*, 150: 157-162.
- UNESCO-FAO (1963). Bioclimatic map of the Mediterranean zone; ecological study of the Mediterranean zone, explanatory notes. UNESCO: Paris.

- Van Herwaarden, A.F., Angus, J.F., Richards, R.A. y Farquhar, G.D. (1998). "Haying off", the negative grain yield response on dryland wheat to N fertiliser. II. Carbohydrate and protein dynamics. *Aust. J. Agric. Res.*, 49: 1083-1093.
- Villareal, R. y Rajaram, S. (1984). Trigos Harineros Semienanos. Nombres, Progenitores, Genealogia y Origen. Centro Internacional de Mejoramiento de maiz y Trigo (CIMMYT). Mexico. 20pp.
- Villegas, D., Aparicio, N., Blanco, R. y Royo, C. (2001). Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat grown under Mediterranean conditions. *Annals of Botany*, 88: 617-627.
- Yamamoto, P.Y. (2006). Interação genótipo x ambiente na produção e composição de óleos essenciais de *lipia alba* (Mill.). Dissertação de Mestrado em Melhoramento Genético Vegetal. IAC, Campinas.
- Wang, J., Zhang, L., Wei, Y., Yan, Z., Baum, B.R., Nevo, E. y Zheng, Y. (2007). Sequence polymorphisms and relationships of dimeric α -amylase inhibitor genes in the B genomes of Triticum and S genome of Aegilops. *Plant Sci.*, 173: 1-11.
- Wardlaw, I.F., Blumenthal, C., Larroque, O. y Wrigley, C.W. (2002). Constrasting effects of chronic heat estrés and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology*, 29: 25-34.
- Wardlaw, I.F., Dawson, I.A. y Munibi, I.P. (1989). The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth. II – Grain Development. *Aust. J. Agric. Res.*, 40: 1-13.
- Worland T. y Snape J.W. (2001). Genetic Basis of worldwide wheat varietal improvement. En: The World Wheat Book. A History of Wheat Breeding. Bonjean A.P., Angus W.J. (Eds). Paris: Tec & Doc/Intercept Ltd. pp. 57-100.
- Yang, J., Sears, R.G., Gill, B.S. y Paulsen, G.M. (2002). Genotypic differences in utilization of assimilate sources during maturation of wheat under chronic heat and heat shock estréses. *Euphytica*, 125: 179-188.
- Zadoks, J. C., Chang, T. T. y Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.*, 14: 415-421.
- Zahedi, M. y Jenner, C. F. (2003). Analysis of effects in wheat of high temperature on grain filling attributes estimated from mathematical models of grain filling. *Journal of Agric. Science*, 141: 203-212.
- Zhong-hu, H. y Rajaram, S. (1994). Diferential responses of bread wheat characters to high temperature. *Euphytica*, 72: 197-203.
- Zohary, D. y Hopf, M. (1993). Domestication of Plants in the Old World. The Origin and Spread of Cultivated Plants in West Asia, Europe and the Nile Valley. Clarendon Press: Oxford. UK.

ANEJOS

Tabla I - Valores medios de Producción de grano (kg/ha) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Producción de grano (kg/ha)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	6892±100,1abc	4864±596,6efg	5878±229,7ab
INIAV2	5799±252,3c	5236±255,9abcdefg	5517±109,6ab
INIAV3	6064±190,8abc	5206±258,7bcdefg	5635±111,5ab
INIAV4	5787±337,4c	5262±259,7abcdef	5524±126,0ab
CELTA	6902±251,0 abc	6001±453,2abc	6451±160,8a
INIAV6	6704±352,2abc	5119±240,1cdefg	5911±165,9ab
INIAV7	6467±458,6abc	5012±207,3defg	5739±179,7ab
INIAV8	6743±324,5abc	4798±83,5efg	5771±175,8ab
INIAV9	6338±349,9abc	4789±83,9efg	5563±155,5ab
INIAV10	6141±362,2 abc	5668±286,2abcde	5904±134,4ab
INIAV11	5903±418,5bc	5433±208,9abcde	5668±136,1ab
INIAV12	7003±329,9abc	4292±88,1g	5648±228,1ab
INIAV13	6900±255,9abc	4960±172,8efg	5930±171,6ab
INIAV14	5753±167,2c	4323±181,5fg	5038±129,3b
HÉLVIO	6018±312,4 abc	5525±193,9abcde	5771±109,8ab
INIAV16	7104±335,6 abc	6185±248,6a	6644±136,6a
INIAV17	7052±597,6abc	5279±97,0abcdef	6165±217,2ab
INIAV18	6453±313,5abc	5439±160,8abcde	5946±125,6ab
INIAV19	6894±465,2abc	4894±115,0efg	5894±203,4ab
INIAV20	7371±307,7 a	5642±67,6abcde	6506±158,9a
INIAV21	7258±151,9 ab	6133±250,9ab	6696±119,0a
INIAV22	6298±275,9 abc	6019±212,4abc	6158±100,0ab
INIAV23	5705±337,4c	4992±133,9defg	5348±115,5ab
INIAV24	5780±542,7c	4843±88,4efg	5311±170,1ab
MARIALVA	6470±306,2abc	5213±169,7bcdefg	5841±137,3ab
INIAV26	7118±221,9 abc	5991±149,8abc	6554±114,3a
INIAV27	6762±543,9 abc	5565±140,8abcde	6164±182,2ab
INIAV28	7406±190,5 a	5927±277,4abcd	6667±147,2a
INIAV29	6749±221,1abc	5305±97,5abcde	6027±129,4ab
INIAV30	6540±298,2 abc	6051±193,6abc	6295±106,5ab
Media	6546±8,6a	5332±6,6b	

Tabla II – Valores medios del número de Granos por Unidad de Superficie (Granos/m²) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a P ≤ 0,05 durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Granos por m ²		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	15441±963,1abcd	10412±1286,7efghijk	12927±592,3a
INIAV2	12861±572,6bcd	11072±547,1cdefghij	11967±260,8a
INIAV3	13837±416,3abcd	10580±498,4efghijk	12208±308,3a
INIAV4	12177±976,0d	10903±622,9defghijk	11540±339,1a
CELTA	15024±700,0abcd	13401±835,7ab	14212±330,0a
INIAV6	14501±696,3abcd	10209±269,4ghijk	12355±389,0a
INIAV7	13853±997,3abcd	10466±370,9efghijk	12159±395,0a
INIAV8	15623±736,3abcd	10299±279,4fghijk	12961±462,7a
INIAV9	13725±860,2abcd	10764±313,6defghijk	12245±342,2a
INIAV10	13533±1111,9abcd	12599±491,1abcd	13066±348,4a
INIAV11	12381±998,3cd	12142±479,4abcdef	12262±311,2a
INIAV12	16407±1329,7abc	9595±187,6ijk	13001±642,3a
INIAV13	16818±1425,5ab	11466±334,6cdefghi	14142±579,5a
INIAV14	12716±427,1bcd	9245±431,9jk	10980±315,1a
HÉLVIO	13131±931,9bcd	10924±318,9defghijk	12027±323,7a
INIAV16	16066±767,6abcd	12507±324,2abcd	14286±358,5a
INIAV17	16474±1420,2abc	12187±458,7abcdef	14330±531,5a
INIAV18	15885±757,1abcd	11772±306,5bcdefgh	13828±388,8a
INIAV19	13544±927,0abcd	9018±208,5k	11281±436,5a
INIAV20	16096±1063,5abcd	11626±212,7bcdefgh	13861±457,3a
INIAV21	15654±632,1abcd	13691±414,6a	14672±259,7a
INIAV22	15034±908,8abcd	12855±446,5abc	13945±329,2a
INIAV23	13011±1496,7bcd	11262±207,0cdefghi	12136±444,4a
INIAV24	13549±1728,9abcd	10830±196,1defghijk	12189±530,5a
MARIALVA	13871±951,3abcd	9998±273,9hijk	11935±405,7a
INIAV26	16386±720,3abc	12217±206,2abcde	14301±381,5a
INIAV27	15921±1485,6abcd	12041±152,7abcdefg	13981±513,2a
INIAV28	17312±580,6a	12146±492,1abcdef	14729±448,5a
INIAV29	15103±676,2abcd	11224±161,5cdefghi	13163±354,7a
INIAV30	14693±621,4abcd	12615±482,4abcd	13654±271,8a
Media	14687± 24,7a	11335±14,0b	

