

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS
Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Especialidad en Almacenamiento y Procesamiento de Granos

**Estudio de la Calidad de dos Variedades de Trigo
Panadero (*Triticum aestivum* L.) Sembrados Comercialmente**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

I.B. Gabriel Amilcar Barco Mendoza

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

APROBACIÓN

**Estudio de la calidad de dos variedades de trigo panadero (*Triticum aestivum* L)
sembrados comercialmente**

I.B. Gabriel Amilcar Barco Mendoza

Dr. Benjamín Ramírez Wong
Director de la tesis

Dr. Francisco Rodríguez Félix
Miembro del Comité de tesis

Dra. Patricia Isabel Torres Chávez
Miembro del Comité de tesis

M.A Alfonso Alvares Avilés
Miembro del Comité de tesis

DERECHOS DE AUTOR

El presente trabajo de tesis se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del grado de **Maestro en Ciencias** de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos para ponerla a disposición de los interesados. Se permiten citas breves del material contenido en la tesis sin permiso del autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. Para reproducir, o en su caso referirse a este documento en forma parcial o total, se deberá solicitar la autorización al Coordinador de Programa del Posgrado.

Bajo cualquier otra circunstancia se debe solicitar permiso directamente al autor.

Atentamente

I.B Gabriel Amilcar Barco Mendoza

Autor

Dra. Maribel Robles Sánchez

Coordinador del Programa de Posgrado

Hermosillo, Sonora

Noviembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo para cumplir esta meta.

Al **Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA)** por haberme brindado la oportunidad, los conocimientos y las instalaciones para cumplir esta meta.

Al **Dr. Benjamín Ramírez Wong** agradezco todo su apoyo y consejos para alcanzar esta meta tan importante en mi vida y desarrollo profesional.

Al **Dr. Francisco Rodríguez Félix** por su apoyo, amistad y orientación en el logro de esta meta.

A la **Dra. Patricia Isabel Torres Chávez** por todo su apoyo y orientación en este proyecto. Dra. Agradezco todo lo que me ha enseñado y creo que es un ejemplo a seguir, gracias por compartir sus conocimientos.

Al **M.C Alfonso Alvares Avilés** agradezco su apoyo en la parte agronómica, y orientación en este proyecto gracias.

Al **Ing. Gildardo Soto** por permitirme realizar esta investigación en su campo.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron en la realización de este trabajo gracias.

DEDICATORIA

A **Dios** primero le doy gracias por a verme puesto en el lugar y momento indicado para conocer a todas las personas que me rodean y estar siempre cuando lo necesito.

A mis padres **Q.F.B Gabriel Barco Miranda y la Sra. Silvia Leticia Mendoza Rodríguez** les dedico esta meta en mi vida, y les agradezco su apoyo incondicional muchas gracias.

A mis hermanos **Patricia Ivette, Lorenia y Alberto Anibal Barco Mendoza** por su apoyo durante estos dos años y toda mi vida hermanos los quiero.

A mi amiga **M.C Norma Julieta Salazar López** por su amistad y apoyo durante estos dos años, sabes que siempre tendrás un lugar especial en mi vida.

A mis compañeros de generación **Norma, Faviola, Fernanda, Maggy, Génesis, Nataly, Lupita, Xóchitl, Milagros, Gloria, Lety, Jesús, John e Iván** por su compañerismo y amistad gracias.

Al **personal del DIPA** por su apoyo y amistad a todos ellos gracias.

A mis amigos **Fernando García, Viry Clark, Diana Ballesteros, Ana cristina Quijada, Vanesa Vélez** por su amistad brindada los aprecio mucho amigos les deseo lo mejor gracias por acompañarme en esta meta.

RESUMEN

En México, el trigo es uno de los cereales de mayor importancia, siendo este el principal cultivo sembrado en el noroeste del país. Sin embargo, En los últimos años se ha visto una disminución en la calidad de este cereal por las sequías, manejo agronómico, cambios climáticos entre otros. El objetivo del presente trabajo es relacionar el manejo agronómico del cultivo comercial de dos variedades de trigo panadero, con las características de calidad y composición de las fracciones proteicas del gluten durante el desarrollo del grano. Se utilizaron dos variedades de trigo panadero las cuales fueron sembradas en la costa de Hermosillo bajo las mismas condiciones de manejo agronómico. Se monitoreo el desarrollo de la planta, así como el desarrollo del grano de trigo desde la antesis hasta la maduración del grano. A los granos se les determinó el contenido de humedad, proteína, proteína polimérica insoluble, contenido de almidón, proteína soluble, subunidades de gliadinas y gluteninas. Se realizo un análisis electroforético para conocer el contenido de gluteninas de alto y bajo peso molecular. Los resultados demostraron que la variedad fue la que influyó de manera significativa sobre los parámetros de calidad, siendo la variedad Roelfs la que presentó mejores características. En cuanto a los cambios ocurridos durante la formación del grano el tiempo fue el que influyó de manera significativa. El contenido de proteína total y proteína polimérica insoluble disminuye conforme se va desarrollando el grano esto es debido a la formación de los diferentes componentes del grano. Se observó que los principales cambios en la composición del grano se dan a los 134 días después de la siembra

(DDS) (31 días después de la antesis) para las dos variedades. Los primeros cuatro riegos con fertilización fueron los que influyeron en el desarrollo del cultivo debido a que son los que se observó un cambio en los diferentes parámetros medidos.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN	v
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
REVISION BIBLIOGRAFICA	3
Generalidades del Trigo.....	3
Clasificación del Trigo en México.....	4
Producción de Trigo en México.....	4
Usos del Trigo.....	6
Aspectos Agronómicos del Trigo.....	6
Características del Suelo y Labores de Labranza.....	8
Fertilización.....	9
Nitrógeno.....	9
Azufre.....	10
Temperatura.....	11
Riegos.....	13
Etapas Fenológicas del Trigo.....	13
Macollaje o Ahijamiento.....	15
Encañe.....	15
Espigamiento.....	16
Etapas de Maduración del Grano de Trigo.....	16
Fecundación de la Espiga.....	16
Desarrollo del Endospermo.....	18
Desarrollo del Grano.....	18
Composición Química del Grano de Trigo.....	20
Carbohidratos.....	20

Composición del Almidón.....	20
Lípidos.....	21
Fracciones Proteicas.....	21
Gliadinas.....	22
Gluteninas.....	22
Composición del Grano de Trigo Maduro.....	24
Humedad.....	24
Proteína.....	25
Panza Blanca.....	25
Peso Hectolitrico.....	25
Peso de Mil Granos.....	26
Métodos para la Medición de Fracciones Proteicas.....	26
Cromatografía Líquida de Alta Resolución.....	27
Cromatografía de Fase Inversa.....	27
Cromatografía de Alta Resolución de Exclusión Molecular.....	28
Electroforesis en Gel de Poliacrilamida.....	28
HIPOTESIS	29
OBJETIVOS	30
General.....	30
Específicos.....	30
MATERIALES Y MÉTODOS	31
Ubicación del Campo Comercial.....	31
Condiciones de Siembra.....	31
Materia Prima.....	33
Muestreo de Espigas.....	33
Determinaciones Agronómicas.....	34
Altura de la Planta.....	34
Diámetro del Tallo	34
Longitud y Peso de la Espiga	34
Número y Peso de Granos por Espiga	34

Contenido de Humedad	35
Medición de la Temperatura.....	35
Parámetros de Calidad del Grano de Trigo.....	35
Rendimiento.....	35
Número de Macollos.....	35
Número de Espigas por Área.....	36
Contenido de Panza Blanca.....	36
Peso Hectolítrico.....	36
Peso de Mil Granos.....	37
Composición Química Durante el Desarrollo del Grano.....	37
Contenido de Almidón	37
Contenido de Proteína y Proteína Polimérica Insoluble.....	37
Fracciones Solubles Separadas por Exclusión Molecular (SE-HPLC).....	38
Cromatografía de Fase inversa para Gliadinas (RP-HPLC).....	38
Cromatografía de Fase inversa para Gluteninas	39
Electroforesis SDS-PAGE de Proteínas del Trigo.....	39
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
Determinaciones Agronómicas.....	41
Altura de la Planta.....	41
Diámetro del tallo... ..	44
Longitud y Peso de la Espiga	46
Número y Peso de Granos por Espiga	50
Composición Química Durante el Desarrollo del grano.....	54
Contenido de Humedad	54
Contenido de Almidón	57
Contenido de Proteína y Proteína Polimérica Insoluble	59
Fracciones Solubles Separadas por Exclusión Molecular	62
Cromatografía de Fase Inversa para Gliadinas (RP-HPLC).....	70
Cromatografía de Fase Inversa para Gluteninas.....	77

Electroforesis SDS-PAGE de Proteínas del Trigo.....	85
Parámetros de Calidad del Grano de Trigo	85
Contenido de Panza Blanca.....	88
Número de Macollos.....	88
Rendimiento.....	88
Peso de Mil Granos.....	90
Peso Hectolitrico.....	90
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES.....	92
REFERENCIAS.....	93

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1 Rango general de temperaturas favorables (zonas de máximo crecimiento vegetativo) y temperaturas desfavorables (estrés) para trigo	12
2 Etapas fenológicas del cultivo de trigo.....	14
3 Doble fecundación, formación del sincito y celularización del desarrollo del endospermo de maíz.....	17
4 Secciones transversales de grano de trigo. A la izquierda secciones enteras de grano y a la derecha secciones amplificadas. A) 10 DDA inicia la acumulación de proteínas. Las flechas indican las células sub aleuronas; B) 18 DDA finaliza la división celular y comienza el llenado del grano; C) 22 DDA en la capa subaleurana se ha formado la totalidad de la proteína.....	19
5 Altura de planta de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial, a diferentes tiempos de desarrollo	43
6 Desarrollo del diámetro de planta de dos variedades de trigo sembrado a nivel comercial.....	45
7 Longitud de la espiga de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.....	48
8 Peso de la espiga de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.....	49
9 Número de granos por espiga de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.....	51
10 Peso de granos de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.....	53
11 Contenido de humedad del grano durante su desarrollo de dos variedades de trigo sembrada comercialmente.....	56

12	Contenido de almidón durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente	58
13	Contenido de proteína total durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente	60
14	Contenido de proteína polimérica insoluble durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente	61
15	Contenido de proteína soluble de la variedad Tacupeto con respecto al tiempo de maduración del grano. (PPS= proteína polimerica soluble, GLI =gliadinas y A+G= albuminas mas globulinas).....	64
16	Contenido de proteína soluble de la variedad Roelfs con respecto al tiempo de maduración del grano. (PPS= proteína polimérica soluble, GLI =gliadinas y A+G= albuminas mas globulinas).....	65
17	Contenido de PPS durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente	67
18	Contenido de gliadinas durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente	68
19	Contenido de albuminas y globulinas durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.....	69
20	Contenido de subclases de gliadinas de la variedad Tacupeto con respecto al tiempo de maduración del grano	72
21	Contenido de subclases de gliadinas de la variedad Roelfs con respecto al tiempo de maduración del grano	73
22	Contenido de gliadinas omega durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.....	74

23	Contenido de gliadinas alfa y beta durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.....	76
24	Contenido de gliadinas gama durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.....	78
25	Contenido de gluteninas de la variedad Tacupeto con respecto al tiempo de maduración del grano.....	81
26	Contenido de gluteninas de la variedad Roelfs con respecto al tiempo de maduración del grano.....	82
27	Contenido gluteninas de bajo peso molecular durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.....	83
28	Contenido de subunidades de gluteninas de alto peso molecular durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.....	84
29	Geles electroforéticos de proteínas de trigo (SDS-PAGE) de dos variedades de trigo. A) proteínas variedad Tacupeto. B) proteínas variedad Rolefs.....	86

LISTA DE TABLAS

TABLA		Página
1	Clasificación y características del trigo según su calidad.....	5
2	Producción anual de trigo nacional y del estado de Sonora.....	7
3	Clasificación de proteínas de acuerdo a Osborne.....	23
4	Fechas de aplicación de fertilizantes y riegos en los cultivos de trigo.....	32
5	Análisis de varianza, cuadrados medios (CM) y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo en la altura y grosor de la planta.....	42
6	Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad y el tiempo, sobre las características de la espiga durante el desarrollo del cultivo.....	47
7	Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y tiempo de desarrollo, sobre características químicas del grano de trigo durante su desarrollo.....	55
8	Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y tiempo de desarrollo, sobre las fracciones proteicas del grano.....	63
9	Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y el tiempo sobre el contenido subclases de gliadinas del grano durante su desarrollo, RP-HPLC	71

10	Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y el tiempo sobre el contenido de gluteninas del grano durante su desarrollo	79
11	Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad, sobre algunos parámetros de calidad del grano maduro.....	87
12	Parámetros de calidad del grano maduro de dos variedades de trigo (Tacupeto y Roelfs) sembrado a nivel comercial.....	89

INTRODUCCIÓN

En México, el trigo ocupa el segundo lugar en cuanto a la demanda del consumidor, y con este cereal se elaboran diferentes alimentos básicos para la dieta del mexicano. La producción de trigo en el período comprendido del año 2010-2011 fue de 3,627,510 Ton, siendo los principales estados productores Sonora, Baja California y Guanajuato (www.siap.gob.mx, Agosto 2012).

La fertilización nitrogenada es una de las prácticas agrícolas más comunes, ya que de ello depende el buen desarrollo del cultivo. El manejo agronómico tradicional es la aplicación de nitrógeno en grandes cantidades para tratar de incrementar el rendimiento de la producción. Esto ha llevado a una disminución en la calidad del trigo debido a que se está omitiendo el uso de otros nutrientes y, el modo de aplicación de los mismos varía en función del agricultor. Por otro lado, se conoce que la planta de trigo acumula aproximadamente del 50-70% de nitrógeno antes de la floración o antesis. Después es removido de las hojas y tallo hacia el grano durante su desarrollo (Barneix *et al.*, 2007). En los últimos años se ha observado que al aplicar a la planta un exceso de nitrógeno, en etapas posteriores a la antesis se ve inhibido el transporte del mismo hacia el grano. Esto provoca que el nitrógeno quede almacenado en el tallo de la planta y hojas en lugar de utilizarse para el llenado del grano.

La temperatura es un factor importante durante el desarrollo del cultivo de trigo. Además del genotipo, el rendimiento de trigo es fuertemente afectado por el estrés del calor. Las altas temperaturas afectan la polinización de la espiga llegando a

provocar el aborto de las flores, reduciendo la cantidad de granos por espiga. En contraste, una baja temperatura en la etapa de espigamiento provoca la muerte de la planta por helada. La temperatura óptima para el ciclo de crecimiento de trigo varía entre los 15-18 °C y específicamente para el llenado del grano de 20°C (Dupont *et al.*, 2003; Wardlaw *et al.*, 2002).

La producción agrícola enfrenta el reto de aprovechar en mayor medida los recursos económicos e insumos. Además la industria busca trigos de buena calidad para sus procesos y productos. Por lo tanto, es importante considerar las condiciones agronómicas para obtener trigos de mayor calidad. El objetivo del presente trabajo es relacionar el manejo agronómico del cultivo de dos variedades panaderas sembradas comercialmente con las características de calidad y composición de las fracciones proteicas del gluten durante el desarrollo del grano, así como el contenido de almidón

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Generalidades del Trigo

El trigo es uno de los principales granos empleados para la alimentación en muchos países. Con este cereal se elaboran varios productos de consumo masivo, como pan, tortilla, pasta, galleta y pasteles. Este cereal es una planta que pertenece al orden de las glumíferas y de la familia poacea. Se caracteriza por ser una planta anual, con crecimiento óptimo en suelos que están compuestos de piedra caliza y arcilla, aunque el rendimiento es satisfactorio en terrenos más ligeros. Se produce en climas sub-tropicales, moderadamente templados y moderadamente fríos, la temperatura media en el verano debe ser de 13°C o más. Los cultivos de trigo se refieren principalmente a dos especies: el trigo panadero *Triticum aestivum* ($2n = 6x$ AABBDD = 42), y el trigo tetraploide, duro *T. turgidum* duro ($2n = 4x = 28$ AABB), que se utiliza para la elaboración de pastas (Peng *et al.*, 2011). La producción de trigo representa más de una cuarta parte de la producción mundial de cereales. La cosecha anual en el mundo fluctúa entre los 220 millones de toneladas. Es una de las fuentes de calorías en la dieta humana, provee proteínas, carbohidratos y minerales (Reynolds *et al.*, 1999; Shi *et al.*, 2010). Esto hace que el trigo sea altamente sembrado por el hecho de que es muy adaptable a diversos entornos, generando altos rendimientos (Tosi *et al.*, 2009).

Clasificación del Trigo en México

Los trigos en México se clasifican en base a las propiedades que tiene el gluten, a diferencia de otros países como Estados Unidos y Canadá, donde se clasifican según sus hábitos de crecimiento. Los principales tipos de trigos cultivados en México, de acuerdo a su gluten, se dividen en 5 grandes grupos (Tabla 1). De estos los grupos I y III son los que tienen mayor demanda; sin embargo, los trigos cristalinos (grupo V) se siembran en mayor porcentaje.

Existen diversas variedades de trigos, que son difíciles de distinguir debido a sus semejanzas físicas. En la industria se clasifican de acuerdo a su consistencia, color, y textura que se obtienen en la molienda. Hay trigos rojos, amarillos, a su vez existen trigos duros, semiduros y blandos. Los trigos rojos, se cultivan en primavera, estos tienen un alto contenido proteico y producen harina de excelente calidad panadera; mientras que los trigos rojos blandos de invierno tienen menos proteína y se destinan para pasteles y otros productos.

Producción de Trigo en México

El trigo es uno de los cereales más importantes sembrados en México. Sin embargo, la producción de trigo panadero (*Triticum aestivum* L.) en Sonora se ha reducido desde fines de los años 90. En el Noroeste de México se siembra aproximadamente

Tabla 1. Clasificación y características del trigo según su calidad.

GRUPO	DENOMINACIÓN	CARACTERÍSTICAS
I	Fuerte	Posee las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria mecanizada de la panificación y para mezclas con trigos suaves.
II	Medio-Fuerte	Posee las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria artesanal y semimecanizada de pan así como para la mezcla de trigos suaves.
III	Suave	Posee las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria galletera y elaboración de otros productos
IV	Tenaz	Posee poca fuerza y valores de tenacidad altos aptos para mezclas y la producción de harinas con diferente te potencial en la industria pastelera y galletera
V	Cristalino	Aptos para la producción de pastas y semolinas

Fuente: NMX-FF-036-1996 SCFI

el 60% de la producción agrícola de todo el país (Tabla 2). El trigo de esta región es de ciclo de crecimiento de otoño-invierno bajo condiciones de riego (Figuroa *et al.*, 2011). Con la reducción de siembras de trigo panadero se ha aumentado la importación de este cereal. Los principales países donde México importa son Estados Unidos y Canadá (Valenzuela *et al.*, 2011).

Usos del trigo

Los cereales son ampliamente utilizados para la producción de diversos productos. El uso general de los cereales se puede clasificar en tres grandes categorías: 1) uso del grano entero o decorticado; 2) uso de los productos de molienda seca (harina, grits, salvado) y húmeda (almidón); e 3) industrialización del grano entero o fracciones de molienda. El trigo desde su cosecha hasta su transformación en producto final es sujeto a varios procesos y operaciones en la industria donde se obtiene la harina y subproductos (Serna, 2001).

Aspectos Agronómicos del Trigo

El rendimiento potencial del trigo está íntimamente ligado a las condiciones en las que se desarrolla el cultivo, y por ello, las prácticas agronómicas son de suma importancia. Optimizar los recursos disponibles como maquinaria, agua, mano de obra, semilla, fertilizantes, entre otros, son las principales limitantes en la producción agrícola.