Tabla III – Valores medios del Peso de 1000 granos (g) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Peso 1000 Granos (g)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	45,45±1,9abc	46,88±1,1efghi	46,16±0,6abc
INIAV2	45,25±1,6abc	47,35±0,8defgh	46,30±0,5abc
INIAV3	43,95±1,3bc	49,25±1,0bcde	46,60±0,6abc
INIAV4	48,15±1,7ab	48,40±0,5cdef	48,28±0,5abc
CELTA	46,10±0,6abc	44,53±0,6hij	45,31±0,3bc
INIAV6	46,30±1,2abc	50,03±1,5bcd	48,16±0,6abc
INIAV7	46,88±1,4ab	47,83±0,5cdefg	47,35±0,4abc
INIAV8	43,48±2,1bc	46,68±0,5efghi	45,08±0,6bc
INIAV9	46,33±0,4abc	44,60±0,6hij	45,46±0,2bc
INIAV10	46,50±2,6abc	44,88±0,9ghij	45,69±0,8bc
INIAV11	47,95±0,6ab	44,78±0,4hij	46,36±0,3abc
INIAV12	43,60±1,9bc	44,75±0,6hij	44,18±0,6bc
INIAV13	42,20±2,4bc	43,23±0,5j	42,71±0,7c
INIAV14	45,40±1,2abc	46,88±0,6efghi	46,14±0,4bc
HÉLVIO	46,40±1,6abc	50,53±0,4bc	48,46±0,6abc
INIAV16	44,43±1,5bc	49,33±0,8bcde	46,88±0,6abc
INIAV17	42,95±1,3bc	44,63±1,4j	43,29±0,5bc
INIAV18	40,65±0,6c	46,20±0,6fghij	43,43±0,5bc
INIAV19	50,93±0,5a	54,30±0,7a	52,61±0,4a
INIAV20	46,30±1,2abc	48,58±0,6cdef	47,44±0,4abc
INIAV21	46,60±0,9abc	44,70±0,7hij	45,65±0,3bc
INIAV22	42,25±1,1bc	46,83±0,3efghi	44,54±0,5bc
INIAV23	45,55±2,4abc	44,28±0,5ij	44,91±0,7bc
INIAV24	43,88±1,7bc	44,73±0,4hij	44,30±0,5bc
MARIALVA	47,13±1,2ab	52,10±0,6ab	49,61±0,5ab
INIAV26	43,83±1,8bc	49,00±0,5cdef	46,41±0,7abc
INIAV27	43,08±1,3bc	46,18±0,7fghij	44,63±0,5bc
INIAV28	42,88±0,6bc	48,73±0,3cdef	45,80±0,5bc
INIAV29	44,85±0,6abc	47,25±0,3defghi	46,05±0,3bc
INIAV30	44,50±0,6bc	48,08±0,7cdef	46,29±0,4abc
Media	47,15±0,04a	45,12±0,03b	

Tabla IV – Valores medios de la Altura de las plantas (cm) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Altura de la Planta (cm)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	81,75±0,7klmn	90,25±2,1bcd	86,00±0,9efghij
INIAV2	87,50±0,7defg	95,00±1,2ab	91,25±0,7bc
INIAV3	82,25±0,6ijkl	88,75±1,2cdefg	85,50±0,6fghijk
INIAV4	85,50±0,8fghijkl	87,00±1,3cdefghi	86,25±0,4efghi
CELTA	83,00±0,9ghijkl	82,50±0,8ijkl	82,75±0,3ijkl
INIAV6	91,50±0,8bcd	88,75±0,9cdefg	90,13±0,4bcd
INIAV7	83,25±0,7ghijkl	86,50±0,9cdefghij	84,88±0,4fghijkl
INIAV8	82,25±1,1ijkl	84,00±1,2efghijk	83,13±0,5ijkl
INIAV9	82,00±0,7jklm	82,75±1,6hijkl	82,38±0,5jklm
INIAV10	81,25±1,1lmno	85,00±1,9defghijk	83,13±0,7ijkl
INIAV11	77,00±0,5no	86,00±2,0cdefghij	81,50±0,9lmn
INIAV12	87,25±2,1defgh	80,75±0,7jkl	84,00±0,8hijkl
INIAV13	81,00±0,6lmno	77,00±0,8l	79,00±0,4mn
INIAV14	93,50±1,0abc	85,50±1,4cdefghijk	89,50±0,8cde
HÉLVIO	86,25±0,7fghijk	83,00±2,0ghijk	84,63±0,6ghijkl
INIAV16	87,00±1,2defghi	89,50±0,2bcde	88,25±0,4cdefg
INIAV17	82,50±0,8hijkl	81,25±0,8ijkl	81,88±0,3klmn
INIAV18	88,75±1,6cdef	82,50±0,7ijkl	85,63±0,7fghij
INIAV19	95,75±1,1ab	91,00±2,3bc	93,38±0,8b
INIAV20	86,75±0,6defghij	90,00±0,9bcd	88,38±0,4cdef
INIAV21	91,25±2,0bcde	84,00±1,6efghijk	87,63±0,9cdefgh
INIAV22	76,50±1,7o	80,00±1,4kl	78,25±0,7n
INIAV23	84,25±1,3fghijkl	84,00±1,9efghijk	84,13±0,6hijkl
INIAV24	77,25±0,6mno	86,00±0,5cdefghij	81,63±0,7lmn
MARIALVA	84,75±0,7fghijkl	83,25±1,1fghijk	84,00±0,4hijkl
INIAV26	96,50±1,6a	97,75±1,1a	97,13±0,5a
INIAV27	83,25±0,9ghijkl	82,75±1,0hijkl	83,00±0,4ijkl
INIAV28	84,75±1,3fghijkl	82,25±1,5ijkl	83,50±0,6ijkl
INIAV29	86,50±1,3efghijk	88,50±1,1cdefgh	87,50±0,5defgh
INIAV30	87,50±1,6defg	89,00±2,1cdef	88,25±0,8cdefg
Media	85,28±0,05a	85,82±0,05a	

Tabla V – Valores medios de la Biomasa a la Maduración (Kg/ha) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Biomasa a la Maduración (kg/ha)			
Genotipo	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	12920±396,6abcde	23070±1220,2abcde	17995±854,6a
INIAV2	11988±496,7bcde	23940±1479,0abcd	17964±1012,2a
INIAV3	14010±759,8abcd	23980±760,5abcd	18995±818,9a
INIAV4	13410±1047,6abcde	22400±1309,4abcdef	17905±832,2a
CELTA	10580±710,1e	26350±1951,3a	18465±1337,7a
INIAV6	13090±319,3abcde	18260±1062,5f	15675±502,7a
INIAV7	12858±768,0abcde	24780±1102,6abc	18819±985,4a
INIAV8	13735±1054,7abcd	21060±997,8cdef	17398±692,0a
INIAV9	12695±444,1abcde	20970±1118,8cdef	16833±716,5a
INIAV10	13533±426,9abcde	21700±281,7bcdef	17616±640,0a
INIAV11	13028±267,6abcde	23690±1048,9abcd	18359±869,0a
INIAV12	15413±817,6a	20520±1165,4cdef	17966±558,2a
INIAV13	14425±663,6abcd	18580±722,9ef	16503±420,1a
INIAV14	14640±526,1abc	23260±1848,8abcd	18950±850,9a
HÉLVIO	11630±763,3cde	23650±590,7abcd	17640±957,0a
INIAV16	14198±933,3abcd	22980±586,3abcde	18589±738,5a
INIAV17	13398±1400,1abcde	23030±692,9abcde	18214±856,2a
INIAV18	14738±305,1ab	21330±1010,6cdf	18034±584,1a
INIAV19	12585±855,8abcde	21460±145,0cdf	17023±720,1a
INIAV20	12708±1056,8abcde	23190±465,4abcd	17949±863,5a
INIAV21	14280±946,4abcd	22440±610,7abcdef	18360±698,7a
INIAV22	12213±717,8bcde	23260±904,6abcd	17736±903,7a
INIAV23	13730±681,8abcd	19560±1054,0def	16645±567,6a
INIAV24	13950±602,4abcd	24260±834,9abc	19105±838,6a
MARIALVA	14413±732,3abcd	23150±1757,4abcd	18781±854,7a
INIAV26	13810±483,7abcd	26050±1316,6ab	19930±1014,1a
INIAV27	13618±906,1abcde	23110±624,1abcde	18364±787,8a
INIAV28	13170±649,5abcde	21550±905,8bcdef	17360±712,2a
INIAV29	11328±431,2de	23620±1363,1abcd	17474±1020,8a
INIAV30	13210±487,0abcde	23560±749,4abcd	18385±829,2a
Media	13310±18,4b	22625±28,3a	

Tabla VI – Valores medios Índice de Cosecha (IC) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Índice de Cosecha (%)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	53.7±3.6abcd	20.9±4.2efgh	37.3±2.5abcdef
INIAV2	49.3±6.7bcde	22.3±2.6bcdefgh	35.8±5.5bcdefg
INIAV3	44.1±4.8cde	21.6±0.7cdefgh	32.9±5.4efg
INIAV4	45.6±8.9cde	24.0±2.8abcdefgh	34.8±4.6cdefg
CELTA	64.7±6.0a	23.8±4.3abcdefgh	44.3±3.8a
INIAV6	51.4±4.5bcde	28.7±3.6a	40.1±0.4abcd
INIAV7	52.1±9.0abcde	20.5±2.1fgh	36.3±1.8bcdefg
INIAV8	50.9±7.9bcde	23.1±1.6bcdefgh	37.0±1.8bcdef
INIAV9	50.4±6.0bcde	23.5±3.1abcdefgh	37.0±1.5bcdef
INIAV10	45.2±2.8cde	26.1±1.9abcdef	35.7±0.8bcdefg
INIAV11	45.1±4.5cde	23.1±1.6bcdefgh	34.1±2.0defg
INIAV12	45.7±3.3cde	21.4±2.4defgh	33.6±3.0defg
INIAV13	48.2±2.9bcde	26.8±1.5abcd	37.5±3.2abcdef
INIAV14	39.8±3.9e	19.2±2.2h	29.5±3.3g
HÉLVIO	52.3±3.3abcde	23.4±1.1abcdefgh	37.9±2.2abcde
INIAV16	50.7±3.4bcde	27.2±2.8abc	39.0±2.6abcde
INIAV17	49.6±8.8bcde	23.1±1.6bcdefgh	36.4±4.1bcdefg
INIAV18	43.7±3.1cde	25.7±1.3abcdefg	34.7±3.9cdefg
INIAV19	54.8±1.8abc	22.8±1.1bcdefgh	38.8±2.2abcde
INIAV20	60.2±7.8ab	24.4±1.1abcdefgh	42.3±4.4ab
INIAV21	52.0±4.8abcde	27.5±2.8ab	39.8±3.5abcde
INIAV22	52.1±3.4abcde	26.3±2.9abcde	39.2±2.9abcde
INIAV23	41.6±2.6de	25.8±1.4abcdefg	33.7±2.8defg
INIAV24	41.3±5.9de	20.2±1.8gh	30.8±2.7fg
MARIALVA	45.8±6.1cde	23.2±2.6abcdefgh	34.5±2.6defg
INIAV26	51.7±2.6abcde	23.5±2.7abcdefgh	37.6±2.8abcdef
INIAV27	49.8±5.6bcde	24.2±1.6abcdefgh	37.0±3.0bcdef
INIAV28	56.7±2.5abc	27.6±1.8ab	42.2±3.0ab
INIAV29	60.5±6.8ab	22.8±1.5bcdefgh	41.7±4.3abc
INIAV30	50.0±5.2bcde	25.7±1.2abcdefg	37.9±0.4abcde
Media	50.0±4.9a	23.9±2.1b	

Tabla VII – Valores medios del número de días al espigado de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Días al espigado después de 1 de Marzo			
Genotipo	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	35±0,5ijk	37±0,5h	36±0,3jk
INIAV2	46±0,6a	51±0,4a	48±0,4a
INIAV3	45±0,3a	49±0,8a	47±0,4ab
INIAV4	38±0,4efgh	49±0,8a	43±0,9cde
CELTA	37±0,5fghi	42±0,2defg	40±0,4hi
INIAV6	31±0,3l	35±0,7i	33±0,4l
INIAV7	34±0,6k	35±0,7hi	34±0,3kl
INIAV8	35±0,3jk	36±0,6hi	35±0,2kl
INIAV9	40±0,5bcde	42±0,3fg	41±0,2efghi
INIAV10	40±1,3bcde	42±0,3efg	41±0,4efghi
INIAV11	37±0,6fghij	44±0,3bcde	41±0,6efghi
INIAV12	36±0,8hijk	43±0,6cdefg	39±0,6i
INIAV13	39±0,6cdef	42±0,6defg	41±0,3efghi
INIAV14	40±0,2bcd	49±1,3a	45±0,7bc
HÉLVIO	36±1,0hijk	42±0,3defg	39±0,6ij
INIAV16	40±0,6bcd	42±0,2fg	41±0,2defghi
INIAV17	40±0,2bcd	44±0,3bcde	42±0,3cdefgh
INIAV18	38±0,4efgh	44±0,0bcde	41±0,5defghi
INIAV19	38±0,8efghi	43±0,3bcdef	40±0,5fghi
INIAV20	42±0,3b	45±0,2b	44±0,3cd
INIAV21	36±0,5ghij	44±0,3bcd	40±0,6ghi
INIAV22	38±0,4efgh	43±0,4bcdef	41±0,4efghi
INIAV23	38±0,7defg	45±0,3b	42±0,6defghi
INIAV24	40±0,2bcd	45±0,4b	43±0,4cdefg
MARIALVA	38±0,4efgh	41±0,3g	39±0,3i
INIAV26	42±0,2bc	45±0,4bc	43±0,3cdef
INIAV27	38±0,4efgh	42±0,3defg	40±0,4ghi
INIAV28	38±0,4efghi	42±0,3efg	40±0,4hi
INIAV29	38±0,5defg	43±0,7bcdef	41±0,5efghi
INIAV30	38±0,8efghi	42±0,3efg	40±0,4hi
Media	38±0,03b	43±0,03a	