Tabla 2. Producción anual de trigo nacional y del estado de Sonora.

Año	Superficie Sembrada (Ha)	Producción Nacional (Ton)	Producción Sonora (Ton)	Aporte del estado de Sonora (%)
2011	287,643	3,627,510	1,776,724	48.76
2010	297,602	3,431,699	1,917,971	55.89
2009	320,475	3,884,366	1,825,578	46.99
2008	288,677	3,835,830	1,764,136	45.99
2007	271,220	3,217,472	1,684,138	52.34
2006	259,836	3,086,979	1,599,521	51.81
2005	192,464	2,813,884	1,049,975	37.31

Fuente: Realizada por el autor con datos del SIAP (2011)

Características del Suelo y Labores de Labranza

El trigo requiere suelos profundos, para el buen desarrollo del sistema radicular. Los suelos arcillosos son poco permeables por lo que conservan demasiada humedad durante los inviernos lluviosos. Por otra parte, los suelos arenosos requieren abundante lluvia durante la primavera, debido a su escasa capacidad de retención de agua. Los suelos arcillosos al tener una excelente capacidad de retener agua forman agregados en conjunto con la materia orgánica. La superficie de estos agregados están cargados eléctricamente por lo que tienen la capacidad de retener algunos nutrientes en su superficie en especial los cationes amonio (NH_4^+). Debido a la agregación de las partículas, este tipo de suelos requiere una mayor fuerza de labranza para romper la dureza del suelo (Thompson *et al.*, 1988; Casanellas *et al.*, 2005). La preparación de labranza depende en gran medida de la maquinaria con la que cuente el agricultor. Sin embargo, las labores más comunes incluyen subsoleo, rastreo y bordeo. El subsoleo consiste en romper el suelo de arado, se realiza generalmente a 50-60 cm de profundidad, se lleva a cabo con tractor convencional con doble rodado trasero. Esta labor es lenta y costosa en la preparación de cultivos. Seguido al subsoleo viene el rastreo que se utiliza para reducir el tamaño de los terrones, reducir malezas, e incorporar fertilizantes y facilitar las labores de siembra. Por último, se realiza el bordeo que independientemente del nivel de labranza, se tienen que realizar para facilitar el manejo del agua de riego. La distancia de los bordes dependerá del tipo de suelo, nivelación y longitud de las melgas.

Fertilización

El crecimiento de las plantas y la calidad de estas dependen en gran medida de la función de la calidad del fertilizante y el agua (Wu *et al.*, 2007). Sin embargo, si un solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas se ve limitado y los rendimientos de los cultivos son reducidos. En consecuencia, a fin de obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos los nutrientes que están faltando en el suelo y así poder obtener buenos rendimientos (Monsalve *et al.*, 2009). Sin embargo, lograr una buena fertilización no es fácil, ya que del total de dosis de fertilizante aplicada la planta solo puede aprovechar del 10 al 60% en el mejor de los casos.

Nitrógeno

El nitrógeno (N) es el elemento principal para la determinación del rendimiento de los cultivos, especialmente en las siembras a gran escala. Una deficiencia de este nutriente produce una reducción en la capacidad fotosintética y se ve afectado el crecimiento de la planta (Shanggua *et al.*, 2000). En el trigo, la deficiencia de nitrógeno antes de la etapa de floración afecta el crecimiento de la planta y la capacidad fotosintética. Por otra parte, se ha sugerido que el nitrógeno acumulado antes de la antesis es el principal determinante en el contenido de N en el grano maduro. El N acumulado durante el desarrollo de la planta es almacenado en los tejidos vegetales en forma de proteínas. Esta fuente representa un 60-92% del N acumulado en los granos durante su desarrollo (Barbottin *et al.*, 2005). Durante el llenado del grano el N acumulado en las hojas y tallo es removido por las enzimas

proteolíticas, liberando los aminoácidos hacia el floema para trasportarlos al grano (Vierstra *et al.*, 1996; Triboi *et al.*, 2002). La regulación de la movilización de aminoácidos a partir de la hoja es un proceso que no se ha esclarecido en su totalidad. Sin embargo, la concentración de aminoácidos libres en los tejidos de la planta varía considerablemente con los regímenes de nitrógeno y las fuentes. Una fuente alta de N aumenta la concentración de aminoácidos libres en las hojas. Sin embargo, después de la antesis, la absorción de N será destinado principalmente a la formación del grano, esto a su vez dependerá de la disponibilidad en el suelo, del agua y la temperatura (Ferrise *et al.*, 2010).

Azufre

El azufre es otro de los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas (Nguyen *et al.*, 1992). Este elemento se encuentra en un 10% en forma de sulfato, principalmente en su forma orgánica (Watkinson *et al.*, 1996). Cuando el azufre es absorbido por la planta, este es incorporado rápidamente a la molécula de cisteína, donde después puede ser convertida a metionina. Una deficiencia de estos dos aminoácidos reduce el rendimiento y la calidad de los cultivos (Mengel *et al.*, 1987). Por otra parte, la disponibilidad de azufre contribuye al desarrollo de los cultivos, incrementa la eficacia en el uso de nitrógeno aplicado como fertilizante. Esto se debe principalmente a que el nitrógeno utilizado en la formación de aminoácidos, requiere de la disposición de azufre (Zia *et al.*, 1999; Nguyen *et al.*, 1992). El azufre también se ve involucrado en la absorción del fosforo, de manera que la deficiencia de un elemento limita la absorción del otro en el suelo (Mora *et al.*, 2002).

Zoerb *et al* (2010) encontraron que una fertilización moderada de nitrógeno con azufre estimula la síntesis de aminoácidos azufrados en el grano de trigo. Asimismo una alta fertilización nitrogenada puede inducir a una recesión en la absorción del azufre por la planta, provocando una baja calidad del grano.

Temperatura

La temperatura es un factor importante en el desarrollo del trigo, ya que de ella depende el desarrollo del mismo. Manejar adecuadamente las temperaturas puede favorecer el rendimiento del cultivo. Sin embargo, los cambios de temperatura puede llevar a pérdida parcial o total del cultivo. El estrés por calor debido al aumento de la temperatura es un problema agrícola en muchas zonas del mundo (Figura 1). Las altas temperaturas provocan una serie de cambios morfo-anatómicas, fisiológicos y bioquímicos en las plantas que repercutirán en la calidad del grano. En el trigo, las altas temperaturas durante la maduración del grano acortan el tiempo de maduración, así como el tiempo de apoptosis y endurecimiento del grano las cuales afectan el crecimiento y desarrollo de la planta por lo cual el rendimiento de los cultivos se ve drásticamente afectado dando como resultado pérdidas económicas (Altenbach *et al.*, 2003; Skylas *et al.*, 2002; Wahid *et al.*, 2007).

Por otro lado, se tienen las temperaturas bajas, denominadas horas frío. Una hora frío es la temperatura igual o menor a 10°C. Las horas frío alargan los periodos fenológicos en que se encuentre la planta. En etapa de macollaje es favorable, debido a que incrementa la duración de esta etapa, dando lugar a la formación de un mayor número de macollos. La etapa de macollaje en condiciones de estrés por calor

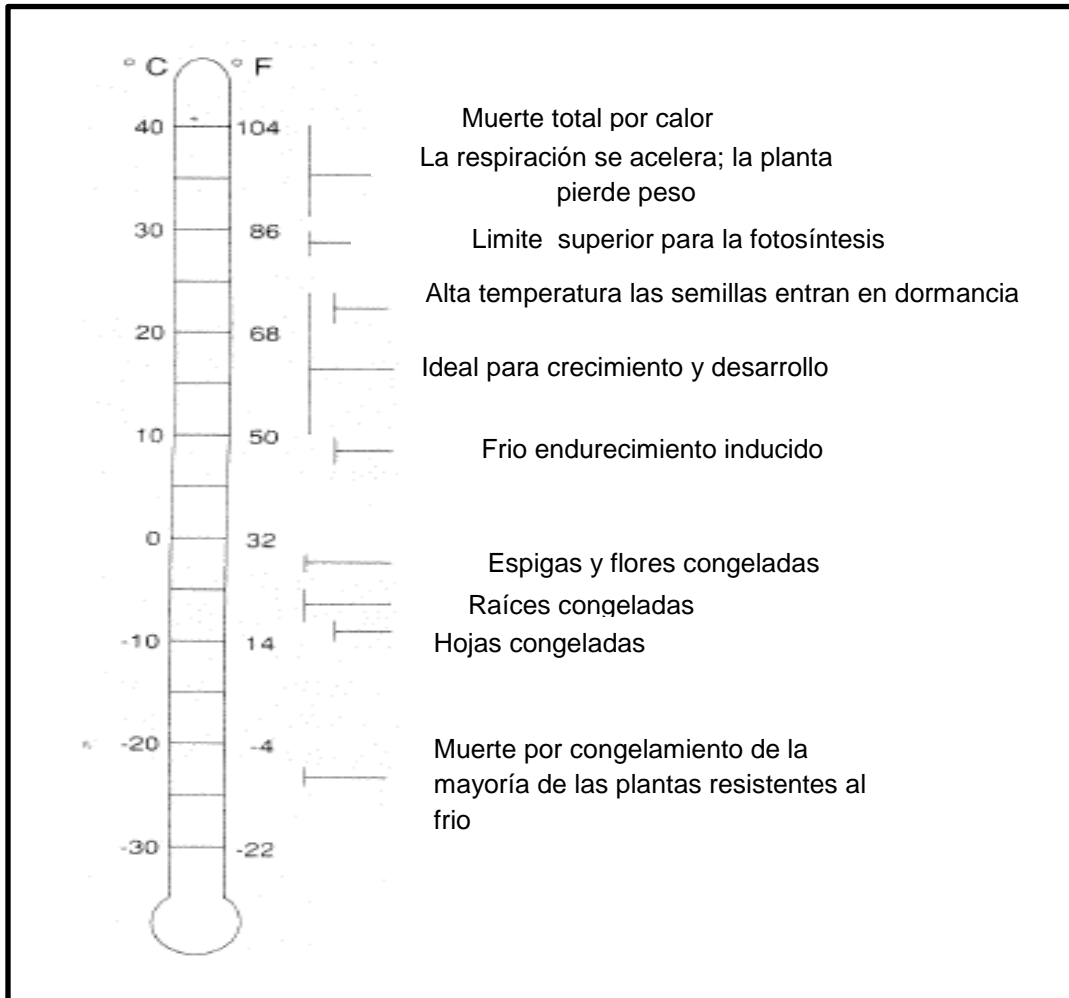


Figura 1. Rango general de temperaturas favorables (zonas de máximo crecimiento vegetativo) y temperaturas desfavorables (estrés) para trigo. Fuente: Cool and Veseth, (1991).

puede durar de 15-20 días y acumular escasamente 30 horas frío. Sin embargo, con temperaturas bajas puede aumentar de 30-35 días con una acumulación de 150 horas frío (Félix *et al.*, 2009).

Riegos

La producción de los cereales se ve limitada principalmente por la escases de agua, las condiciones climáticas y las precipitaciones irregulares. Por lo tanto, en las zonas de regadío, se tiene que considerar un programa de irrigación razonable para ayudar a los agricultores a aumentar el rendimiento y ahorro de agua siendo este un recurso limitante (Kharrou *et al.*, 2011). Los riegos afectan la disponibilidad de nutrientes en el suelo debido al efecto de la lixiviación. El estrés hídrico durante el desarrollo del grano provoca grandes pérdidas en el rendimiento del cultivo. Esta reducción se explica principalmente por la reducción en la acumulación de almidón ya que más del 65% del peso seco del trigo es almidón (Duffus *et al.*, 1992; Ahmadi *et al.*, 2001).

Etapas Fenológicas del Trigo

En el desarrollo del cultivo, desde la germinación hasta la producción de nuevas semillas, las plantas presentan cambios visibles llamadas etapas fenológicas. El comienzo y fin de estas etapas sirven de guía para conocer y entender el comportamiento del cultivo. En la caso del trigo se tienen tres etapas fenológicas importantes como son el macollaje, encañe y espigamiento (Figura 2).

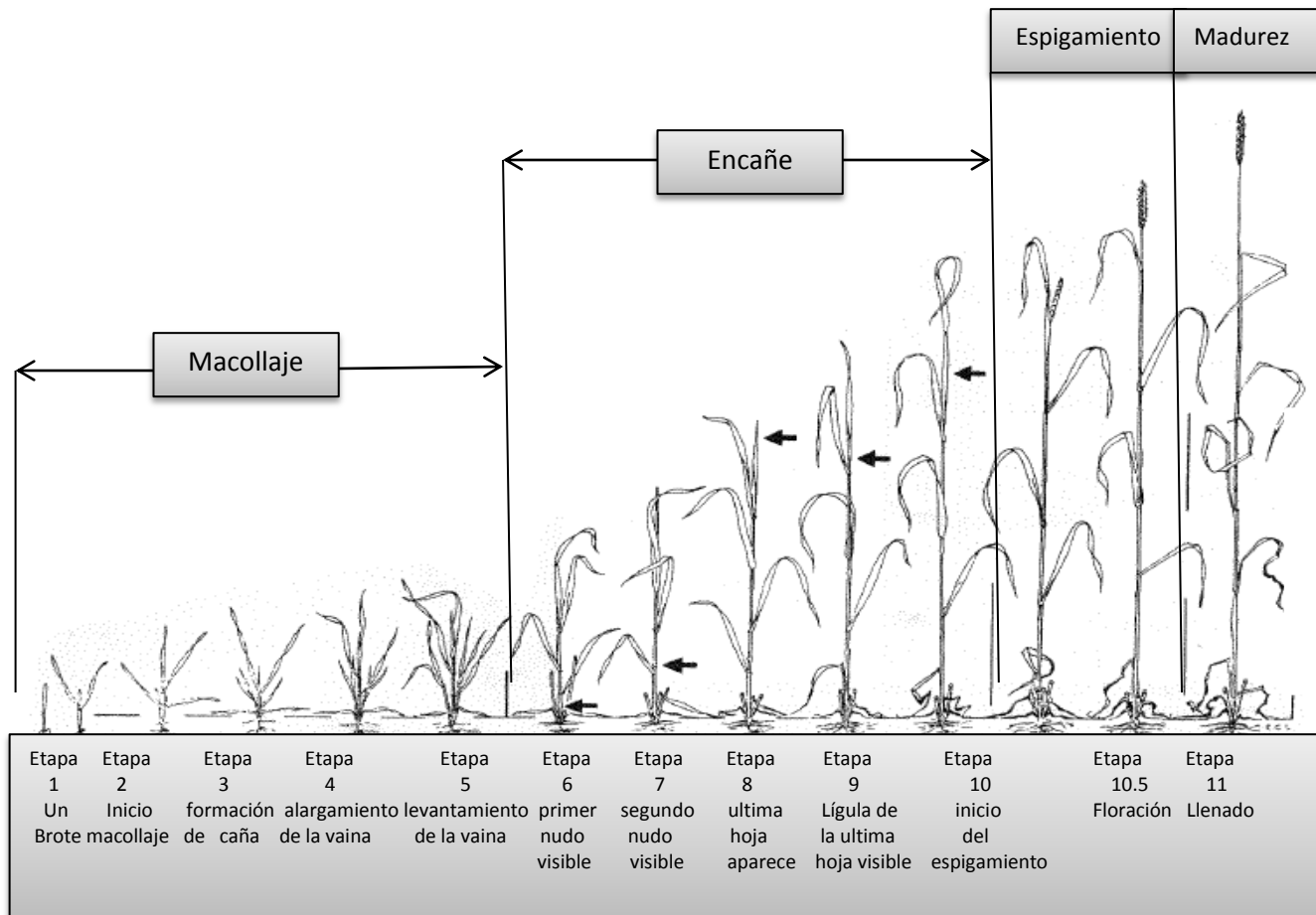


Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo de trigo.

Fuente: Cool and Veseth (1991).

Macollaje o ahijamiento

Después de emerger la planta, comienza la aparición de las primeras hojas del trigo seguido de los nudos del macollaje. Estos pueden ser de 3 a 5 nudos, de los cuales se formará una hoja. En la axila de cada hoja surgirán yemas axilares que darán origen a un tallo secundario. La cantidad de macollos producidos dependerá de la variedad, las condiciones climatológicas y el nitrógeno disponible en el suelo.

La nutrición durante el macollaje es de vital importancia sobre todo en cuanto a nitrógeno y fósforo. Un nivel bajo provocaría una disminución de la producción de macollos. El 61% del nitrógeno aplicado al cultivo de trigo es acumulado en las primeras etapas de desarrollo de la planta, en donde se acumula principalmente en las hojas (Girma *et al.*, 2011). La finalización de la etapa de macollaje coincide con la diferenciación de las espigas. Además de influir la duración del día y la temperatura que impere en la etapa (Guerrero, 1999).

Encañe

El encañado se presenta con el aumento del grosor del tallo. El crecimiento del tallo requiere de diversos elementos disponibles en el suelo, particularmente nitrógeno. El nitrógeno es utilizado para la formación de nucleoproteínas que darán origen a núcleos de células jóvenes. Es por ello que esta fase es conocida como “segundo periodo crítico” siendo el primero el macollaje. La producción de tallos portadores de espigas estará directamente relacionado con la temperatura, es decir, si la temperatura es elevada se presentarán menos espigas. En cambio una temperatura fresca sin llegar a congelamiento, favorecerá la formación de espigas (Guerrero, 1999).

Espigamiento

La fase de espigamiento determinará el crecimiento máximo de la planta. Se estima que la mayor parte de la materia seca es acumulada durante el macollaje y la floración. Las espigas pueden contener de 2 a 6 flores en las que su fertilidad dependerá de la evapotranspiración que se esté dando en ese momento.

Etapas de Maduración del Grano de Trigo

Fecundación de la Espiga

El trigo es una planta autógama, es decir, que la fecundación de la flor tiene lugar antes que su apertura, cuando las anteras aparecen en el exterior la flor ya esta fecundada. La fecundación de la espiga es el primer evento que ocurre para iniciar la formación de granos de trigo. Este proceso es llamado “doble fecundación” donde se fusionan el polen reproductivo con dos núcleos polares femeninos dentro del saco embrionario (Figura 3). Estos se encuentran rodeados por varios tejidos (epidermis nuclear, tegumento interno y externo y pericarpio) que son de origen materno (Bechtel *et al.*, 2009). La doble fecundación sincroniza el desarrollo del almacenamiento de nutrientes en la semilla y el desarrollo del embrión. Sin embargo, si una flor no es polinizada o las células de los gametos masculinos no son descargados en el saco embrionario, la fecundación no se produce (Campbell *et al.*, 2007).

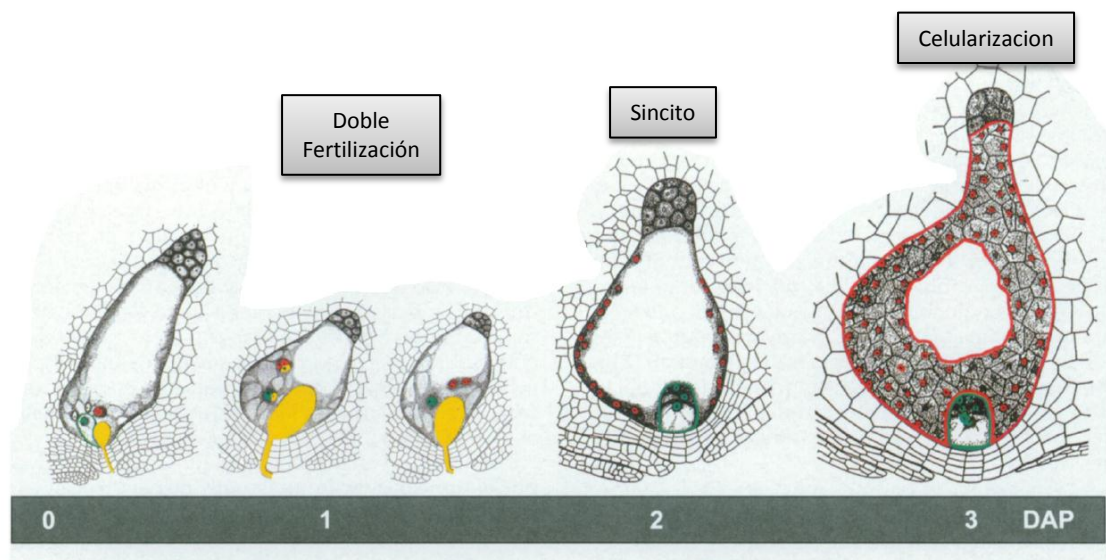


Figura 3. Doble fecundación, formación del sincito y celularización del desarrollo del endospermo de maíz.
Fuente: Paolo *et al.*, (2009).

Desarrollo del Endospermo

Después de la fertilización se producen numerosas divisiones mitóticas, dando lugar, a la formación de una célula multinucleada con una zona periférica del citoplasma y una vacuola central. Las células del endospermo son visibles al principio de la etapa de división celular, cuando la capa periférica comienza a diferenciarse. Estas células vacuoladas de pared delgada son las que formarán el endospermo amiláceo. Este proceso se completa aproximadamente dos semanas después de la floración y posteriormente, el crecimiento del endospermo se produce rápidamente junto con la expansión de las células.

Desarrollo del Grano

El desarrollo de grano (cariopsis) puede dividirse en tres fase: división, llenado del grano y maduración. Durante la primera fase que corresponde de cero a los catorce días pos anthesis (DPA), la estructura básica del grano se establece y el llenado del grano da inicio; sin embargo, existe poca acumulación de almidón y proteína (Figura 4). En la segunda fase llamada llenado del grano (14-28 DPA), es cuando comienza a aumentar el peso seco del grano, alrededor del doble de la primera fase. Durante el llenado del grano, la disponibilidad de carbohidratos se da por diferentes fuentes, como la fotosíntesis llevada acabo en ese momento y los carbohidratos que estén almacenados en el tallo, que son traslocados al grano (Ehdaie *et al.*, 2008; Bingham *et al.*, 2009).

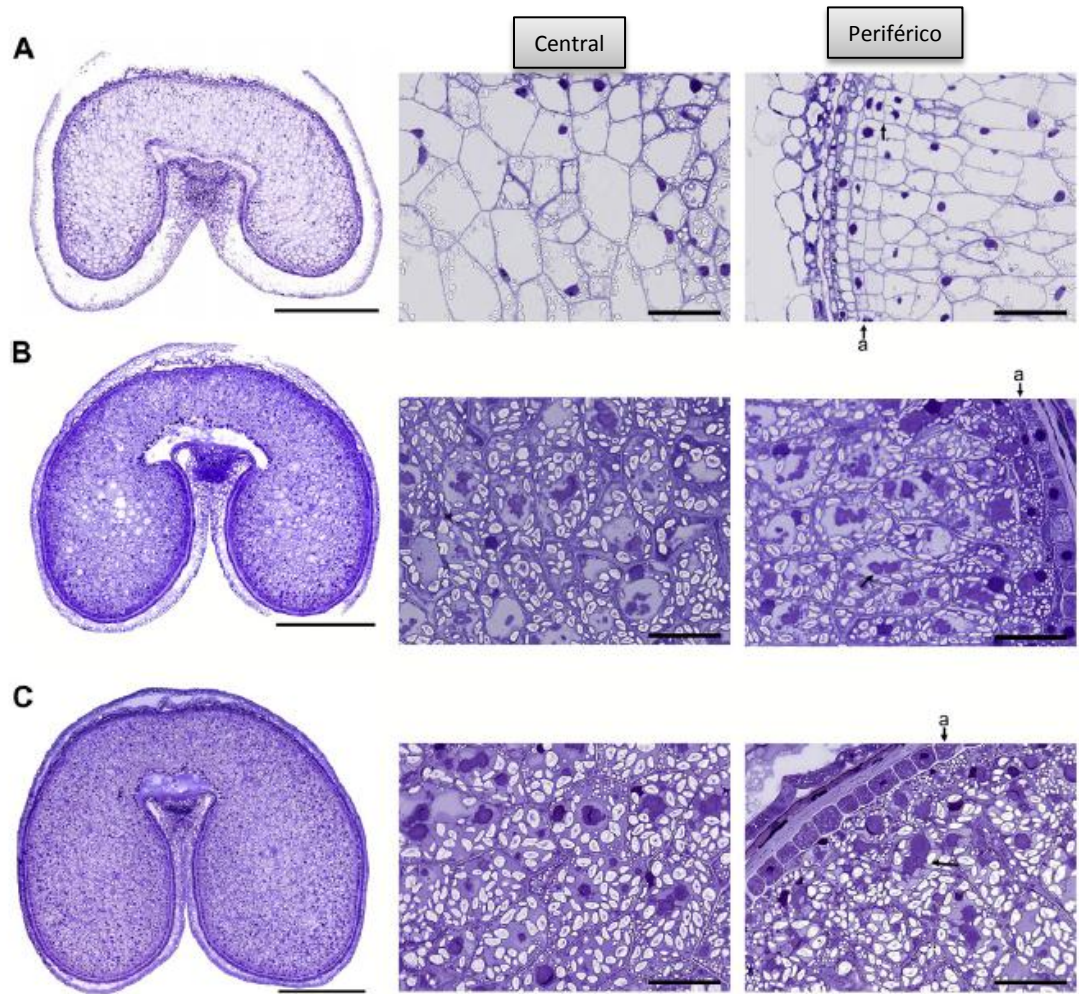


Figura 4. Secciones transversales de grano de trigo. A la izquierda secciones enteras de grano y a la derecha secciones amplificadas. A) 10 DDA inicia la acumulación de proteínas. Las flechas indican las células sub aleuronas; B) 18 DDA finaliza la división celular y comienza el llenado del grano; C) 22 DDA en la capa subaleurana se ha formado la totalidad de la proteína.

Fuente: Shewery *et al.*, (2012).

Finalmente, el llenado de grano disminuye después de los 28 DPA y es completado a los 35 DPA. Esta fase se distingue por la disminución rápida del peso seco después de los 42 DPA debido a la pérdida de humedad del grano para alcanzar su madurez fisiológica.

Composición Química del Grano de Trigo

Carbohidratos

Los carbohidratos son los componentes principales de reserva de la cariósida o semilla del trigo. Representan el 72% del peso seco, de los cuales del 60 al 68% está constituido por almidón, 6.5% de pentosas, 2.5% de celulosa y 1.5% de azúcares reductores (Quaglia, 1991).

Composición del Almidón

La principal fuente de reserva en el trigo es el almidón y está presente en las células del endospermo. Este se almacena en forma de pequeños gránulos, los cuales se clasifican en base a su tamaño en gránulos tipo A (>9 μ m) y tipo B (<9 μ m) (Zeng *et al.*, 2011). La estructura del almidón se compone de dos polisacáridos, la amilosa y amilopectina. La amilosa es de forma lineal y está compuesta de moléculas de D-glucosa con enlaces α 1-4 y bajo grado de polimerización (<104 unidades), y la amilopectina se caracteriza por sus formas ramificadas debidas a los enlaces α 1-6. La proporción de estos polisacáridos varía según la fuente del almidón. Por lo

general la amilopectina es la más abundante en el grano de trigo, comprende de un 70 a 80%, mientras que la amilosa de un 20 a 30%. Esta característica le da a cada polímero un efecto distinto sobre las propiedades fisicoquímicas (Ball *et al.*, 2003).

Lípidos

Los lípidos que predominan en las semillas son los triglicéridos, los fosfolípidos, esteroides y tocoferoles. El trigo contiene entre 1.5 a 2% de lípidos, los cuales se encuentran almacenados principalmente en el germen (Quaglia, 1991; Aparicio *et al.*, 2000).

Fracciones Proteicas

Las proteínas del trigo son los componentes más importantes y rigen la calidad del uso final del trigo. Una variación en el contenido y la composición modificaría significativamente la calidad de la harina para la industria panadera (Weegels *et al.*, 1996; Branlard *et al.*, 2001).

Las proteínas de almacenamiento de las semillas de trigo se clasifican en cuatro grupos: albúminas, globulinas, gliadinas y gluteninas. Estas proteínas se acumulan durante el llenado del grano, su principal función es proveer al grano de fuentes de nitrógeno durante la germinación de la semilla (Shewry *et al.*, 2002). Una forma de clasificar a las proteínas del trigo es utilizando la clasificación de Osborne (1924), la cual se basa en la solubilidad de las proteínas en diferentes soluciones: agua,

solución de sal diluida, solución alcohol y solución ácido o álcalis diluidos (Tabla 3) (Goesaert *et al.*, 2005).

Gliadinas

Las proteínas del trigo le imparten las propiedades viscoelásticas a la masa. Las gliadinas son las proteínas más abundantes en el grano de trigo y constituyen alrededor del 40% del total de las proteínas del endospermo. La expresión de las gliadinas dependerá de los genes y de las condiciones ambientales de desarrollo de la planta. Estas a su vez se dividen en α , β , γ y ω en base a su movilidad electroforética en geles ácidos (acid-PAGE, por sus siglas en inglés) (Ram *et al.*, 2005).

Gluteninas

Las subunidades de gluteninas de alto peso molecular (SGAPM) son codificadas por los genes polimórficos en el loci Glu-1 (Glu-A1, Glu-B1 y D1-Glu) presentes en los brazos largos de los cromosomas del grupo 1. Aunque representan sólo el 10% de las proteínas de almacenamiento de trigo, las SGAPM son uno de los factores genéticos más importantes en la determinación de calidad de la harina (Shewry *et al.*, 2002; Horvat *et al.*, 2009). Cuando las gluteninas son tratadas con un agente reductor, las moléculas de gluteninas se pueden separar en base a su peso molecular en subunidades de alto peso molecular y subunidades de bajo peso molecular (GBPM) (Payne *et al.*, 1981; Tarekegne *et al.*, 2005). Bonfil *et al.*, (1997) estudiaron la expresión de gluteninas en relación al contenido de nutrientes en el

Tabla 3. Clasificación de proteínas de acuerdo a Osborne.

Fracción Osborne	Comportamiento en solubilidad	Composición	Papel biológico	Papel funcional
Albuminas	Extraíbles en agua	Proteínas que no son gluten (monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Globulinas	Extraíbles en sales diluidas	Proteínas que no son del gluten (monoméricas)	Proteínas estructurales y metabólicas	Variable
Gliadinas	Extraíbles en soluciones de alcohol	Proteínas del gluten (gliadinas monoméricas y polímeros de glutenina de bajo PM)	Proteínas de almacenamiento de la semilla tipo prolaminas	Viscosidad de la masa / extensibilidad
Gluteninas	Extraíbles en ácido acético diluido	Proteínas del gluten (gluteninas de alto PM)	Proteínas de almacenamiento de las semilla tipo prolaminas	Elasticidad a la masa / tenacidad
Residuo	Sin extraer	Proteínas del gluten (polímeros de alto PM) y proteínas que no son del gluten poliméricas triticinas	Proteínas de almacenamiento de la semilla, tipo prolamina (gluten) y tipo globulinas (triticinas)	Variable

Fuente: Goesart *et al* 2005

suelo, encontrado que la deficiencia de algún nutriente como N, K, P, S y Mg marcaban la aparición o no de las gluteninas de 45-65 kD.

Composición del Grano de Trigo Maduro

La calidad se refiere a un concepto amplio, ya que esta determinada por múltiples factores. La calidad de los granos esta regida por varias normas o dependencias (CODEX, normas oficiales mexicanas) o incluso por las mismas industrias. Sin embargo, el alcanzar estos estándares dependerá en gran medida de las condiciones en las que se desarrollo el cultivo.

Humedad

La humedad es uno de los factores críticos en la calidad de granos sobre todo en el momento de su almacenamiento. El alto contenido de humedad es causante de pérdidas económicas, debido a que el trigo con alto contenido de agua es más susceptible al ataque de insectos, así como de la producción de hongos. Los granos con menos del 13% de humedad son mas resistentes a ataques de insectos reducen la actividad enzimática, la germinación y se conservan por mayor tiempo en almacenaje (Osipna, 2001).

Proteína

La calidad panadera de un trigo se asocia principalmente al contenido de proteína en el grano que puede variar entre un 10%-18%. El contenido de proteína es un indicativo de la fertilización del suelo donde se sembró, reflejando si son adecuadas las condiciones de aplicación o se tienen que corregir. Por otro lado, el contenido de proteína es importante para fijar el precio comercial del trigo (Sramkova *et al.*, 2009).

Panza Blanca

La panza blanca (PB) es un desorden fisiológico que ocurre en la formación del grano de trigo. Cuando un grano es afectado por este desorden, presenta manchas de color café claro en una parte del grano o en algunos casos cubriéndolos por completo. Los granos que presentan este desorden tienen un mayor contenido de humedad, mayor contenido de almidón y un menor contenido de proteína en comparación con los granos sanos (Hubbard *et al.*, 1977; Dexter *et al.*, 1989). Existen diversos factores que influyen en la presencia de este fenómeno como son la disponibilidad de nitrógeno y el genotipo (Robinson *et al.*, 1979; Rodríguez *et al.*, 2011).

Peso Hectolítrico

El peso hectolítrico es el peso del grano en un volumen dado. Es el producto de la densidad del grano y el volumen que ocupa en el contenedor. Este dato es importante pues refleja el rendimiento que tendrá el grano para obtener harina. Cuanto mayor sea el peso hectolítrico el trigo será de mejor calidad y los valores

oscilan entre 63 a 84 kg/hl. Este valor aumentará o disminuirá según la humedad del grano, la uniformidad, las condiciones de maduración y el ataque por plagas y hongos (Guerrero, 1999).

Peso de Mil Granos

El peso de mil granos es una medida del tamaño de la semilla. Esta medición puede variar de un año a otro, entre variedades del mismo cultivo, o incluso de una misma variedad sembrada en el mismo campo. La fertilización nitrogenada influye en gran medida en la acumulación de materia seca en el grano de trigo (Abedi *et al.*, 2011). Si es muy baja la cantidad de nitrógeno aplicada durante el desarrollo del cultivo existe una disminución del peso de los granos de trigo.

Métodos para la Medición de Fracciones Proteicas

Los sistemas analíticos más utilizados para detectar y cuantificar las proteínas del trigo son la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés), en su modalidad de fase inversa (RP-HPLC, por sus siglas en inglés) y de exclusión molecular (SE-HPLC, por sus siglas en inglés), así como los sistemas electroforéticos con dodecil sulfato de sodio en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE, por sus siglas en inglés).

Cromatografía Líquida de Alta Resolución

La cromatografía líquida de alta resolución es una técnica ampliamente utilizada para medir las cantidades relativas de las principales proteínas del trigo. Para llevar a cabo una buena distribución de las distintas fracciones proteicas se requiere de un método que provea una extracción completa (Díaz *et al.*, 2005). Existen diferentes tipos de cromatografía líquida de alta resolución con las cuales se pueden obtener la composición de las fracciones proteicas del grano de trigo.

Cromatografía de fase inversa La cromatografía RP-HPLC es llamada así debido a que la funcionalidad química de la columna donde están ligados hidrocarburos no polares que tienen la polaridad opuesta a las columnas de fase normal. Esta característica hace que los compuestos que sean de mayor hidrofobicidad tengan un tiempo de retención mayor a los compuestos menos hidrofóbicos. La RP-HPLC tiene una resolución igual o mayor que otros métodos; sin embargo, se tiene que tener en cuenta muchos factores como el tamaño de partícula, las dimensiones de la columna y tamaño de poro. Esta técnica sirve como complemento para otros métodos de separación como los electroforéticos (Shewry y Lookhart., 2003). Utilizando RP-HPLC se puede identificar las subunidades de gluteninas en el endospermo de trigo, así como la caracterización de la composición de gluteninas, se a mostrando que la RP-HPLC es un complemento importante a los métodos electroforéticos para el análisis de gluteninas (Burnouf *et al.* 1984).

Cromatografía de alta resolución de exclusión molecular. La cromatografía por exclusión molecular separa a las proteínas en base a su tamaño de las más grandes a las más pequeñas. Se utilizan columnas empacadas con matrices porosas, cuyos poros tienen diferentes diámetros. Al pasar la fase móvil se impregna la matriz y pasan las moléculas de interés; las proteínas de mayor tamaño pasan más fácilmente por la matriz y son las primeras en ser excluidas, mientras que las moléculas de menor tamaño serán las que tengan un tiempo de retención mas alto debido a que tienen que pasar a través de la matriz (Hernández y Gonzales, 2002).

Electroforesis en Gel de Poliacrilamida

La electroforesis es un método semipreparativo, en el que se pueden separar las biomoléculas en base a su carga (García *et al.*, 2000). Las proteínas, poseen grupos químicos ionizables que proporcionan una carga eléctrica determinada. Por lo tanto, al ser sometidas a un campo eléctrico, las proteínas migraran de un polo a otro a diferente velocidad, debido a su tamaño. La corrida electroforética se lleva acabo sobre un soporte solido (Calaveras, 2004). La poliacrilamida es un soporte que se emplea para llevar acabo la separación de las biomoléculas. Es capaz de formar geles no iónicos, transparentes que permiten una visualización de las bandas durante el desarrollo de la corrida. Además, controlando la concentración de los polímeros se puede controlar el tamaño de poro. Utilizando SDS-PAGE se puede determinar la expresión de gluteninas de alto y bajo peso molecular, se ha encontrado que la variación en el contenido de estas proteínas en el grano depende en gran medida del ambiente en donde se desarrolla el cultivo (Zhu *et al.*, 2002).

HIPÓTESIS

El manejo agronómico y las condiciones ambientales durante el cultivo de trigo afectan la composición química del grano durante su desarrollo, así como los parámetros de calidad en el grano maduro.

OBJETIVOS

General

Relacionar el manejo agronómico del cultivo comercial de dos variedades de trigo panadero, con las características de calidad y composición de las fracciones proteicas del gluten durante el desarrollo del grano.

Específicos

- Evaluar las características agronómicas durante el llenado del grano en un cultivo de trigo comercial como: longitud de la espiga, número de macollos, número de espigas por área, grosor de planta, altura de la planta, número de granos por espiga y peso de granos por espiga y relacionarlas con el manejo agronómico.
- Determinar los cambios en el contenido de humedad, almidón y proteína durante el llenado del grano.
- Determinar la composición de las fracciones proteicas del gluten por cromatografía líquida de alta resolución y electroforesis disociante (SDS- PAGE) durante el llenado del grano.
- Evaluar los parámetros de calidad del grano de trigo panadero como: contenido de humedad, rendimiento, contenido de panza blanca, peso hectolítrico y peso de mil granos.

.MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Campo Comercial

La siembra se realizó bajo condiciones comerciales en el campo “El Tejaban”. Ubicado en el kilómetro 32 de la carretera Hermosillo-Bahía de Kino, en el estado de Sonora, y Propiedad del Sr. Gildardo Soto Madrid.