Tabla VIII – Valores medios del número de días a la maduración fisiológica de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Días a la maduración después de 1 de Marzo			
Genotipo	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	93±0,2cdef	102±0,6fgh	97±0,8hijkl
INIAV2	94±0,3bc	103±0,5fgh	97±0,9defghi
INIAV3	97±0,2a	103±0,3a	100±0,5a
INIAV4	92±0,4ghi	103±0,3fgh	97±0,9cdefgh
CELTA	93±0,4cde	100±0,0cd	97±0,5ghijkl
INIAV6	88±0,2l	100±0,4j	94±1,0o
INIAV7	88±0,3l	100±0,6j	94±1,0o
INIAV8	91±0,2hij	101±0,2fgh	97±0,7lm
INIAV9	92±0,3efghi	102±0,6efg	97±0,8fghijk
INIAV10	92±0,3defgh	102±0,2def	97±0,7fghijk
INIAV11	93±0,2cdefg	101±0,4cde	97±0,6ghijkl
INIAV12	92±0,2fghi	104±0,4efgh	98±0,9bcde
INIAV13	91±0,3hij	104±0,3ghi	98±1,0cdefg
INIAV14	93±0,4cdefg	104±0,3cde	98±0,9bc
HÉLVIO	91±0,3hij	103±0,5ghi	97±0,9fghijk
INIAV16	92±0,3fghi	101±0,3efgh	96±0,7ijkl
INIAV17	91±0,2hij	102±0,2fgh	97±0,8hijkl
INIAV18	90±0,0jk	102±0,4i	96±0,9jkl
INIAV19	92±0,3fghi	101±0,3efgh	97±0,7hijkl
INIAV20	91±0,3hij	103±0,4ghi	97±0,9ghijkl
INIAV21	94±0,3cd	103±0,4c	98±0,7bcd
INIAV22	91±0,3ij	102±0,5hi	96±0,9ijkl
INIAV23	91±0,2hij	103±0,5fgh	97±0,9efghij
INIAV24	91±0,2hij	104±0,2fgh	98±1,0bcdef
MARIALVA	89±0,2l	102±0,3j	95±1,0mn
INIAV26	89±0,2kl	101±0,3j	95±0,9no
INIAV27	91±0,2hij	102±0,2fgh	96±0,8ijkl
INIAV28	95±0,3b	102±0,5b	99±0,6b
INIAV29	91±0,2hij	101±0,2fgh	96±0,7kl
INIAV30	91±0,2hij	101±0,3fgh	96±0,7kl
Media	91±0,02b	102±0,01a	

Tabla IX – Valores medios del número de días del llenado del grano de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Número de días del llenado del grano		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	53±0,4bc	64±0,8bc	58±0,9bc
INIAV2	43±0,2jk	52±0,8k	48±0,7q
INIAV3	49±0,7efghi	53±0,7jk	51±0,4nop
INIAV4	51±0,6cde	54±0,6jk	53±0,3mn
CELTA	53±0,3bc	56±0,5ghi	54±0,3ghijk
INIAV6	56±0,3a	64±0,3a	60±0,7a
INIAV7	52±0,6cde	64±0,3a	58±1,0bcd
INIAV8	54±0,3ab	64±0,0a	59±0,7ab
INIAV9	51±0,2cdefg	59±0,7bcde	55±0,7fghi
INIAV10	51±0,8cdefg	59±0,5bcde	55±0,7fghi
INIAV11	52±0,6bc	55±0,7hij	54±0,3hijklm
INIAV12	52±0,6cd	61±0,5b	56±0,7def
INIAV13	50±0,6defghi	61±0,3b	55±0,9fgh
INIAV14	51±0,4cde	54±1,2ijk	53±0,4lmn
HÉLVIO	51±1,2cdef	60±0,7bc	56±0,8efg
INIAV16	50±0,4cdefg	59±0,3bcde	55±0,7fghi
INIAV17	48±0,4i	57±0,4efgh	53±0,7mn
INIAV18	49±0,2fghi	58±0,3cdefg	53±0,7ijklm
INIAV19	48±0,7ghi	57±0,6fgh	52±0,7mn
INIAV20	49±0,6efghi	57±0,6fgh	53±0,6klmn
INIAV21	53±0,8bc	57±0,5efgh	55±0,4fghi
INIAV22	49±0,4ghi	58±0,7defgh	53±0,7jklm
INIAV23	48±0,5hi	57±0,8efgh	53±0,7mn
INIAV24	45±0,2j	59±0,3bcde	52±1,1mno
MARIALVA	41±0,2k	60±0,6bcd	51±1,4op
INIAV26	44±0,2j	56±0,2ghij	50±0,9p
INIAV27	50±0,3defghi	59±0,5bcde	54±0,7ghijkl
INIAV28	54±0,8ab	60±0,9bc	57±0,6cde
INIAV29	49±0,2efghi	58±0,6cdefg	54±0,7ijklm
INIAV30	51±0,6cdefg	59±0,3bcdef	55±0,7fghij
Media	50±0,03b	58±0,03a	

Tabla X – Valores medios de la Proteína del grano (% m.s.) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Proteína ms. (%)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	13,7±0,3abcde	11,0±0,5efghij	12,4±0,2cdefgh
INIAV2	12,5±0,1e	11,6±0,2cdefgh	12,0±0,1efgh
INIAV3	12,9±0,3cde	11,4±0,5cdefghi	12,1±0,2defgh
INIAV4	13,2±0,3bcde	10,5±0,4hi	11,8±0,3gh
CELTA	13,8±0,1abcd	11,7±0,2cdefg	12,7±0,2abcdef
INIAV6	13,3±0,3bcde	11,0±0,5efghij	12,1±0,2defgh
INIAV7	13,6±0,3abcde	11,5±0,5cdefghi	12,5±0,2bcdefgh
INIAV8	13,2±0,4bcde	11,4±0,7cdefghi	12,3±0,2cdefgh
INIAV9	14,0±0,4abc	11,8±0,6cdef	12,9±0,2abcd
INIAV10	13,3±0,4bcde	11,7±0,7cdefg	12,5±0,2bcdefgh
INIAV11	13,8±0,4abcd	12,3±0,7abcd	13,0±0,2abc
INIAV12	13,4±0,4abcde	12,3±0,7abcd	12,8±0,2abcde
INIAV13	13,8±0,3abcd	12,2±0,5abcd	13,0±0,2abc
INIAV14	12,7±0,2de	10,9±0,4fghij	11,7±0,2h
HÉLVIO	13,7±0,1abcde	11,9±0,2bcdef	12,8±0,2abcde
INIAV16	13,9±0,2abcd	10,7±0,3ghi	12,3±0,3cdefgh
INIAV17	13,2±0,1bcde	11,0±0,2fghij	12,0±0,2efgh
INIAV18	13,5±0,2abcde	11,8±0,3cdef	12,6±0,2bcdefg
INIAV19	13,5±0,3abcde	12,9±0,5ab	13,2±0,2ab
INIAV20	13,7±0,1abcde	11,5±0,2cdefghi	12,5±0,2bcdefgh
INIAV21	13,9±0,2abcd	10,9±0,4fghij	12,3±0,2cdefgh
INIAV22	14,1±0,1abc	11,4±0,2cdefghi	12,7±0,2abcdef
INIAV23	13,5±0,1abcde	12,0±0,2abcde	12,8±0,1abcde
INIAV24	12,7±0,2de	13,0±0,3a	12,8±0,1abcde
MARIALVA	14,6±0,4a	12,4±0,7abc	13,5±0,2a
INIAV26	13,0±0,3bcde	11,5±0,5cdefgh	12,2±0,2cdefgh
INIAV27	13,9±0,1abcd	11,3±0,2defghij	12,6±0,2bcdefg
INIAV28	13,5±0,2abcde	10,4±0,2abcde	11,9±0,3fgh
INIAV29	13,5±0,2abcde	10,8±0,3fghij	12,1±0,2defgh
INIAV30	14,2±0,2ab	10,8±0,1fghij	12,5±0,3bcdefgh
Media	13.6±0,1a	11,5±0,4b	