Condiciones de Siembra

Se realizó un análisis de los componentes del suelo. El análisis de suelos fue realizado por el departamento de Agricultura de la Universidad de Sonora. El nitrógeno se encontró en un nivel alto en todos los cuadros de 60 kg/ha. Por lo que las recomendaciones sugeridas fueron aplicar 120 kg/ha en pre siembra, 40 kg/ha en el primer riego de auxilio y 30 kg/ha en el segundo riego para a completar una dosis de 250 kg/ha para todo el cultivo. En cuanto al fosforo este se encontró en un nivel muy bajo considerándose nulo. Por lo que se recomendó aplicar 60 kg/ha incorporado en presiembra en todos los cuadros. Sin embargo, la fertilización fue aplicada por el agricultor en los riegos de auxilio aplicando la fertilización, sin considerar las recomendaciones sugeridas. Aplicó la cantidad de 100 kg/ha de urea granulada en cada riego (Tabla 4). Se aplicaron 5 riegos para dar un total de 290 kg/ha de nitrógeno.

El terreno fue preparado por rastreo, para la formación de las melgas de cultivo, así como la formación de los surcos de riego. Se sembraron las variedades de Tacupeto

Tabla 4. Fechas de aplicación de fertilizantes y riegos en los cultivos de trigo.

Fecha	Aplicación de fertilizante (urea granulada)	Riegos
20-diciembre -2010	100 kg/ha	Primer riego de auxilio
14-Enero-2011	100 kg/ha	Segundo riego de auxilio
08-Febrero-2011	100 kg/ha	Tercer riego de auxilio
5-Marzo-2011	100 kg/ha	Cuarto riego de auxilio
02-Abril-2011	100 kg/ha	Quinto riego de auxilio

F2001 y Roelfs F2007 con una densidad de 150 kg/ha en el mes de noviembre de 2010. La fecha de activación del cultivo fue el 25 de noviembre de 2010. El nitrógeno aplicado fue urea granulada (46-00-00 marca Disagro) los cuales se aplicaron 100 kg/ha incorporados en cada riego, así como un mejorador de suelo (00-00-15.5-60 marca Terra-Sul) que contiene 15.6 % de Potasio y 60% azufre en el primer riego.

Materia Prima

Se utilizaron dos variedades de trigo panadero (*Triticum aestivum L.*); Tacupeto F2001 y Roelfs F2007 obtenidas del molino “La Fama”. La variedad Tacupeto es una variedad susceptible a las royas de la hoja del trigo, mientras la variedad Roelfs es una cruce de Tacupeto con Kukuna liberada recientemente para suplir a Tacupeto.

Muestreo de Espigas

Se llevo acabo la recolección de espigas durante el desarrollo del cultivo. El muestreo inicio a los 8 DPA. Se recolectaron 15 espigas en cada muestreo, las cuales fueron guardadas en bolsas de plástico con cierre hermético, previamente etiquetadas. Las muestras fueron colocadas en una hielera para ser almacenadas en el Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora en un congelador a una temperatura de -20°C para su posterior análisis.

Determinaciones Agronómicas

Altura de la Planta

Para las mediciones de altura, se tomaron aleatoriamente diez plantas. Cada 15 días se midió la altura de la planta, desde la base del suelo hasta el ápice de la última hoja. La medición se realizó con un metro.

Diámetro del Tallo

Las mediciones de grosor se llevaron a cabo en las mismas plantas seleccionadas para la altura. El diámetro se midió desde la base del suelo a una altura de 4 cm, utilizando un micrómetro digital (Mitutoyo Corp. Modelo CD-6 CS, Japón).

Longitud y Peso de la Espiga

Se recolectaron espigas cada 15 días a partir de los 8 días posteriores a la anthesis. Se midió su longitud, con un micrómetro digital, desde el primer nudo hasta el último. Posteriormente se pesaron en una balanza digital (OHAUS, modelo AR214).

Número y Peso de Granos por Espiga

Para determinar el número de granos por espiga, se tomaron 5 espigas de cada muestreo y variedad. Posteriormente se extrajeron los granos uno a uno, para contar el número total de granos por espiga. Se pesó el total de los granos extraídos, por espiga.

Contenido de Humedad

Se determinó el contenido de humedad durante el desarrollo del grano de trigo siguiendo el método 44-22 de la AACC (2002). El contenido de humedad se dio en base seca.

Medición de Temperatura

La temperatura se midió utilizando un termómetro de máximos y mínimos. Se tomó lectura de la mínima y máxima temperatura registrada durante el día y la noche. El termómetro se colocó en un lugar cercano a las parcelas, y la temperatura se midió durante el desarrollo del cultivo.

Parámetros de Calidad del Grano de Trigo

Rendimiento

El rendimiento se evaluó al momento de la cosecha. Se tomaron 5 muestras de 1 m² por cuadro. Se pesó la cantidad total del grano cosechado en esa área. Luego se calculó el rendimiento por hectárea y se reportó en toneladas por hectárea (Ton/ha).

Número de macollos

Para las mediciones del número de macollos, de cada cuadro de muestreo, se tomaron cinco plantas al azar. En la planta con espigas de grano maduro. Se contaron el número de macollos producidos por la planta.

Número de Espigas por Área

Las mediciones se realizaron en el último muestreo de espigas en la etapa de grano maduro. Se utilizó un aro de 30 cm de diámetro. En cada cuadro, se seleccionó el área con el aro, realizando 5 lanzamientos al azar. Luego, se contaron el número de espigas en esa área. Posteriormente se calculó el número de espigas en 1 m².

Contenido de Panza Blanca

Esta determinación se realizó en base a la Norma Mexicana NMX-FF-055-1984. De 100 g de trigo maduro, se separan manualmente, aquellos granos que presenten una mancha blanca-amarillenta en más del 25% de su superficie, del grano. Una vez que se separaron los granos con panza blanca, se pesaron, utilizando una balanza analítica para calcular el porcentaje en peso de los granos afectados.

Peso Hectolítrico

La densidad del grano se determinó de acuerdo a la metodología 84-10 AACC (2000). Se colocaron 1000 g de cada variedad de trigo en un embudo cerrado utilizando una balanza de peso hectolítrico (modelo Seedburo). En la abertura inferior a una distancia de 5 cm, se colocó en un recipiente metálico con una capacidad de 1L. Se abrió el cono hasta que se vació por completo. El excedente de grano se removió con una tabla de madera con bordos lisos y redondos, haciendo tres movimientos en zigzag sobre el recipiente. Se pesó el grano contenido en el recipiente para determinar su densidad aparente en g/l para después expresarlo en kg/hl.

Peso de Mil Granos

Se contaron, manualmente, 1000 granos de trigo. Luego se pesaron en una balanza analítica, para calcular el peso de mil granos. La determinación se realizó por triplicado en cada variedad.

Composición Química Durante el Desarrollo del Grano

Contenido de Almidón

Se determinó el contenido de almidón durante el desarrollo del grano de trigo por medio de una técnica enzimática (Total Starch, marca Megazyme) basado en el método 76.13 AACC y utilizando un espectrofotómetro UV (Varian, nideki, 50conc). El contenido de almidón total se expresó en base seca.

Contenido de Proteína y Proteína Polimérica Insoluble

Se determino el contenido de proteína total durante el desarrollo del grano de trigo así como de la etapa de cosecha y se llevo acabo por el método de combustión de Dumas, utilizando un determinador de nitrógeno (marca Leco, modelo FP528), siguiendo el método 46-30 de la AACC (2000). El contenido de proteína se expresó en base seca.

Fraciones Solubles Separadas por Exclusión Molecular (SE-HPLC)

La extracción se llevo acabo siguiendo la metodología propuesta por Bean *et al.*, (1998) para proteína polimérica soluble. Para la preparación de la muestra, se pesaron 250 mg de grano molido. La proteína polimérica soluble se extrajo con propanol al 50%, se guardo el pellet para la determinación de proteína insoluble en el equipo Leco. Las proteínas solubles (50% de propanol) se analizaron en un Varian Prostar sistema de HPLC (Varian ProStar, Modelo 410), usando un Biosep-SEC-S 4000 columna (Phenomenex, Torrence, CA) de 5 micras de tamaño de partícula, 7.8 mm de diámetro, y 200 mm de longitud. La fase móvil fue acetonitrilo / agua (50:50) que contiene 0.1% de TFA (Lookhart et al 2003). Temperatura de la columna se mantuvo a 50° C y velocidad de flujo fue 0.5 ml / min. La detección se realizó a 210 nm con una matriz de arreglo de diodos.

Cromatografía de Fase Inversa para Gliadinas (RP-HPLC)

Se analizaron las subunidades de gliadinas en base a los procedimientos reportados por (Lookhart et al 2003) en un equipo de HPLC (Varian ProStar, Modelo 410), utilizando una columna 300SB-CN (Agilent, Zorbax) 4,6 mm de diámetro y 150 mm de longitud, con partículas de 5 micras tamaño. La fase móvil fue acetonitrilo y agua, conteniendo ambos TFA al 0,1%. Un gradiente de etapa fue utilizado en ambos casos en que la concentración de acetonitrilo se incrementó en varias etapas, desde 25 al 50% durante 40 min. La temperatura de la columna se mantuvo a 50° C con un flujo de 0.5 ml / min. La detección se realizó a 210 nm con una matriz de arreglo de diodos.

Cromatografía de Fase inversa para Gluteninas

Se analizaron las subunidades de gluteninas en base a los procedimientos reportados por (Lookhart et al 2003) en un de HPLC (Varian ProStar, Modelo 410), utilizando una columna 300SB-CN (Agilent, Zorbax) 4,6 mm de diámetro y 150 mm de longitud, con partículas de 5 micras tamaño. La fase móvil fue acetonitrilo y agua, conteniendo ambos TFA al 0,1%. Un gradiente de etapa fue utilizado en ambos casos en que la concentración de acetonitrilo se incrementó en varias etapas, desde 25 al 58% durante 52 min. La temperatura de la columna se mantuvo a 65 ° C con un flujo de 0.5 ml / min. La detección se realizó a 210 nm con una matriz de arreglo de diodos.

Electroforesis SDS-PAGE de Proteínas de Trigo

Se realizó un perfil electroforético SDS-PAGE por el método propuesto por Leammli (1970) modificado por Lookhart et al 1993. Se utilizaron 20 µL de muestra en geles de poliacrilamida al 12%(con un equipo Bio-Rad Protean II, con un tamaño de gel de 15 cm x 18 cm x 1.5 mM). Los geles fueron teñidos y desteñidos de acuerdo a lo propuesto por lookhart *et al* 1993.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño de experimentos factorial de dos factores en arreglos de bloques al azar. Los factores fueron la variedad (Tacupeto y Roelfs) y tiempo de desarrollo (62, 76, 83, 97, 111, 139, 153 y 167 días). A los datos obtenidos de todas las

determinaciones se les realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza de 95%. Para ver diferencias entre tratamientos específicos, se utilizó la prueba de Tukey. El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software estadístico SAS (SAS, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSION

Determinaciones Agronómicas

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre la altura y el grosor de la planta, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 5. Se observó que la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo así como la interacción de estos factores afectaron muy significativamente ($p < 0.01$) a la altura y grosor de la planta.

Altura de la Planta

El efecto de la interacción de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo se presentan en la Figura 5. A partir de los 62 días después de la siembra (DDS) el crecimiento de la planta se da de manera exponencial hasta los 111 DDS para las dos variedades. Al analizar el comportamiento de la altura con la aplicación del tercer y cuarto riego junto con la fertilización se observó un aumento en la altura de la planta, lo cual indica que fue asimilado por la planta para la formación de biomasa. Esto posiblemente debido a que la planta está finalizando la etapa de macollaje y comenzando la etapa de encañado. Una vez finalizada la etapa de encañe la altura de la planta no presentó cambios. La altura máxima alcanzada de la variedad Tacupeto fue de 114 cm a los 111 días de siembra, mientras que la variedad Roelfs alcanzó su altura máxima de 110.56 cm a los 139 días de siembra. Es decir que esta variedad tuvo una altura máxima menor que la variedad Tacupeto y en un tiempo de desarrollo más largo.

Tabla 5. Análisis de varianza, cuadrados medios (CM) y valor de F, del efecto de La variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre la altura y grosor de la planta.

Fuente de variación	Grados de libertad	Altura		Grosor	
		CM	F	CM	F
Variedad (VA)	1	579	39.4 ^{**2}	2.02	13.44 ^{**}
Tiempo (TIE)	7	42197	2875 ^{**}	14.10	93.85 ^{**}
VA*TIE	7	127	8.7 ^{**}	0.31	2.11 [*]
Bloque	2	184	12.5 ^{**}	0.008	0.06 ^{NS1}
Error	462	6778		69.45	
Total	479				

¹NS= no significativo

^{2*}=significativo a un nivel de ($p < 0.05$)

^{3**}=Significativo a un nivel de ($p < 0.01$)

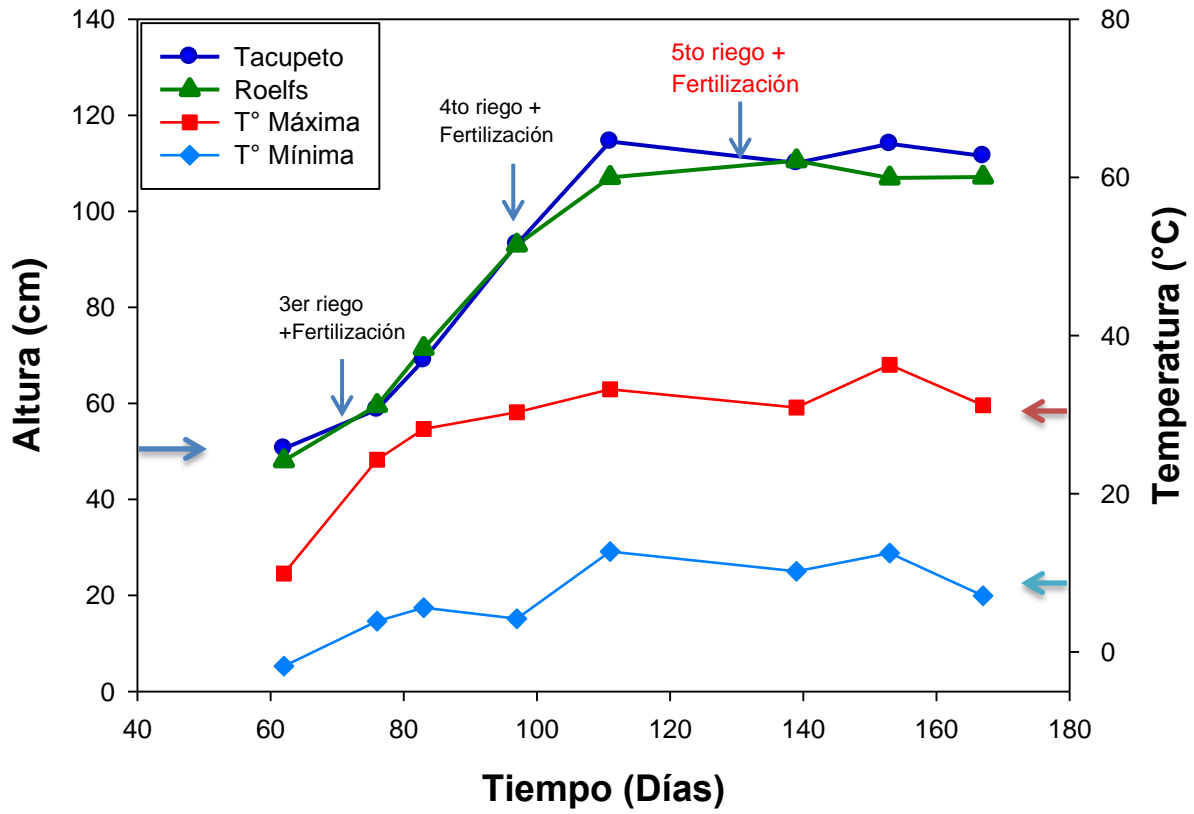


Figura 5. Altura de planta de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial, a diferentes tiempos de desarrollo.

Figuroa *et al.* (2011), reportaron una altura promedio de 99 cm en la variedad Roelfs sembrada en el sur del estado de Sonora. Estas diferencias con respecto a esta investigación pudieran asociarse al área de siembra así como a los regímenes de fertilizaciones y riegos empleados. En cuanto a las temperaturas se registró la más baja a los 60 DDS siendo de -1.7°C , la cual no afectó al cultivo debido a que este se encontraba en la etapa de macollaje y es ahí donde las horas frío son de mayor importancia para el desarrollo de macollos.

Diámetro del Tallo

El desarrollo del grosor del tallo de las dos variedades de trigo se muestra en la Figura 6. El aumento en el grosor del tallo se da de los 62 DDS hasta los 97 DDS coincidiendo con la etapa de encañado. La aplicación del tercer riego más fertilización se observa que es aprovechado por el cultivo. Sin embargo, las aplicaciones de fertilización después de estas fechas no afectaron en este parámetro debido posiblemente a que ya no se observan cambios significativos en el aumento del grosor del tallo. Las dos variedades obtuvieron el mayor grosor a los 111 DDS. La variedad Tacupeto presentó un grosor de 5.06 mm, mientras que, la variedad Roelfs tuvo un grosor de 4.80 mm. Se considera que el desarrollo del grosor siguió una tendencia similar a la altura de la planta.

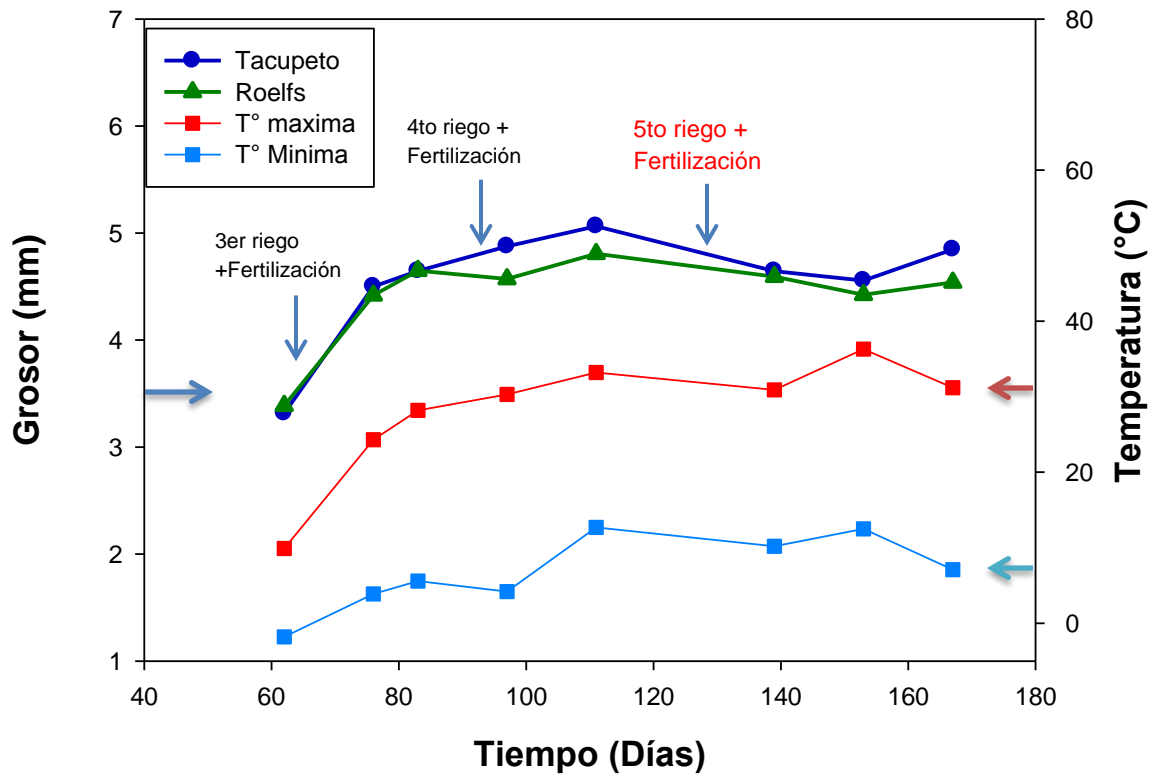


Figura 6. Desarrollo del diámetro de planta de dos variedades de trigo sembrado a nivel comercial.

Longitud y Peso de la Espiga

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre la longitud y peso de las espigas, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 6. La variedad de trigo y el tiempo de desarrollo afectaron muy significativamente la longitud y el peso de la espiga. Así como, la interacción variedad-tiempo ($p < 0.01$).

La longitud de la espiga de las dos variedades de trigo se muestra en la Figura 7. La variedad Tacupeto presentó una longitud máxima de espiga de 13.83 cm a los 118 DDS, mientras que la variedad Roelfs presentó una longitud máxima de 13.13 cm a los 111 DDS. En cuanto al aumento en peso de la espiga (Figura 8) se observó que a los 8 DDA las dos variedades comenzaron a aumentar el peso de la espiga como consecuencia del llenado del grano siendo la variedad Roelfs la que aumentó más rápido de peso hasta los 35 DPA en comparación con la variedad Tacupeto que finaliza hasta los 49 DPA. Figueroa *et al.* (2011), reportaron un tamaño de espiga entre los 11.5-13.5 cm para la variedad Roelfs, la cual es similar con la longitud obtenida en la misma variedad en la presente investigación. La variación en la longitud de la espiga se debe a las diferentes etapas de desarrollo de la planta durante la espigación. Estas alcanzan una longitud máxima y luego la longitud decrece, posteriormente debido a que en la etapa final de maduración del grano, la espiga comienza a perder humedad y tornarse de un color amarillo claro reduciendo el tamaño de la espiga, con una tendencia a curvarse. En cuanto a la aplicación de

Tabla 6. Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad y el tiempo, sobre las características de la espiga durante el desarrollo del cultivo.

Fuente de variación	Grados de libertad	LE ¹		PE		NG		PG	
		CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Variedad (VA)	1	14.9	30.7** ⁴	2.93	7.41**	256	7.91**	2.25	15.70**
Tiempo (TIE)	5	6.94	14.2**	38.38	96.90**	1605	49.46**	46.07	320**
VA*TIE	5	1.77	3.6**	1.36	3.45**	88	2.74*	0.80	5.61**
Bloque	2	1.67	3.4* ³	0.11	0.30 ^{NS2}	20	0.62 ^{NS}	0.00	0.00 ^{NS}
Error	166	80.9		69.45		5389		23.82	
Total	179								

¹LE=longitud de espiga; PE=peso de espiga; NG=numero de granos; PG= Peso de granos

²NS= no significativo

³*=significativo a un nivel de (p<0.05)

⁴**=Significativo a un nivel de (p<0.01)

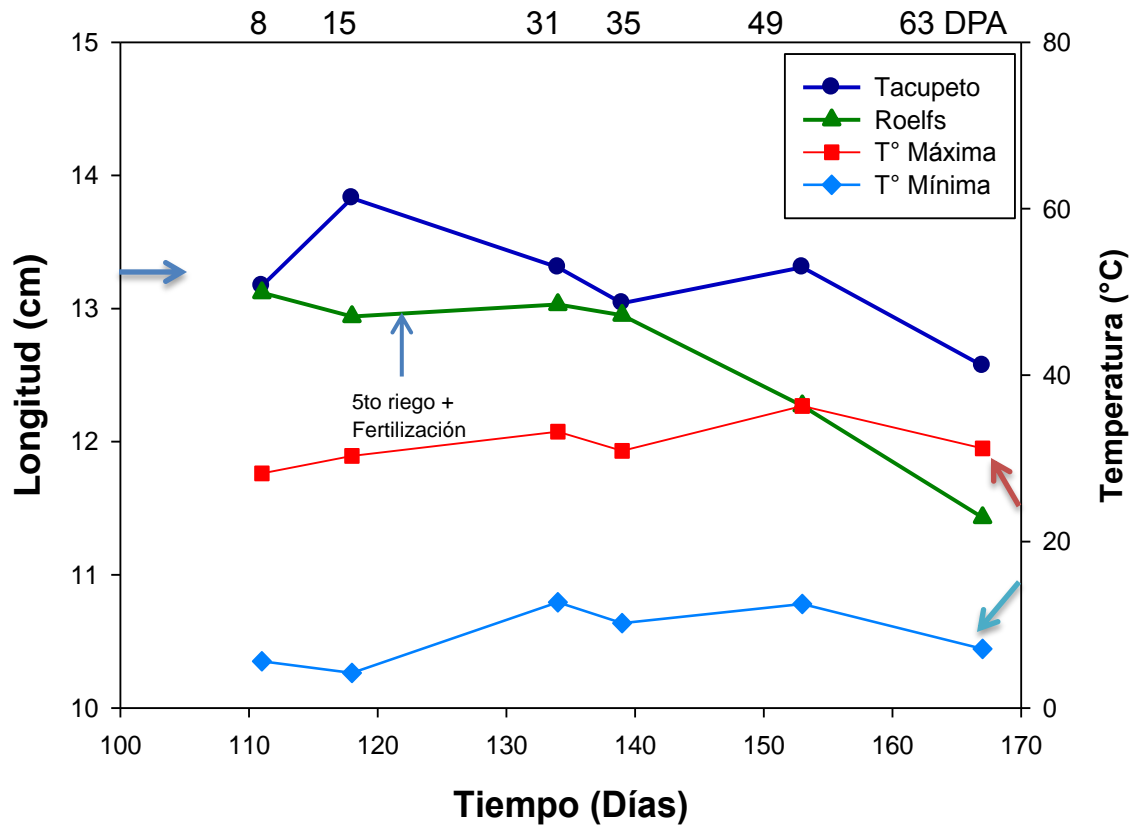


Figura 7. Longitud de la espiga de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.

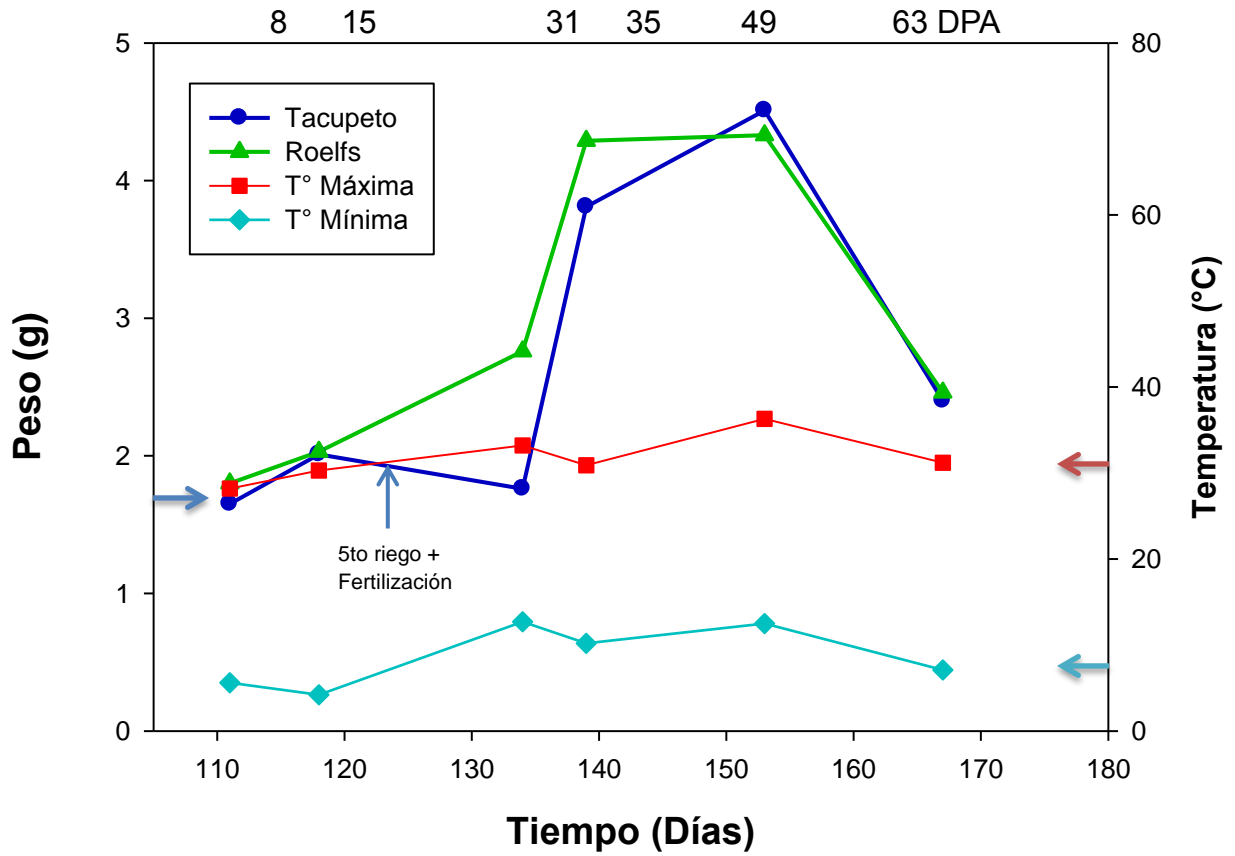


Figura 8. Peso de la espiga de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.

fertilizante se puede observar que el quinto riego no afectó a este parámetro debido a que la espiga ya ha alcanzado su máxima longitud.

Número y Peso de Granos por Espiga

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre el número y peso de los granos por espigas, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 6. Tanto la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo. Así como la interacción variedad-tiempo afectaron muy significativamente ($p < 0.01$) el número y el peso de los granos por espiga.

El número de granos por espiga de cada variedad de trigo se muestran en la Figura 9. Se observó que a los 111 DDS las dos variedades presentaron el mismo número de granos. Sin embargo, se dio un aumento hasta los 139 DDS. Esto fue debido a que comenzó el llenado y formación de los mismos. La variedad Roelfs presentó un mayor número de granos con respecto a la variedad Tacupeto. Se observó que al introducir el quinto riego de auxilio este pudo influir en el aumento del número de granos producido por las espigas. Slafer *et al.* (1993), reportaron una obtención de 34-56 granos por espiga en variedades de *Triticum aestivum* L. Por otro lado, Ferrise *et al.* (2010) reportan un promedio de 45-50 granos por espiga en variedades de *Triticum turgidum* L. Esta variación en el número de granos depende de las condiciones climáticas en las que se haya desarrollado el cultivo debido a que temperaturas altas influyen en la apoptosis de la floración lo que disminuiría el número de granos por espiga.

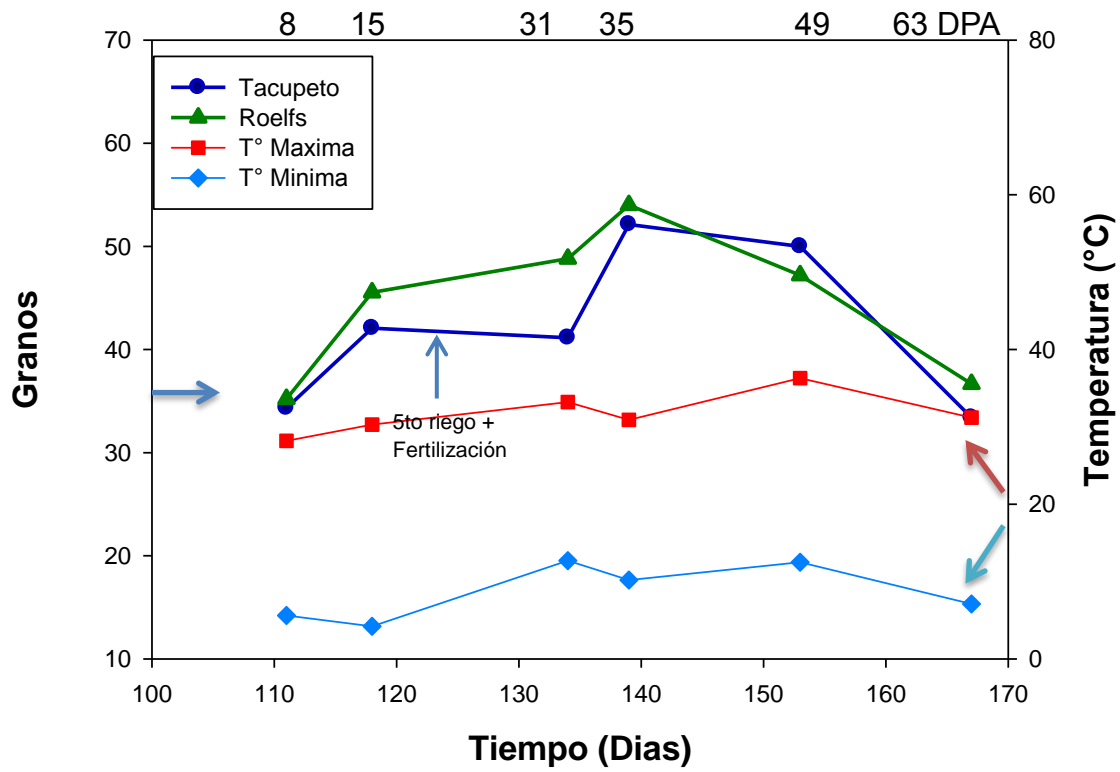


Figura 9. Número de granos por espiga de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.

En la Figura 10, se muestra el aumento del peso del grano en sus diferentes etapas de maduración (lechoso, pastoso, pastoso-duro, duro). Las dos variedades comenzaron a aumentar de peso a los 111 DDS, y esto posiblemente se debió a que comenzó a formarse los diversos compuestos que conforman el grano. La variedad Roelfs finaliza el aumento de peso a los 139 DDS, mientras que la variedad Tacupeto presentó un tiempo más prolongado de llenado hasta los 153 DDS. La disminución del peso del grano se debió a la pérdida de humedad, debido a que están ocurriendo los últimos acontecimientos biológicos para la maduración de la semilla.

Fraschina *et al.* (2003) reportaron que el crecimiento del grano de trigo se inicia con la fecundación del ovulo antes de la antesis y finaliza con la acumulación de materia seca (madurez fisiológica). Ferriese *et al.* (2010) encontraron que el peso de los granos dependerá de las temperaturas que imperen en la etapa de división celular activa en el ovario. En la presente investigación la temperatura que imperó en la etapa de división celular estuvo entre los 16 a 26.5 °C. Este rango de temperatura pudo influir de manera negativa en el llenado del grano.

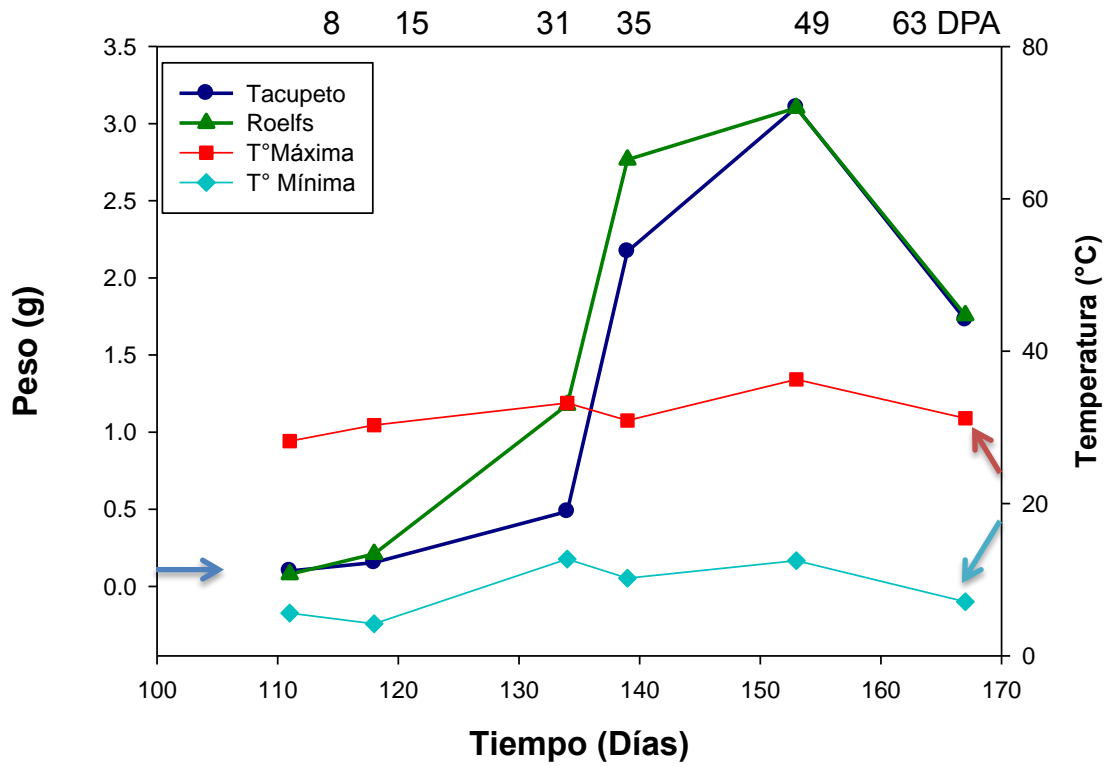


Figura 10. Peso de granos de dos variedades de trigo sembradas a nivel comercial.

Composición Química Durante el Desarrollo del Grano

Contenido de Humedad

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre el contenido de humedad durante el desarrollo del grano, se llevo acabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 7. Tanto la variedad como el tiempo de desarrollo así como la interacción entre estos factores afectaron muy significativamente el contenido de humedad durante el desarrollo del grano.

En la Figura 11 se presenta el contenido de humedad del grano durante el desarrollo de las dos variedades de trigo. Ambas variedades presentaron contenidos de humedad similares durante su desarrollo comenzando con un 78% de humedad y finalizando con un humedad de 9.51 % para la variedad Tacupeto y 8.43 % para la variedad Roelfs. Durante el desarrollo del grano el contenido de agua es importante para que se lleven acabo cambios bioquímicos, enzimáticos y morfológicos en la semilla estos ocurren bajo condiciones de humedad altas. Salgo *et al.* (2012) evaluaron el contenido de humedad de diferentes variedades de invierno reportando una humedad inicial del 68% a los 12 DPA y una pérdida de humedad de manera lineal hasta un 10% a los 51 DPA. Las temperaturas registradas no afectaron el contenido de humedad durante el desarrollo del cultivo. Sin embargo, conforme aumentan las temperaturas en el ciclo se va perdiendo humedad hasta llegar a la maduración fisiológica del grano.

Tabla 7. Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y tiempo de desarrollo, sobre características químicas del grano de trigo durante su desarrollo.