Tabla XI – Valores medios del SDS de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	SDS (mm)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	40,50±2,6abcd	32,25±0,9ghij	36,38±1,0abc
INIAV2	42,50±2,5ab	39,50±1,0bcd	41,00±0,8ab
INIAV3	38,00±4,1abcd	39,00±1,2bcde	38,50±1,2ab
INIAV4	37,00±1,8abcd	35,75±1,1defg	36,38±0,6abc
CELTA	30,00±3,6cd	21,00±0,4m	25,50±1,2c
INIAV6	36,50±2,4abcd	32,25±1,1ghij	34,38±0,8abc
INIAV7	44,75±1,9a	35,75±0,3defg	40,25±0,9ab
INIAV8	40,50±2,3abcd	33,25±0,5fghi	36,88±0,9ab
INIAV9	42,50±3,8ab	27,25±1,1kl	34,88±1,6abc
INIAV10	38,00±4,2abcd	25,75±0,7lm	31,88±1,5abc
INIAV11	39,25±1,1abcd	43,50±0,7ab	41,38±0,5ab
INIAV12	41,50±3,4abc	33,50±1,1fghi	37,50±1,2ab
INIAV13	40,75±2,8abc	33,25±1,8fghi	37,00±1,1ab
INIAV14	44,25±2,2a	40,75±1,0abc	42,50±0,7a
HÉLVIO	40,00±3,5abcd	45,25±0,9a	42,63±1,1a
INIAV16	38,50±3,6abcd	27,75±1,3ijkl	33,13±1,3abc
INIAV17	44,25±2,4a	32,50±1,8ghij	38,38±1,2ab
INIAV18	39,25±0,7abcd	35,75±0,7defg	37,50±0,4ab
INIAV19	43,25±3,4ab	37,50±0,6cdef	40,38±1,1ab
INIAV20	35,00±1,2abcd	37,50±1,0cdef	36,25±0,5abc
INIAV21	39,00±1,9abcd	32,75±1,2fghi	35,88±0,8abc
INIAV22	34,00±3,1abcd	29,75±1,6ijkl	31,88±1,0abc
INIAV23	41,75±4,2ab	25,25±1,3lm	33,50±1,8abc
INIAV24	34,25±1,5abcd	35,25±0,8defgh	34,75±0,5abc
MARIALVA	41,25±2,1abc	30,75±1,1hijk	36,00±1,0abc
INIAV26	36,00±2,0abcd	35,75±1,1defg	35,88±0,6abc
INIAV27	32,50±3,0bcd	34,50±1,2efghi	33,50±0,9abc
INIAV28	29,00±1,2d	31,25±0,8ghijk	30,13±0,4bc
INIAV29	34,00±1,0abcd	30,75±2,7hijk	32,38±0,8abc
INIAV30	39,00±3,0abcd	34,25±1,5efghi	36,63±1,0abc
Media	38,57±0,1a	33,64±0,1b	

Tabla XII – Valores medios de la Vitrosidad del grano (%) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Vitrosidad (%)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	99±0,4a	71±5,5defg	85±2,6ab
INIAV2	98±0,7a	85±1,6abcd	91±1,1ab
INIAV3	99±0,3a	78±4,7bcdef	89±2,1ab
INIAV4	98±0,3a	67±6,9fg	82±3,1ab
CELTA	99±0,4a	86±2,2abc	93±1,1ab
INIAV6	98±0,3a	75±2,7cdef	87±1,9ab
INIAV7	98±0,5a	85±2,0abcd	91±1,2ab
INIAV8	98±0,7a	85±3,6abcd	91±1,4ab
INIAV9	99±0,3a	85±2,5abc	92±1,3ab
INIAV10	98±0,6a	86±3,1abc	92±1,2ab
INIAV11	100±0,2a	92±2,6ab	96±0,9a
INIAV12	98±0,7a	82±2,7bcde	90±1,5ab
INIAV13	99±0,4a	88±2,9abc	93±1,2ab
INIAV14	94±1,8a	70±4,1efg	82±2,2ab
HÉLVIO	95±3,3a	83±2,3bcde	89±1,5ab
INIAV16	98±0,7a	58±2,1g	78±3,2b
INIAV17	98±0,9a	71±2,8efg	84±2,3ab
INIAV18	75±1,0b	87±1,6abc	81±4,2ab
INIAV19	97±0,6a	97±0,7a	97±0,3a
INIAV20	98±0,4a	77±2,6cdef	88±1,8ab
INIAV21	98±1,0a	68±3,3fg	83±2,5ab
INIAV22	98±0,5a	82±3,3bcde	90±1,6ab
INIAV23	97±1,1a	86±1,0abc	91±0,9ab
INIAV24	96±0,9a	77±1,1cdef	86±1,5ab
MARIALVA	98±0,5a	83±5,0bcde	91±1,8ab
INIAV26	97±0,8a	84±3,0abcde	90±1,3ab
INIAV27	98±1,1a	83±2,6bcde	90±1,4ab
INIAV28	97±1,0a	63±4,6fg	81±2,8ab
INIAV29	99±0,3a	78±4,9bcdef	89±2,1ab
INIAV30	99±0,4a	77±2,5cdef	88±1,9ab
Media	97±0,1a	80±0,1b	

Tabla XIII– Valores medios del Peso hectolitro (kg/hl) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Peso hectolitro (kg/hl)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	80,54±0,3hijkl	82,05±0,2klmn	81,29±0,1gh
INIAV2	80,61±0,2hijkl	82,55±0,3jkl	81,58±0,2defgh
INIAV3	81,28±0,3efghijkl	82,72±0,3ijk	82,00±0,2bcdefgh
INIAV4	81,19±0,3fghijkl	83,21±0,1ghij	82,20±0,2bcdefg
CELTA	82,64±0,6abcd	82,18±0,6kl	82,41±0,2bcdefg
INIAV6	82,22±0,3abcdef	82,71±0,1ijk	82,47±0,1bcdefg
INIAV7	82,58±0,1abcde	82,76±0,1hijk	82,67±0,2bcdefg
INIAV8	82,94±0,3abc	81,11±0,8mn	82,02±0,2bcdefgh
INIAV9	80,13±0,3kl	81,06±0,1n	80,60±0,3
INIAV10	80,79±0,4ghijkl	82,08±0,2klm	81,44±0,3efgh
INIAV11	81,13±0,1fghijkl	82,99±0,2hijk	82,06±0,2bcdefgh
INIAV12	80,18±0,4jkl	83,25±0,1fghij	81,72±0,2cdefgh
INIAV13	79,89±0,7l	83,23±0,2fghij	81,56±0,1efgh
INIAV14	82,24±0,2abcdef	84,04±0,1bcdefg	83,14±0,1abc
HÉLVIO	80,43±0,2ijkl	82,15±0,3kl	81,29±0,2
INIAV16	83,06±0,2ab	83,39±0,2defghij	83,23±0,2abc
INIAV17	81,21±0,4fghijkl	81,62±0,3lmn	81,42±0,2fgh
INIAV18	81,62±0,1cdefghi	83,65±0,2cdefghi	82,64±0,1bcdefg
INIAV19	82,01±0,2abcdefg	84,23±0,1bcdef	83,12±0,1abcd
INIAV20	82,40±0,1abcdef	83,38±0,1efghij	82,89±0,2abcdef
INIAV21	82,70±0,3abcd	83,21±0,2ghij	82,96±0,3abcdef
INIAV22	80,80±0,5ghijkl	83,56±0,0cdefghi	82,18±0,2bcdefg
INIAV23	81,15±0,5fghijkl	84,39±0,1abcd	82,77±0,2abcdefg
INIAV24	83,22±0,2a	85,36±0,1a	84,29±0,2a
MARIALVA	81,85±0,4bcdefgh	84,69±0,1ab	83,27±0,2ab
INIAV26	81,43±0,1defghij	84,51±0,1abc	82,97±0,1abcde
INIAV27	82,16±0,3abcdef	84,29±0,1bcde	83,22±0,1abc
INIAV28	82,71±0,2abcd	83,73±0,2bcdefgh	83,22±0,1abc
INIAV29	81,27±0,3efghijkl	81,55±0,1lmn	81,41±0,1fgh
INIAV30	81,47±0,2defghij	83,05±0,1ghijk	82,26±0,1bcdefg
Media	81,60±0,01b	83,09±0,01a	

Tabla XIV – Valores medios de las Cenizas (%) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Cenizas (%)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	1,71±0,0a	1,74±0,1abcdefg	1,73±0,0abcd
INIAV2	1,61±0,0abcd	1,66±0,0fg	1,63±0,0defgh
INIAV3	1,68±0,0abc	1,76±0,0abcdef	1,72±,0,0abcde
INIAV4	1,62±0,0abcd	1,67±0,0fg	1,65±0,0bcdefgh
CELTA	1,63±0,0abcd	1,69±0,0efg	1,66±0,0bcdefgh
INIAV6	1,67±0,0abc	1,87±0,0ab	1,77±0,0a
INIAV7	1,65±0,0abc	1,76±0,0abcdef	1,70±0,0abcdefg
INIAV8	1,62±0,0abcd	1,80±0,0abcdef	1,71±0,0abcdef
INIAV9	1,58±0,0abcd	1,77±0,0abcdef	1,67±0,0bcdefgh
INIAV10	1,62±0,0abcd	1,83±0,0abcde	1,73±0,0abcd
INIAV11	1,65±0,0abc	1,75±0,0abcdefg	1,69±0,0bcdefgh
INIAV12	1,53±0,0cd	1,85±0,0abcd	1,69±0,0bcdefgh
INIAV13	1,60±0,0abcd	1,74±0,0abcdefg	1,67±0,0bcdefgh
INIAV14	1,48±0,0d	1,67±0,0fg	1,58±0,0h
HÉLVIO	1,67±0,0abc	1,68±0,0fg	1,67±0,0bcdefgh
INIAV16	1,58±0,0abcd	1,71±0,0cdefg	1,65±0,0bcdefgh
INIAV17	1,57±0,0abcd	1,78±0,1abcdef	1,68±0,0bcdefgh
INIAV18	1,66±0,0abc	1,79±0,0abcdef	1,72±0,0abcd
INIAV19	1,63±0,0abc	1,86±0,0abc	1,74±0,0abc
INIAV20	1,60±0,0abcd	1,61±0,0g	1,60±0,0gh
INIAV21	1,56±0,1bcd	1,71±0,0defg	1,63±0,0defgh
INIAV22	1,69±0,0ab	1,80±0,0abcdef	1,75±0,0ab
INIAV23	1,55±0,0bcd	1,67±0,0fg	1,61±0,0fgh
INIAV24	1,58±0,0abcd	1,70±0,0efg	1,64±0,0cdefgh
MARIALVA	1,65±0,0abc	1,88±0,0a	1,76±0,0a
INIAV26	1,69±0,0ab	1,77±0,0abcdef	1,73±0,0abcd
INIAV27	1,57±0,0abcd	1,66±0,1fg	1,61±0,0efgh
INIAV28	1,63±0,0abc	1,72±0,1bcdefg	1,68±0,0bcdefgh
INIAV29	1,71±0,0a	1,68±0,0fg	1,69±0,0bcdefgh
INIAV30	1,68±0,0abc	1,75±0,0abcdefg	1,71±0,0abcdef
Media	1,62±0,001b	1,74±0,001a	

Tabla XV – Valores medios del Rendimiento en Sémola (%) de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Rendimiento en sémola (%)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	55,63±0,9abcd	51,65±1,5abc	53,64±0,6a
INIAV2	55,35±0,6abcd	54,20±0,9a	54,78±0,3a
INIAV3	53,85±0,5bcd	52,25±1,4abc	53,05±0,4a
INIAV4	53,43±0,4cd	49,53±1,2abc	51,48±0,5a
CELTA	55,35±0,6abcd	53,30±1,4ab	54,33±0,5a
INIAV6	54,55±0,7abcd	51,80±1,3abc	53,18±0,5a
INIAV7	53,93±0,2bcd	50,73±0,9abc	52,33±0,4a
INIAV8	54,15±1,2bcd	50,88±1,1abc	52,51±0,5a
INIAV9	55,00±0,9abcd	51,33±0,8abc	53,16±0,4a
INIAV10	54,33±0,8abcd	52,00±1,0abc	53,16±0,4a
INIAV11	57,15±0,4a	51,80±1,3abc	54,48±0,6a
INIAV12	55,15±0,2abcd	49,50±0,9abc	52,33±0,5a
INIAV13	56,58±0,7ab	51,10±0,7abc	53,84±0,5a
INIAV14	54,05±0,6bcd	50,58±1,3abc	52,31±0,5a
HÉLVIO	52,85±1,1d	52,50±1,4abc	52,68±0,5a
INIAV16	54,35±0,4abcd	49,75±1,1abc	52,05±0,5a
INIAV17	55,10±1,0abcd	48,35±1,8c	51,73±0,8a
INIAV18	53,80±1,2bcd	51,85±0,6abc	52,83±0,4a
INIAV19	55,43±0,4abcd	51,90±1,3abc	53,66±0,5a
INIAV20	55,18±0,4abcd	50,75±0,9abc	52,96±0,4a
INIAV21	56,13±0,5abc	49,03±1,0bc	52,58±0,6a
INIAV22	55,18±0,1abcd	49,23±1,7bc	52,20±0,7a
INIAV23	52,83±0,6d	51,58±1,0abc	52,20±0,4a
INIAV24	54,95±0,5abcd	50,40±0,8abc	52,68±0,4a
MARIALVA	56,13±1,0abc	50,13±1,0abc	53,13±0,6a
INIAV26	56,58±0,3ab	53,10±1,1ab	54,84±0,4a
INIAV27	56,25±0,4abc	50,25±0,5abc	53,25±0,5a
INIAV28	55,63±0,4abcd	48,35±1,0c	51,99±0,6a
INIAV29	55,55±0,4abcd	48,75±0,3bc	52,15±0,5a
INIAV30	54,23±0,8bcd	49,68±0,8abc	51,95±0,5a
Media	54,95±0,02a	50,87±0,03b	