Fuente de variación	Grados de libertad	CH ¹		CA ¹		CP ¹		PPI ¹	
		CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Variedad (VA)	1	7.2	0.66 ^{NS2}	48.1	17.27 ^{**}	0.47	66.09 ^{**}	1.74	5.77 [*]
Tiempo (TIE)	5	4635	422 ^{**}	2967	1064 ^{**}	12.01	1704 ^{**}	63.79	211 ^{**}
VA*TIE	5	27	2.5 ^{*3}	34.8	12.49 [*]	1.58	224 [*]	1.95	6.46 [*]
Error	24	263		66.9		0.08		0.30	
Total	35								

¹CP= contenido de proteína; CH= contenido de humedad; CA=Contenido de almidón; PPI= proteína polimérica insoluble

²NS= no significativo

³*=significativo a un nivel de (p<0.05)

⁴**=Significativo a un nivel de (p<0.01)

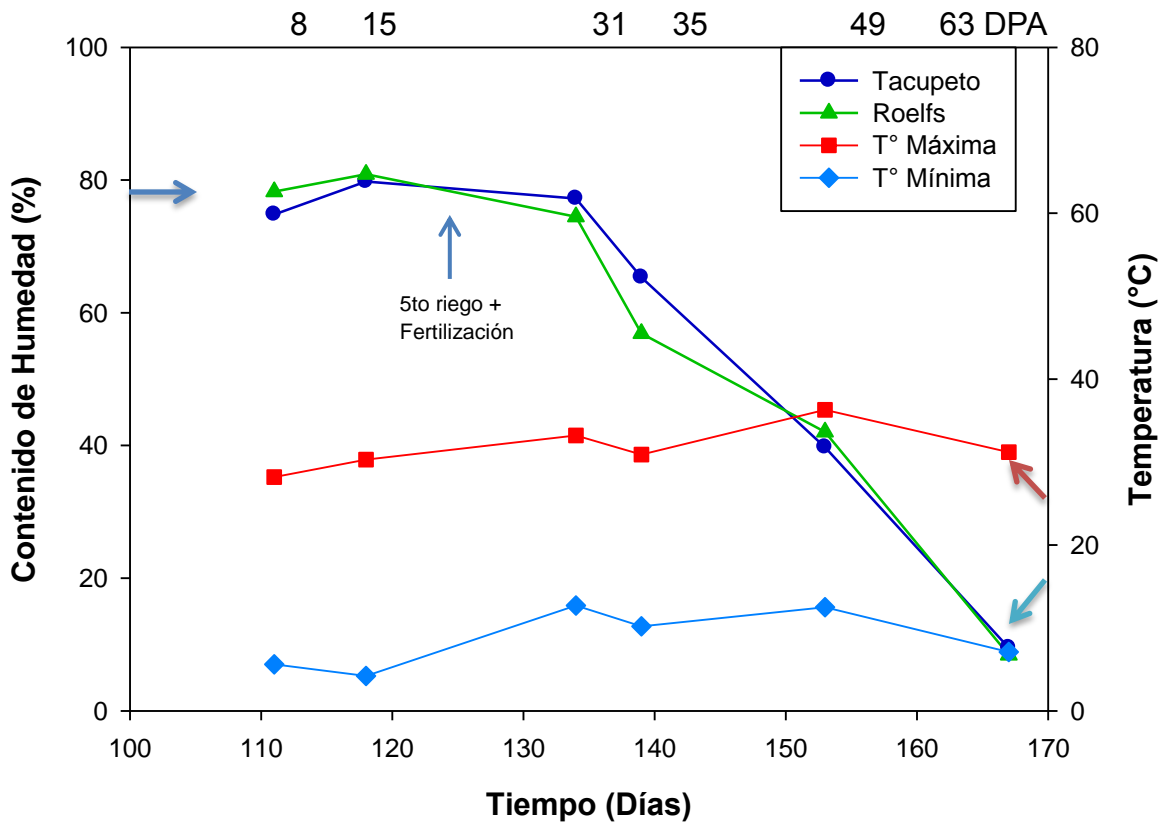


Figura 11. Contenido de humedad del grano durante su desarrollo de dos variedades de trigo sembradas comercialmente.

Contenido de Almidón

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre el contenido de almidón durante el desarrollo del grano, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 7. La variedad y el tiempo de desarrollo así como la interacción variedad-tiempo afectaron muy significativamente ($p < 0.01$) el contenido de almidón durante el desarrollo del grano.

En la Figura 12, se presenta el contenido de almidón durante el desarrollo del cultivo, para las dos variedades de trigo a los 111 DDS presentaron un contenido de almidón de 23.98% para la variedad Tacupeto y para la variedad Roelfs 24.45%. A partir de los 118 DDS la variedad Roelfs tiende a aumentar más rápidamente el contenido de almidón alcanzando un 72.74% a los 153 DDS mientras que para la misma fecha Roelfs alcanzó un 69.36%. Shewry *et al.*, (2009) estudiaron la formación de almidón en trigos de invierno variedad cv Hereward encontrando un incremento en la acumulación a los 12 DDA hasta los 35 DDA continuando la acumulación hasta los 42 DDA. Altenbach *et al.* (2003) investigaron la formación de almidón en diferentes condiciones climáticas y de fertilización, encontrando que una fertilización post-antesis, la producción de almidón comienza a los 13 DDA. En cuanto a la fertilización se puede apreciar que el quinto riego se aplicó cuando ya había comenzado la síntesis de almidón. Sin embargo, posiblemente si se haya utilizado para la formación de almidón en los días posteriores.

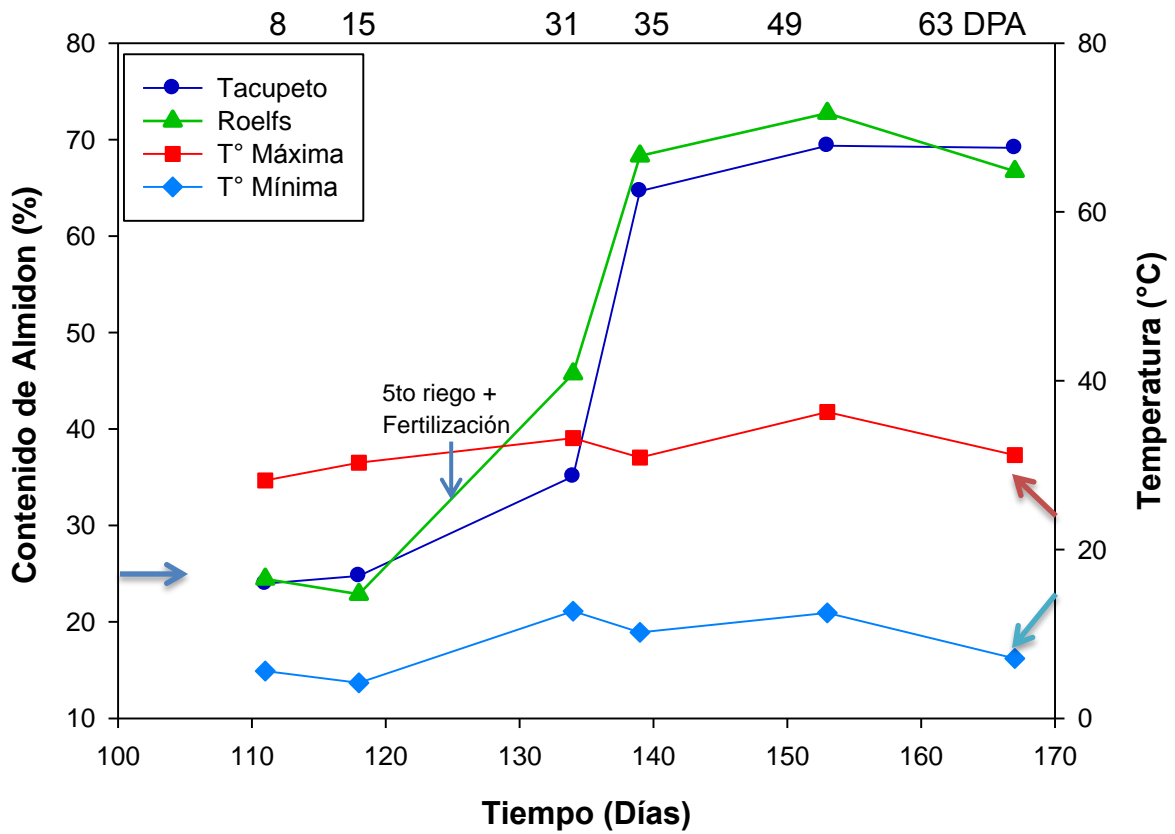


Figura 12. Contenido de almidón durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

Contenido de Proteína y Proteína Polimérica Insoluble

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre el contenido de proteína total durante el desarrollo del grano, se llevo acabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 7. Se observó que tanto la variedad como el tiempo de desarrollo afectaron muy significativamente ($p < 0.01$) el contenido de proteína durante el desarrollo del cultivo. Asimismo la interacción variedad-tiempo afectaron estadísticamente estos parámetros.

En la Figura 13 se observa el comportamiento del contenido de proteína total durante el desarrollo del cultivo. A los 111 DDS el contenido de proteína total para la variedad Tacupeto es de 16.22% y 17.14% para la variedad Roelfs. Al comparar las graficas de PT (Figura 13), PPI (Figura 14) y PPS; se observó que la proporción de PT disminuyó con respecto al tiempo, esto podría ser debido a un cambio en la proporción de PT con respecto a los otros componentes del grano, ya que al principio la cantidad de agua es mayor que al final del muestreo, también la proporción de almidón, lípidos, cambia con cada estadio en el grano, al principio es mayor la cantidad de proteína con respecto a la cantidad de almidón. Sin embargo, conforme se llena el grano esta relación se ve modificada finalizando con mayor proporción de almidón. También ocurrió un cambio en la proporción de PPI, PPS, GLI y A-G, las primeras mostraron una tendencia a disminuir con respecto al tiempo, mientras que las PPS tendieron a aumentar y las tres últimas aumentaron su proporción con respecto al tiempo, lo que sugiere que se están sintetizando estos tipos de proteínas

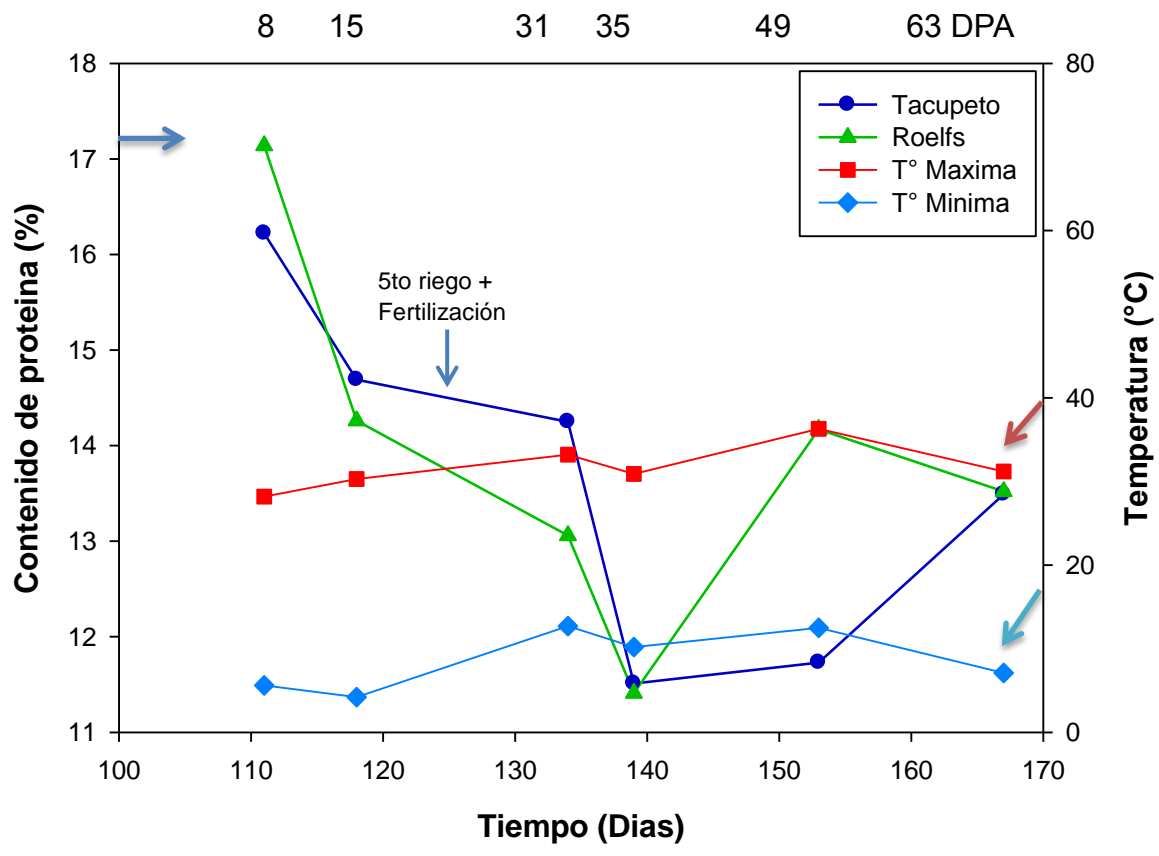


Figura 13. Contenido de proteína durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

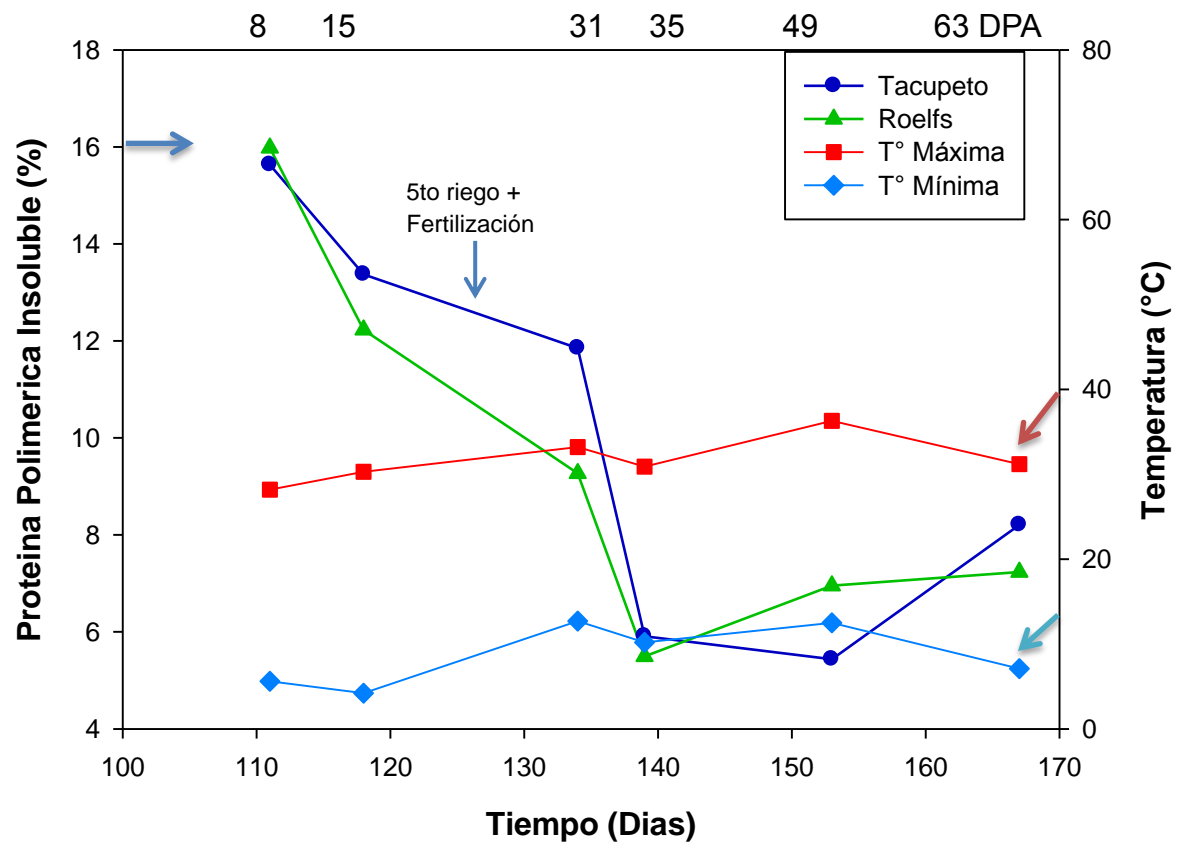


Figura 14. Contenido de proteína polimérica insoluble durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

están sintetizando estos tipos de proteínas, con respecto al tiempo.

Los altos contenidos de PPS en los primeros días después de la antesis pueden ser gluteninas, así como DNA y RNA contenido en la células recién formadas, cuando se lleva a cabo la fecundación de la espiga el siguiente paso es la división celular de las células que formaran el endospermo en el grano de trigo, estas células contienen principalmente DNA y RNA ribosomal, necesario para codificar la formación de proteínas (Briarty *et al.*, 1979, Frank *et al* 1983, Peng *et al* 2000).

Fracción Soluble Separada por Exclusión Molecular

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre el contenido de las diferentes proteínas solubles durante el desarrollo del grano, se llevo a cabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 8. Se observa que el tiempo de desarrollo afecto significativamente ($p < 0.01$) el contenido de proteína soluble durante el desarrollo del cultivo. No se presentaron diferencias significativas entre las variedades en cuanto al contenido de las diferentes fracciones de proteínas.

En la Figura 15 y 16 se muestra el desarrollo de las fracciones solubles (Proteína polimérica soluble (PPS), gliadinas (GLI) y albuminas-globulinas (A+G) separados por exclusión molecular (SE-HPLC). Se observó que a los 111 DDS (8 DDA) ya esta

Tabla 8. Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo, sobre las fracciones proteicas del grano durante su desarrollo.

Fuente de variación	Grados de libertad	PPS ¹		GLI ¹		ALB+GLOB ¹	
		CM	F	CM	F	CM	F
Variedad (VA)	1	1.55	3.03 ^{NS2}	6.63	2.55 ^{NS}	2.96	0.87 ^{NS}
Tiempo (TIE)	5	1.05	20.61 ^{**4}	5.15	19.82 ^{**}	4.41	1.29 ^{NS}
VA*TIE	5	1.11	0.22 ^{NS}	5.07	0.20 ^{NS}	3.55	1.04 ^{NS}
Error	12	5.14		2.59		3.41	
Total	23						

¹PPS= proteína polimerica soluble; GLI= gliadinas; ALB=albuminas; GLOB=globulinas

²NS= no significativo

³*=significativo a un nivel de (p<0.05)

⁴**=Significativo a un nivel de (p<0.01)

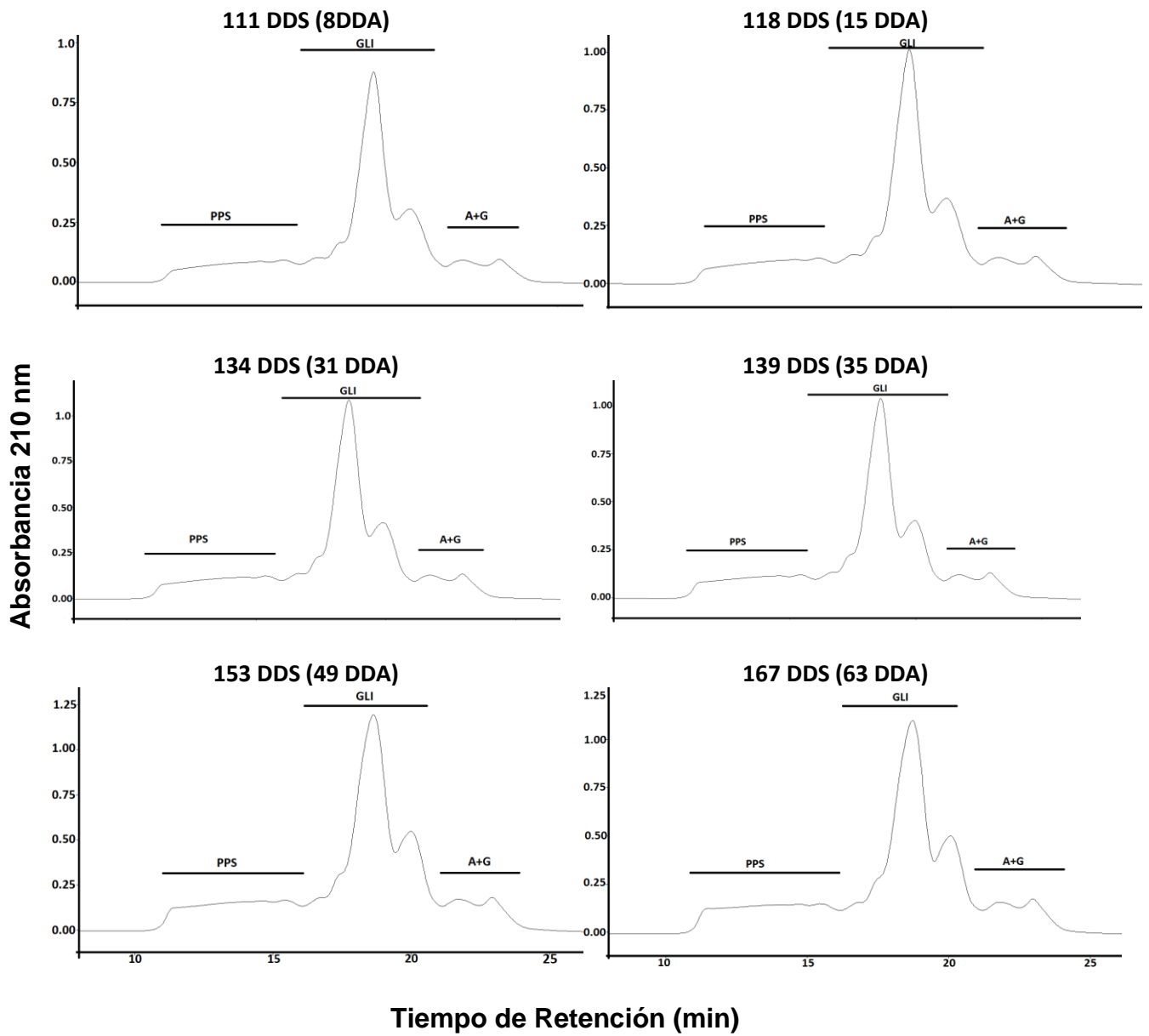


Figura 15. Contenido de proteína soluble de la variedad Tacupeto con respecto al tiempo de maduración del grano. (PPS= proteína polimerica soluble, GLI =gliadinas y A+G= albuminas mas globulinas).

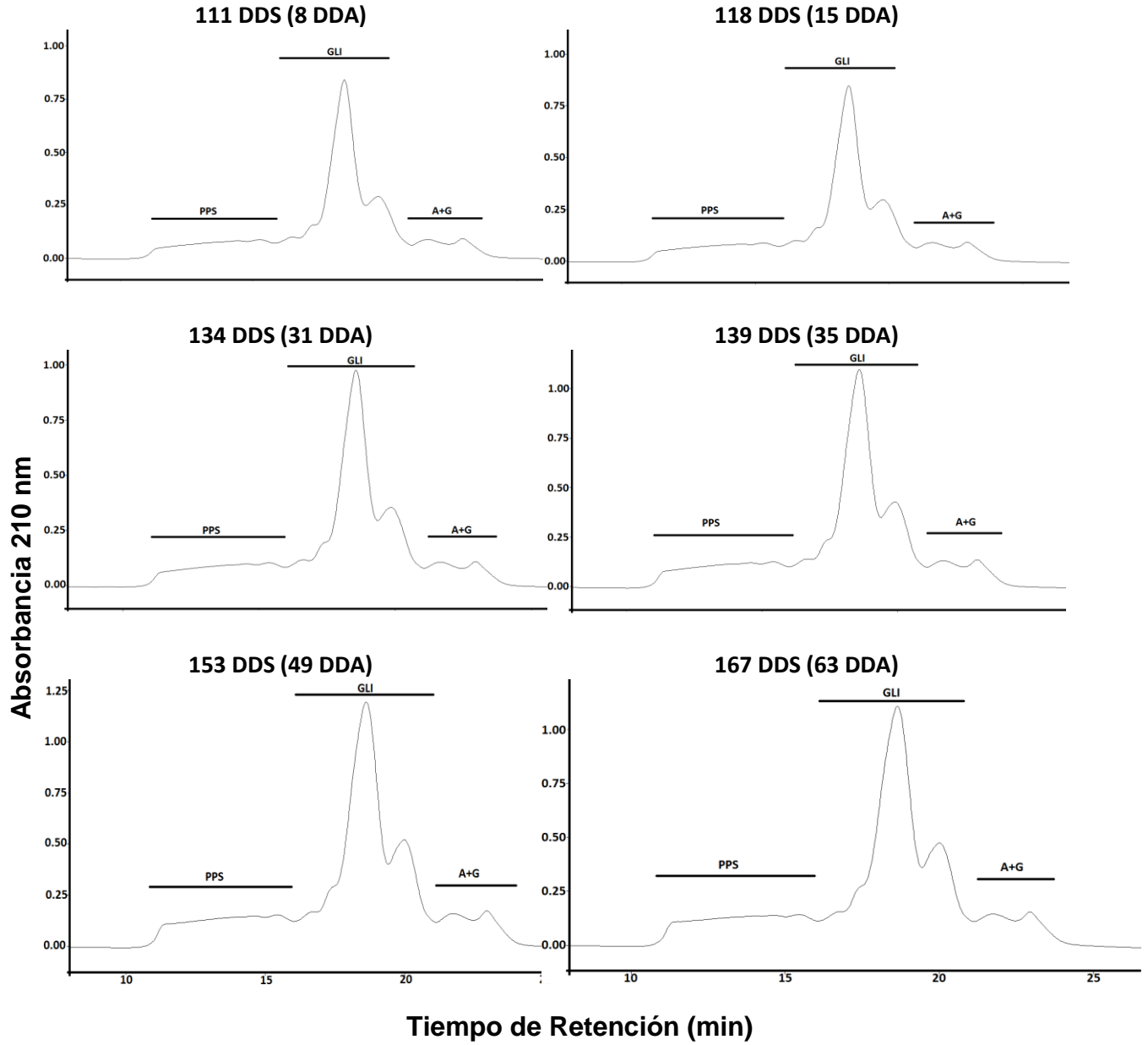


Figura 16. Contenido de proteína soluble de la variedad Roelfs con respecto al tiempo de maduración del grano. (PPS= proteína polimérica soluble, GLI =gliadinas y A+G= albuminas mas globulinas).

presentes las diferentes proteínas solubles, encontrándose en menor proporción la PPS, seguidos de las gliadinas, albuminas y globulinas, conforme transcurren los DDS se observa que la PPS aumenta gradualmente mientras que las albuminas y globulinas aumentan ligeramente en las dos variedades.

En la Figura 17 se observa el contenido de PPS durante el desarrollo del grano de las dos variedades de trigo. La producción de estas proteínas comenzó desde los 111 DDS (8 DDA), la tendencia en la síntesis es de manera exponencial hasta los 167 DDS (63 DDA). En la Figura 18, se observó el desarrollo de gliadinas durante el desarrollo del grano, a los 111 DDS ya se encuentran presentes en el grano estas proteínas. Se observó que la concentración va en aumento de manera similar a la PPS hasta los 167 DDS. En la Figura 19 se observa el desarrollo de las albuminas y globulinas durante el desarrollo del grano de trigo. Para las dos variedades el incremento en la concentración de albuminas y globulinas se dio lentamente desde los 111 DDS (8 DDA) hasta los 139 DDS (35 DDA) a partir de ese día se observó un incremento considerable hasta los 167 DDS (63 DDA).

Varios estudios (Gupta *et al.*, 1996; Singh *et al.*, 2005; Medina *et al.*, 2009) han demostrado una variación en el contenido de las diferentes fracciones solubles de proteína en diversas variedades de trigo, siendo sometidas a diferentes regímenes de fertilización y condiciones climáticas. Sin embargo, son pocas las investigaciones sobre la formación de estas proteínas durante el llenado del grano. Los cambios en las concentraciones se dan debido a la síntesis que ocurre en los diferentes estadios del llenado del grano, aumentando la concentración con respecto a la etapa de

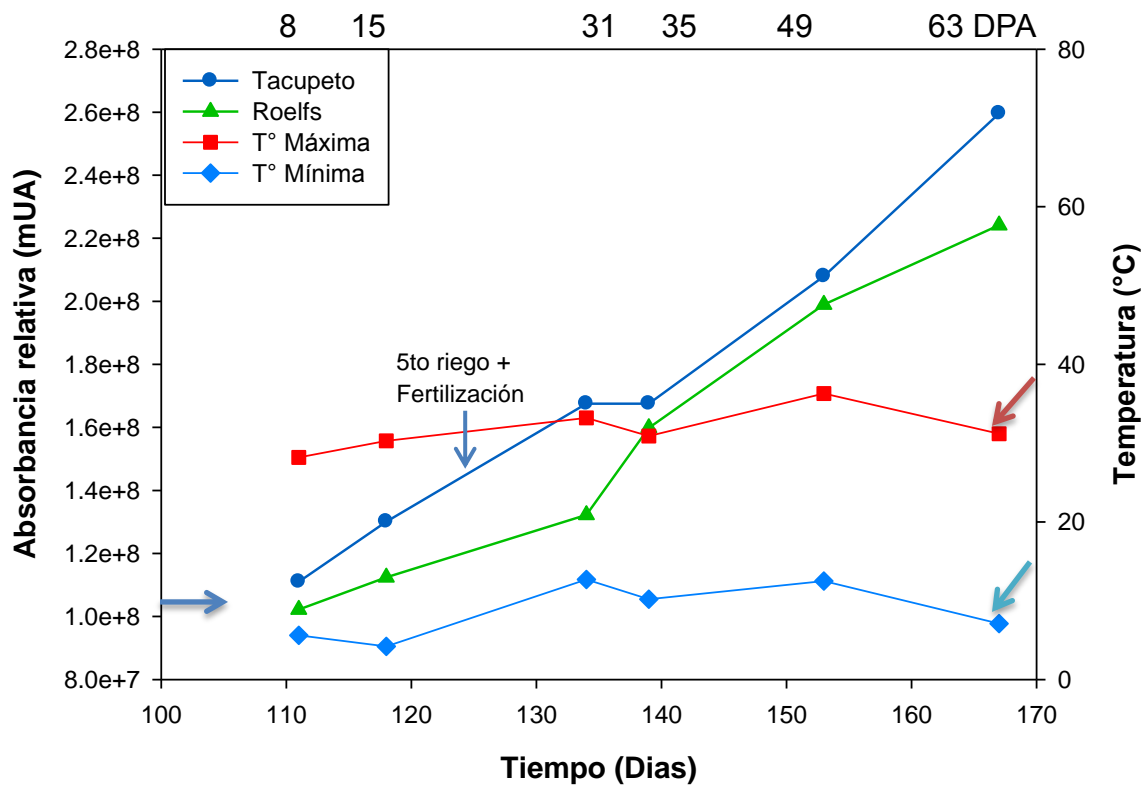


Figura 17. Contenido de PPS durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

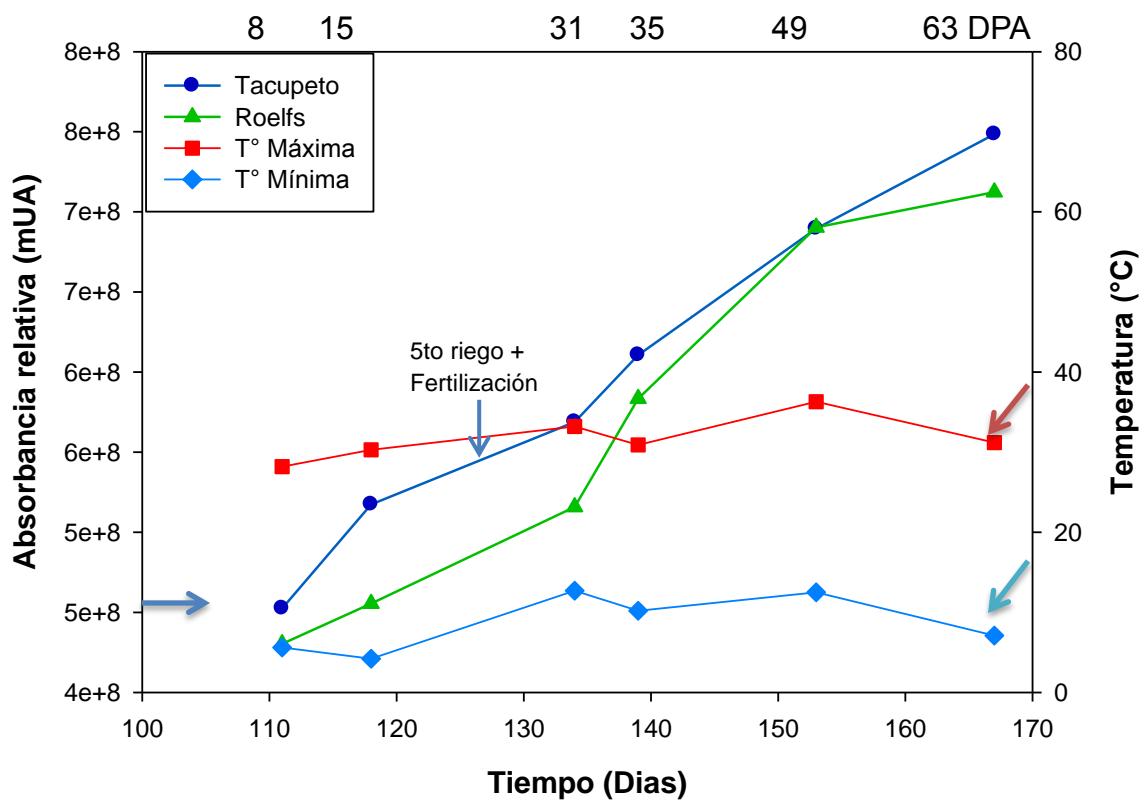


Figura 18. Contenido de gliadinas durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

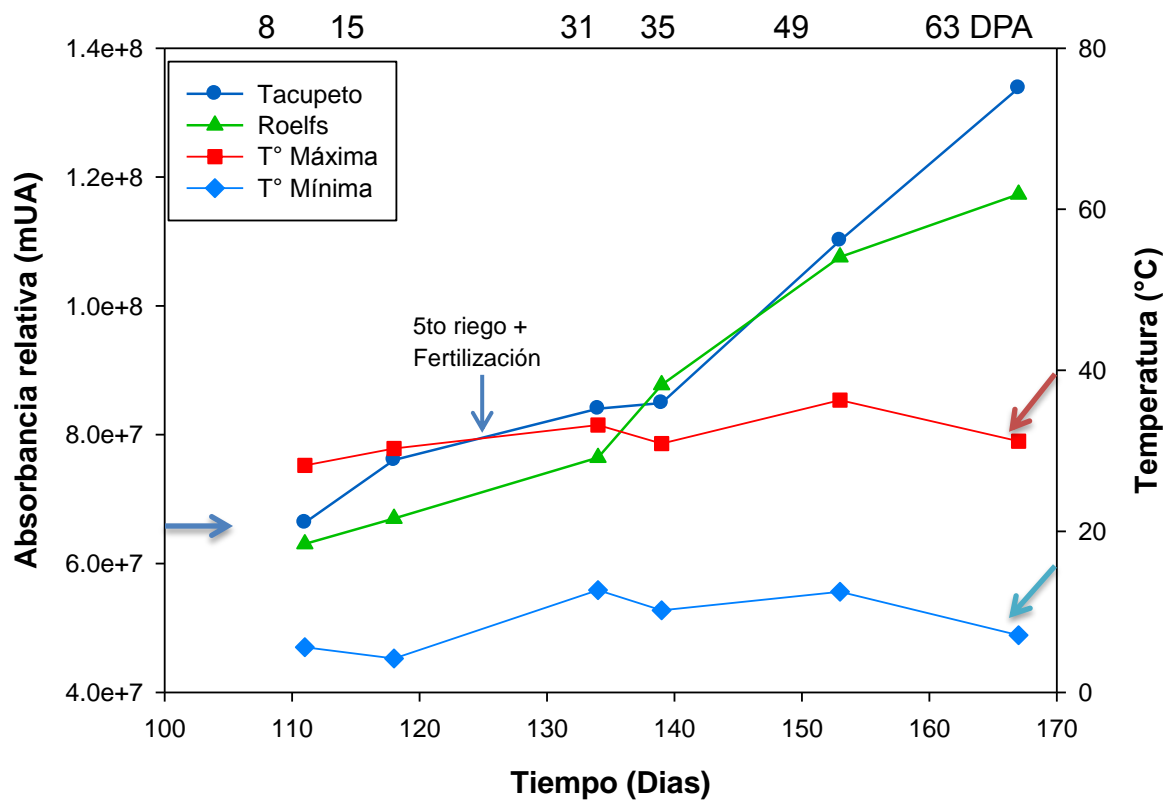


Figura 19. Contenido de albuminas y globulinas durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

maduración. Triboi *et al.*, (2003) encontraron que un suministro de nitrógeno en cantidades abundantes incrementa la duración del periodo de acumulación de proteínas. En contraste se ha demostrado que temperaturas elevadas disminuyen el periodo de síntesis de proteínas (Hurkman *et al.*, 2007; Pierre *et al.*, 2008; Flagella *et al.*, 2010) por lo que la síntesis de estas proteínas se dará principalmente por las condiciones en las que se desarrolla el cultivo mas que por el factor de la variedad.

Cromatografía de Fase inversa para Gliadinas (RP-HPLC)

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre el contenido de las subclases de gliadinas (α , β , ω y γ gliadinas) durante el desarrollo del grano, se llevó acabo un análisis de varianza (ANDEVA), que se presenta en la Tabla 9. Se observó que entre variedades no hubo diferencias significativas. Sin embargo, el tiempo de desarrollo afectó muy significativamente ($p < 0.01$) el contenido de gliadinas durante el desarrollo del cultivo.

En la Figura 20 y 21 se observa el desarrollo de las diferentes subclases de gliadinas durante el desarrollo del grano de las dos variedades de trigo. Las primeras subclases en aumentar son las γ gliadinas, seguidas de las α , β y por ultimo las ω gliadinas. En la Figura 22 se observó la concentración de ω gliadinas. Las dos variedades comenzaron la síntesis de manera exponencial a partir de los 118 DDS (15 DDA). Sin embargo, la variedad Tacupeto lo hace hasta los 139 DDS (35 DDA), mientras la variedad Roelfs permanece constante hasta los 153 DDS (49 DDA). Las

Tabla 9. Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y el tiempo sobre el contenido subclases de gliadinas del grano durante su desarrollo, RP-HPLC.