Tabla XVI – Valores medios del Índice de Gluten de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Índice de Gluten (IG)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	46,00±0,0ijkl	78,50±2,1ab	62,25±6,3bcde
INIAV2	57,50±2,1cd	71,00±1,4cde	64,25±2,6bcd
INIAV3	55,50±0,7de	79,50±6,4ab	67,50±4,8ab
INIAV4	53,50±0,7ef	71,00±5,7cde	62,25±3,5bcde
CELTA	48,00±1,4p	53,00±1,4lmno	50,50±6,7j
INIAV6	49,00±1,4ghi	64,00±0,0efghij	56,50±2,9defg
INIAV7	46,50±0,7hijkl	60,00±4,2hijkl	53,25±2,7fgh
INIAV8	58,00±1,4cd	78,00±5,7abc	68,00±4,0ab
INIAV9	48,00±0,0ghij	54,00±4,2lmno	51,00±1,4ghi
INIAV10	43,50±0,7klmn	51,50±0,7no	47,50±1,6hi
INIAV11	59,00±2,8cd	70,50±2,1de	64,75±2,3bc
INIAV12	60,00±2,8c	67,00±1,4defgh	63,50±1,5bcde
INIAV13	57,00±1,4cde	56,00±1,4klmn	56,50±0,4defg
INIAV14	67,00±0,0b	72,50±12,0bcd	69,75±2,5ab
HÉLVIO	73,50±0,7a	52,50±3,5mno	48,00±4,1bcde
INIAV16	43,00±1,4lmn	65,00±1,4efghi	54,00±4,3fgh
INIAV17	65,00±0,0b	83,50±0,7a	74,25±3,6a
INIAV18	56,50±2,1cde	69,50±0,7def	63,00±2,5bcde
INIAV19	50,00±1,4fgh	62,50±3,5fghijk	56,25±2,5efg
INIAV20	45,50±2,1ijkl	48,50±3,5o	47,00±1,0hi
INIAV21	31,00±1,4o	57,00±0,0jklmn	44,00±5,0i
INIAV22	44,00±1,4klm	54,00±2,8lmno	49,00±2,0ghi
INIAV23	40,00±4,2n	48,00±2,8o	44,00±1,8i
INIAV24	40,50±3,5mn	57,50±2,1jklmn	49,00±3,4ghi
MARIALVA	45,00±1,4jkl	59,00±1,4ijklm	52,00±2,7fgh
INIAV26	57,00±1,4cde	68,50±2,1defg	62,75±2,3bcde
INIAV27	58,00±0,0cd	66,50±0,7defgh	62,25±1,6bcde
INIAV28	47,00±1,4ghijk	57,00±2,8jklmn	52,00±2,0fgh
INIAV29	50,50±2,1fg	61,50±0,7ghijk	56,00±2,2efg
INIAV30	53,50±3,5ef	65,00±1,4efghi	59,25±2,3cdef
Media	50,62±0,18b	63,40±0,17a	

Tabla XVII – Valores medios del índice de amarillos (PCI) del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotipos estudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Índice de Amarillos (PCI)		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	88,84±0,0abc	86,10±2,4abcd	87,47±0,7ab
INIAV2	87,94±1,0cdefghij	85,30±2,0abcde	86,62±0,7ab
INIAV3	88,12±0,5bcdefgh	85,30±1,1abcde	86,71±0,6ab
INIAV4	88,07±0,2cdefghi	86,40±0,0abcd	87,24±0,3ab
CELTA	88,36±0,7abcdef	85,25±2,3abcde	86,81±0,8ab
INIAV6	89,04±0,5a	85,55±0,6abcde	87,30±0,7ab
INIAV7	88,61±0,1abcdef	85,05±2,3abcde	86,83±0,8ab
INIAV8	89,03±0,3ab	85,95±0,6abcd	87,49±0,6ab
INIAV9	88,28±0,5abcdefg	85,80±1,0abcde	87,04±0,5ab
INIAV10	88,83±0,1abc	86,75±1,8abcd	87,79±0,5ab
INIAV11	87,40±0,9ghijk	83,60±2,3de	85,50±0,9ab
INIAV12	88,31±0,1abcdefg	86,90±2,1ab	87,60±0,5ab
INIAV13	88,38±0,2abcdef	85,70±1,1abcde	87,04±0,6ab
INIAV14	88,79±0,3abcd	87,85±2,1a	88,32±0,4a
HÉLVIO	86,65±0,1k	82,65±2,2e	84,65±0,9b
INIAV16	88,73±0,3abcde	86,80±2,1abc	87,76±0,6ab
INIAV17	88,40±0,2abcdef	85,35±0,4abcde	86,87±0,6ab
INIAV18	88,30±0,8abcdefg	85,35±0,5abcde	86,82±0,6ab
INIAV19	88,15±0,1abcdefgh	84,10±0,3bcde	86,13±0,8ab
INIAV20	87,90±0,8defghij	86,70±2,7abcd	87,30±0,6ab
INIAV21	88,43±0,5abcdef	86,95±1,3ab	87,69±0,4ab
INIAV22	87,10±0,1jk	84,90±2,3abcde	86,00±0,6ab
INIAV23	87,18±0,1ijk	85,95±2,1abcd	86,57±0,5ab
INIAV24	88,64±0,6abcdef	86,50±0,4abcd	87,57±0,4ab
MARIALVA	87,31±0,3hijk	85,80±0,4abcde	86,56±0,3ab
INIAV26	87,42±0,0ghijk	83,65±0,5cde	85,54±0,7ab
INIAV27	87,87±0,2efghij	85,55±0,6abcde	86,71±0,5ab
INIAV28	87,93±0,5cdefghij	86,45±0,9abcd	87,19±0,3ab
INIAV29	87,74±0,0fghij	86,40±0,8abcd	87,07±0,3ab
INIAV30	87,89±0,2defghij	85,05±0,5abcde	86,47±0,6ab
Media	88,12±0,01a	85,66±0,03b	

Tabla XVIII – Valores medios del Índice L* del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotiposestudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Índice L*		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	85,55±0,3ab	83,35±2,1abc	84,45±0,6a
INIAV2	84,85±1,3bcdefg	82,15±2,2abc	83,50±0,7a
INIAV3	84,90±0,6bcdefg	82,05±0,4abc	83,48±0,6a
INIAV4	85,43±0,4abcd	83,55±0,4abc	84,49±0,4a
CELTA	85,08±0,9abcdef	82,05±2,1abc	83,57±0,7a
INIAV6	85,54±0,4abc	82,05±0,1abc	83,79±0,7a
INIAV7	85,50±0,5abc	82,00±2,3abc	83,75±0,8a
INIAV8	85,63±0,2ab	82,35±0,9abc	83,99±0,7a
INIAV9	85,05±0,7abcdef	82,60±1,1abc	83,82±0,5a
INIAV10	85,55±0,2ab	83,35±2,3abc	84,45±0,6a
INIAV11	84,31±1,0efg	80,40±1,7c	82,35±0,8a
INIAV12	84,81±0,1bcdefg	83,95±2,5ab	84,33±0,5a
INIAV13	84,74±0,3bcdefg	82,70±1,1abc	83,72±0,5a
INIAV14	85,61±0,2ab	84,40±2,4a	85,01±0,5a
HÉLVIO	85,22±0,0abcdef	80,85±2,3bc	83,04±1,0a
INIAV16	85,99±0,2a	84,30±2,1a	85,14±0,5a
INIAV17	85,22±0,3abcdef	82,70±0,6abc	83,96±0,5a
INIAV18	84,95±1,0abcdef	82,15±0,8abc	83,55±0,6a
INIAV19	84,48±0,0cdefg	80,70±0,1bc	82,59±0,7a
INIAV20	85,17±1,0abcdef	83,30±3,0abc	84,24±0,7a
INIAV21	85,34±0,3abcde	83,90±1,3ab	84,62±0,4a
INIAV22	83,84±0,1g	81,95±2,5abc	82,90±0,6a
INIAV23	84,27±0,1fg	83,10±1,8abc	83,68±0,4a
INIAV24	85,17±0,4abcdef	83,60±0,6abc	84,39±0,3a
MARIALVA	84,40±0,4defg	83,60±0,7abc	83,99±0,2a
INIAV26	84,76±0,0bcdefg	81,45±0,6abc	83,11±0,6a
INIAV27	85,07±0,0abcdef	83,00±0,4abc	84,04±0,4a
INIAV28	85,17±0,5abcdef	84,30±0,7a	84,74±0,2a
INIAV29	85,75±0,0ab	84,35±0,6a	85,05±0,3a
INIAV30	85,70±0,4ab	83,15±0,4abc	84,42±0,5a
Media	85,10±0,01a	82,78±0,03b	

Tabla XIX – Valores medios del Índice a* del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotiposestudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Índice a*		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	-1,59±0,1ijk	-1,20±0,1cd	-1,40±0,1cde
INIAV2	-1,16±0,1cdefghi	-0,95±0,2bcd	-1,06±0,1bcde
INIAV3	-1,36±0,2fghijk	-0,90±0,3bcd	-1,13±0,1bcde
INIAV4	-1,22±0,1defghij	-1,05±0,2bcd	-1,14±0,1bcde
CELTA	-1,35±0,3fghijk	-1,00±0,3bcd	-1,17±0,1bcde
INIAV6	-1,48±0,5hijk	-1,00±0,1bcd	-1,24±0,1bcde
INIAV7	-1,22±0,0defghij	-1,20±0,0cd	-1,21±0,0bcde
INIAV8	-1,45±0,2ghijk	-0,90±0,3bcd	-1,17±0,1bcde
INIAV9	-1,26±0,1efghij	-0,90±0,7bcd	-1,08±0,2bcde
INIAV10	-1,40±0,2fghijk	-1,10±0,4bcd	-1,25±0,1bcde
INIAV11	-1,00±0,1bcdefgh	-0,65±0,1bc	-0,83±0,1bcd
INIAV12	-1,60±0,3ijk	-1,25±0,6cd	-1,42±0,2de
INIAV13	-1,60±0,0ijk	-0,85±0,9bcd	-1,23±0,2bcde
INIAV14	-1,69±0,2jk	-1,60±0,4d	-1,65±0,1e
HÉLVIO	0,02±0,2a	0,40±0,0a	0,21±0,1a
INIAV16	-1,49±0,4hijk	-1,00±0,7bcd	-1,25±0,2bcde
INIAV17	-1,34±0,2fghijk	-1,10±0,7bcd	-1,22±0,2bcde
INIAV18	-1,38±0,2fghijk	-0,95±0,2bcd	-1,17±0,1bcde
INIAV19	-1,37±0,1fghijk	-0,75±0,6bcd	-1,06±0,2bcde
INIAV20	-1,69±0,5jk	-1,05±0,6bcd	-1,37±0,2cde
INIAV21	-0,93±0,6bcdef	-1,15±0,5cd	-1,04±0,2bcde
INIAV22	-0,74±0,1bcd	-1,22±0,1cd	-0,97±0,1bcde
INIAV23	-0,98±0,0bcdefg	-0,65±0,8bc	-0,81±0,2bcd
INIAV24	-1,77±0,1k	-1,30±0,1cd	-1,54±0,1de
MARIALVA	-0,68±0,3bc	-0,55±0,1bc	-0,61±0,1bc
INIAV26	-0,67±0,2b	-0,25±0,5ab	-0,46±0,1ab
INIAV27	-1,08±0,0bcdefgh	-0,80±0,1bcd	-0,94±0,1bcde
INIAV28	-1,13±0,0bcdefghi	-1,10±0,1bcd	-1,11±0,0bcde
INIAV29	-0,80±0,2bcde	-0,75±0,2bcd	-0,78±0,1bcd
INIAV30	-0,92±0,2bcdef	-0,80±0,1bcd	-0,86±0,0bcde
Media	-1,21±0,01a	-0,92±0,01b	

Tabla XX – Valores medios del Índice b* del Minolta CIE en la sémola de los 30 genotiposestudiados obtenidos por el programa estadístico Statistix 8.0 y el resultado del test de Tukey's de mínima diferencia significativa (MDS) a $P \leq 0,05$ durante los años agrícolas 2011/12 y 2012/13.

Genotipo	Índice b*		
	2011/12	2012/13	Año medio
INIAV1	23,93±1,1abcd	21,50±1,8abcdefg	22,71±0,6abc
INIAV2	23,08±1,1abcd	23,00±0,7abc	23,04±0,2ab
INIAV3	23,60±0,2abcd	23,30±3,0ab	23,45±0,6a
INIAV4	21,39±0,8cdef	22,25±1,2abcde	21,82±0,3abc
CELTA	23,85±0,8abcd	23,25±1,3ab	23,55±0,3a
INIAV6	24,73±0,5ab	24,15±2,5ab	24,44±0,5a
INIAV7	23,22±1,4abcd	22,60±0,7abcde	22,91±0,3abc
INIAV8	24,37±0,3abc	24,50±0,8a	24,44±0,2a
INIAV9	23,66±0,6abcd	23,30±0,4ab	23,48±0,2a
INIAV10	23,92±0,3abcd	23,95±1,6ab	23,94±0,3a
INIAV11	23,06±0,2abcd	22,85±2,5abcd	22,96±0,5abc
INIAV12	24,63±0,1ab	22,65±0,9abcde	23,64±0,4a
INIAV13	25,11±0,0a	22,60±0,1abcde	23,86±0,5a
INIAV14	23,53±0,3abcd	24,40±0,7a	23,96±0,2a
HÉLVIO	15,67±0,6g	17,00±0,1h	16,33±0,3d
INIAV16	21,87±0,5bcde	20,60±0,1bcdefgh	21,24±0,3abc
INIAV17	23,46±1,9abcd	21,20±0,7abcdefg	22,33±0,6abc
INIAV18	24,08±0,4abcd	23,30±1,0ab	23,69±0,3a
INIAV19	25,18±0,4a	23,65±0,6ab	24,42±0,3a
INIAV20	21,13±0,2def	19,15±0,6defgh	20,14±0,2abcd
INIAV21	23,22±0,5abcd	22,70±0,4abcde	22,96±0,2abc
INIAV22	23,61±0,0abcd	22,10±0,4abcdef	22,85±0,3abc
INIAV23	22,35±0,2abcde	22,10±1,0abcdef	22,23±0,2abc
INIAV24	24,54±0,8ab	22,05±0,5abcdef	23,29±0,5a
MARIALVA	22,37±0,5abcde	19,45±1,3cdefgh	20,91±0,6abc
INIAV26	21,41±0,0cdef	19,10±0,1efgh	20,25±0,4abcd
INIAV27	22,01±0,6bcde	20,55±0,8bcdefgh	21,28±0,3abc
INIAV28	21,84±0,1bcde	19,15±0,6defgh	20,49±0,5abcd
INIAV29	18,55±0,2fg	18,45±1,1fgh	18,50±0,2cd
INIAV30	19,50±0,5ef	17,80±0,3gh	18,65±0,3bcd
Media	22,76±0,04a	21,76±0,04b	