Fuente de variación	Grados de libertad	ω^1		$\alpha+\beta^1$		γ^1	
		CM	F	CM	F	CM	F
Variedad (VA)	1	7.35	0.01 ^{NS}	1.50	2.94 ^{NS2}	5.87	3.84 ^{NS}
Tiempo (TIE)	5	1.63	3.26 ^{*3}	9.06	17.68 ^{**4}	1.17	7.65 [*]
VA*TIE	5	2.81	0.56 ^{NS}	1.23	2.41 ^{NS}	1.30	0.85 ^{NS}
Error	12	5.01		5.12		1.52	
Total	23						

¹Gliadinas: α =alfa; β = beta; ω = omega; γ =gama

²NS= no significativo

^{3*}=significativo a un nivel de ($p<0.05$)

^{4**}=Significativo a un nivel de ($p<0.01$)

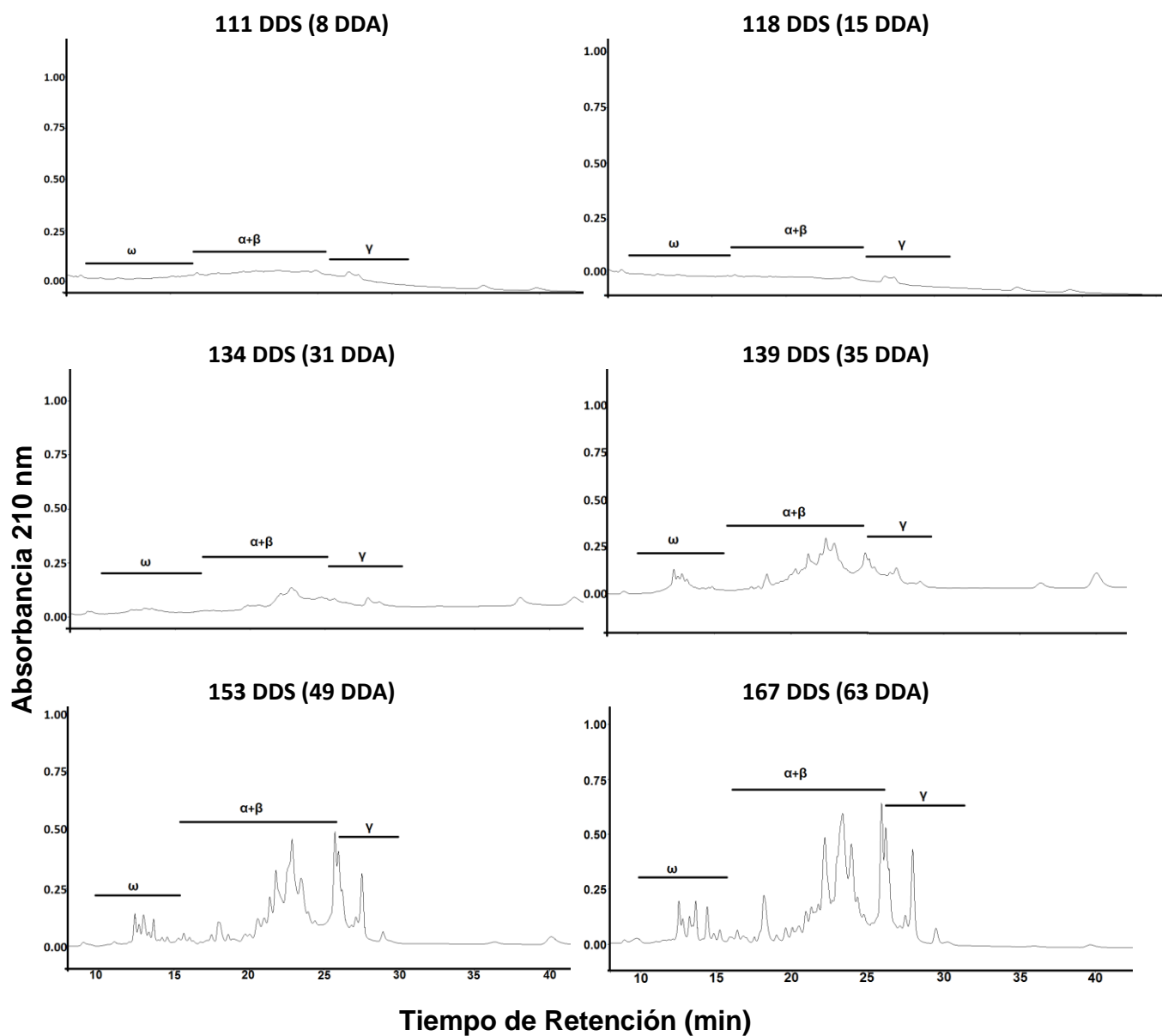


Figura 20. Contenido de subclases de gliadinas de la variedad Tacupeto con respecto al tiempo de maduración del grano.

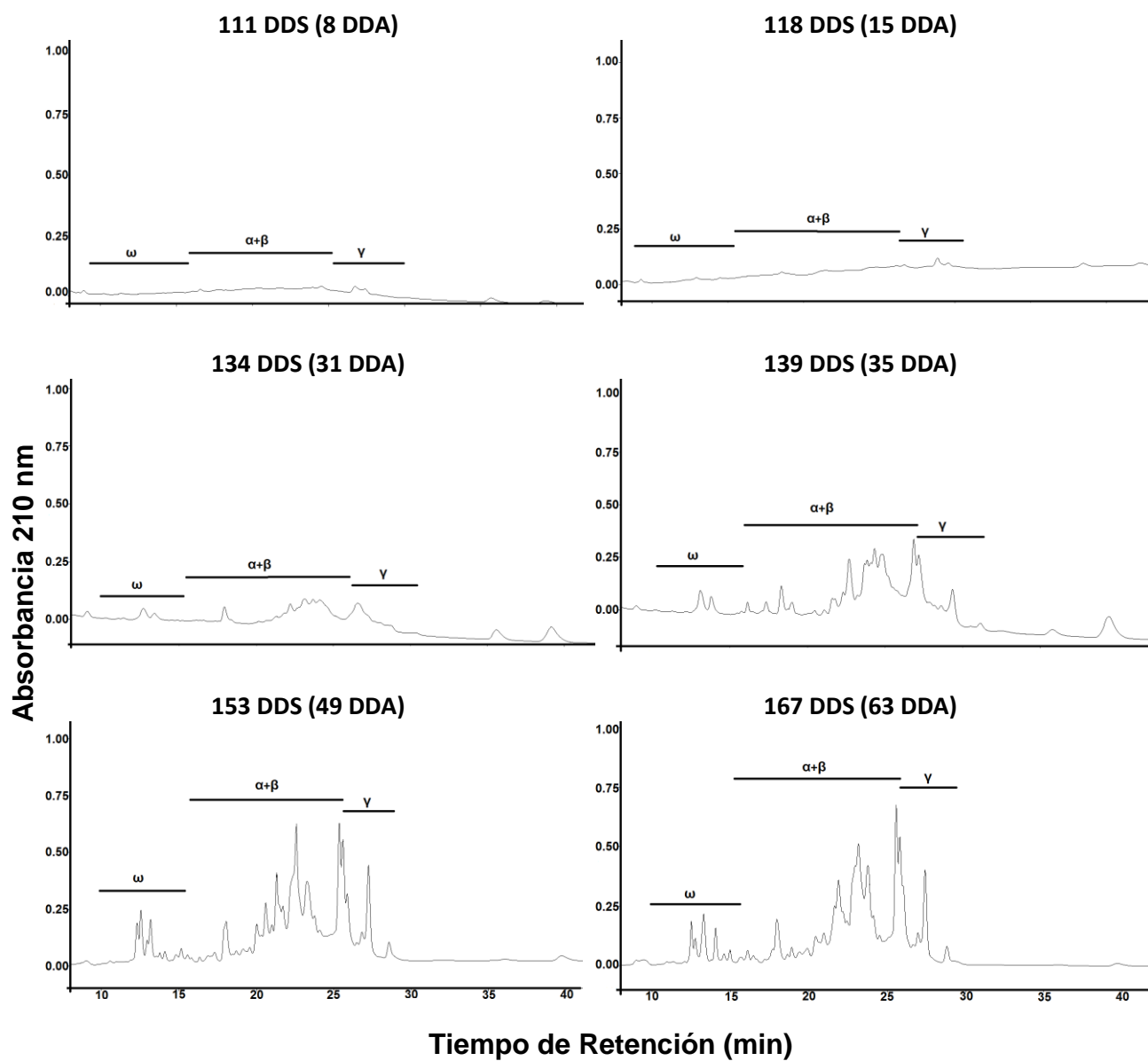


Figura 21. Contenido de subclases de gliadinas de la variedad Roelfs con respecto al tiempo de maduración del grano.

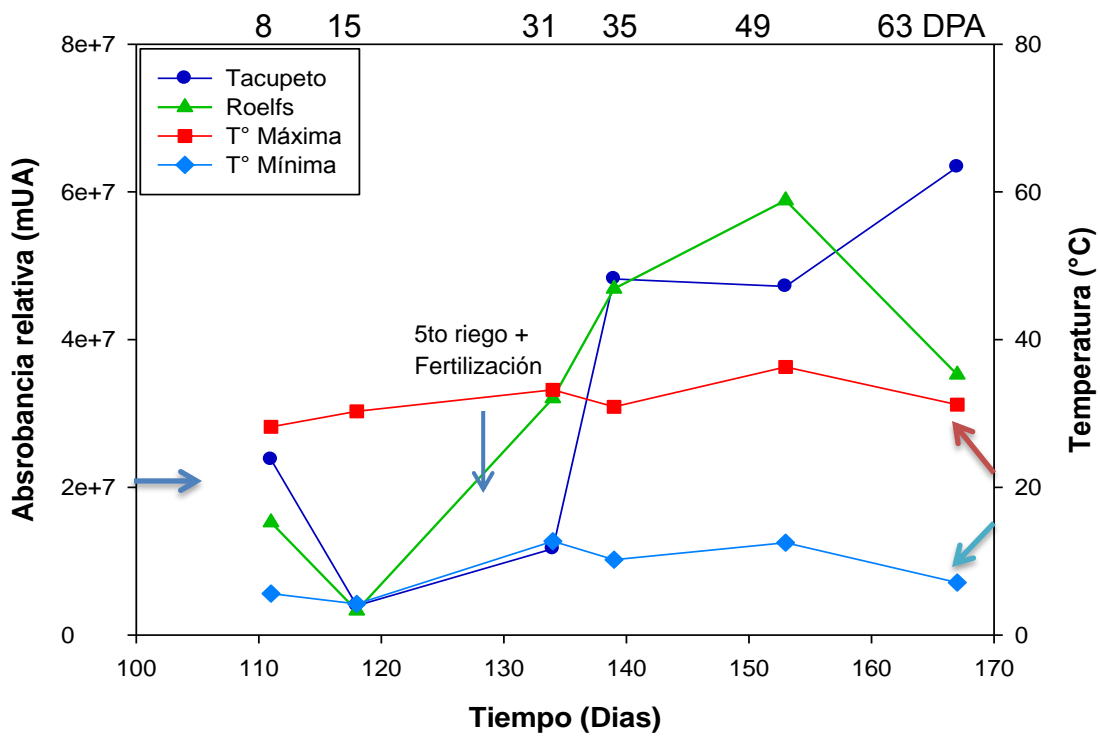


Figura 22. Contenido de gliadinas omega durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

ω gliadinas son las de mayor peso molecular y son las últimas en sintetizarse. Estas proteínas son pobres en aminoácidos azufrados como la metionina y cisteína los cuales hacen que se formen los puentes disulfuro, sin embargo son ricas en prolina, glutamina, fenilalanina las cuales se unen por interacciones hidrofóbicas (Shewry *et al.*, 1990). Altenbach *et al.*, (2007) encontraron que los niveles de transcripción de las omega gliadinas cambian ligeramente en la ausencia de NPK durante el desarrollo del grano, pero incrementa cuando las plantas son fertilizadas post-antesis. Las segundas subclases de gliadinas en sintetizarse son las α y β gliadinas en la Figura 20 se observa la presencia de estas proteínas a los 134 DDS (31 DDA) en la variedad Roelfs, en contraste la variedad Tacupeto que presentó un aumento hasta los 139 DDS (35 DDA). En la Figura 23 se observa la concentración de las α y β gliadinas. Para la variedad Roelfs a los 118 DDS (15 DDA) la síntesis de estas subclases de gliadinas se da de manera exponencial hasta los 153 DDS (49 DDA) mientras que la variedad Tacupeto presenta un aumento de los 118 DDS hasta los 139 DDS (35 DDA).

Elangovan *et al.*, (2010) evaluaron la acumulación de gliadinas en dos variedades de trigo sembradas bajo diferentes condiciones climáticas, encontrando que en el contenido de ω gliadinas no presentaron diferencias, sin embargo si presentaron diferencias en el contenido de α y β gliadinas. En la presente investigación no se presentaron cambios en las condiciones ambientales. Sin embargo, la variación en la síntesis de estas proteínas se puede deber al factor de la variedad.

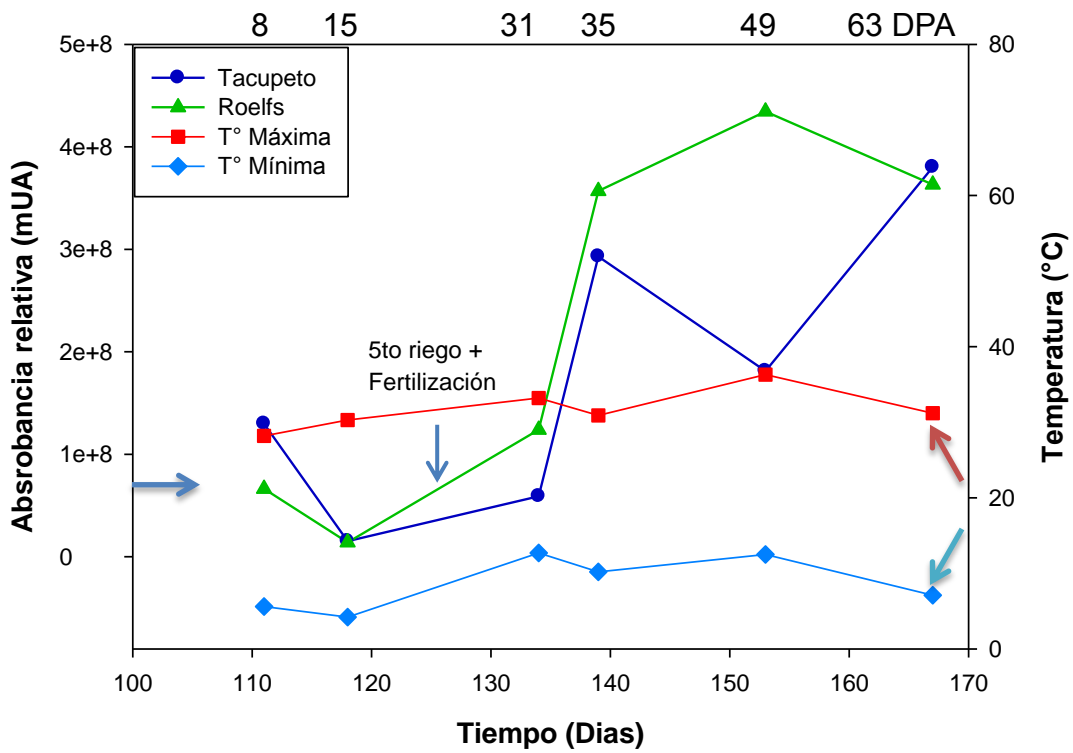


Figura 23. Contenido de gliadinas alfa y beta durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

En la Figura 24 se observa la concentración de las γ y gliadina. A partir de los 118 DDS (15 DDA) la concentración de γ y gliadinas se da de manera exponencial para las dos variedades. Sin embargo, la variedad Roelfs alcanza su máxima nivel de síntesis a los 139 DDS (35 DDA); después, la variación en la concentración es mínima. La variedad Tacupeto continúa la síntesis de manera exponencial hasta los 167 DDS (63 DDA), lo cual quiere decir que la variedad Roelfs sintetiza más rápidamente esta subclase con respecto a Tacupeto.

Ferrise *et al.*, (2010) encontró que el fertilizante aplicado después de la antesis es utilizado directamente en el llenado del grano. Lo que hace suponer que el nitrógeno aplicado en el quinto riego pudo ser aprovechado para la formación de estas proteínas. Sin embargo, la mayor fuente de nitrógeno proviene de la planta. Johanson *et al.*, (2001) encontraron que la variación en la aplicación de nitrógeno influye en el contenido de Glu y Gli, pero no el contenido de Alb y Glo.

Cromatografía de Fase Inversa para Gluteninas

Para ver el efecto de la variedad de trigo y el tiempo de desarrollo sobre el contenido de gluteninas durante el desarrollo del grano, se llevo a cabo un análisis de varianza (ANDEVA) (Tabla 10). Se observó que entre variedades no hubo diferencias significativas, sin embargo el tiempo de desarrollo afecto muy significativamente ($p < 0.01$) el contenido de subunidades de gluteninas durante el desarrollo del cultivo.

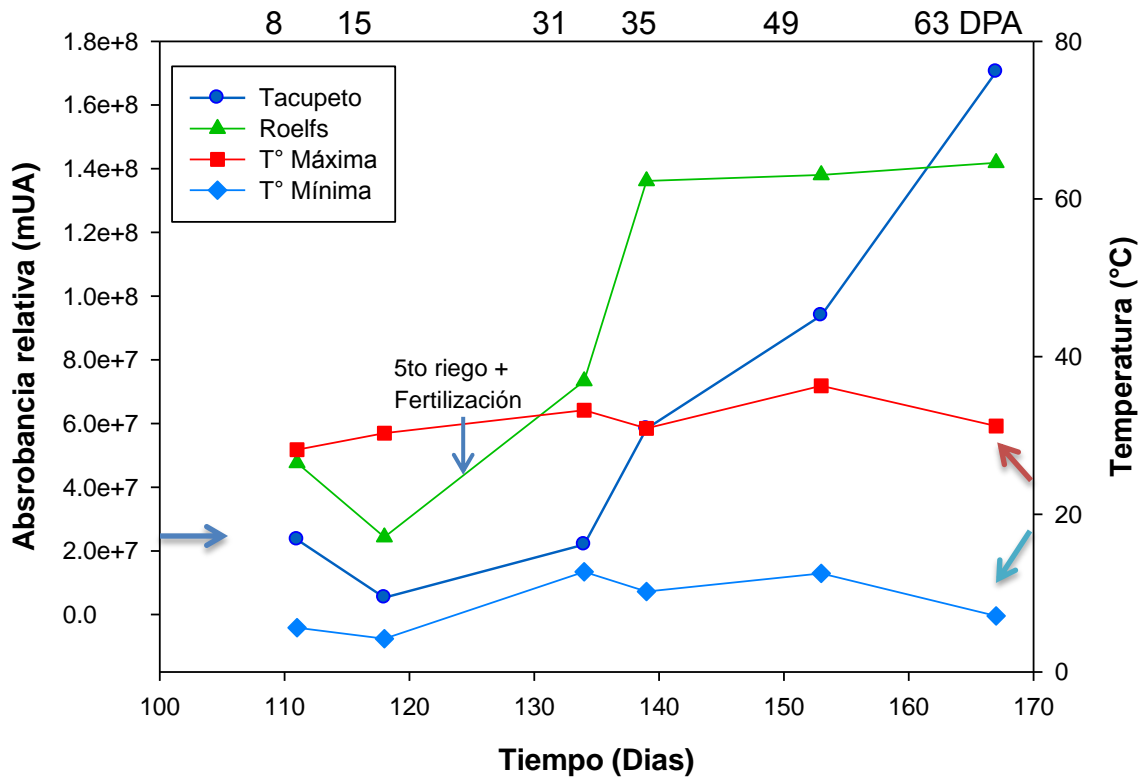


Figura 24. Contenido de gliadinas gamma durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

Tabla 10. Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad de trigo y el tiempo sobre el contenido de subunidades de gluteninas del grano durante su desarrollo.

Fuente de variación	Grados de libertad	SGBPM ¹		SGAPM ¹	
		CM	F	CM	F
Variedad (VA)	1	2.41	2.41 ^{NS2}	1.58	1.31 ^{NS}
Tiempo (TIE)	5	1.19	1.19 ^{**4}	7.08	60 ^{**}
VA*TIE	5	2.50	2.50 ^{NS}	2.33	1.99 ^{NS}
Error	12	2.82		1.17	
Total	23				

¹SBPM= Subunidades de gluteninas de bajo peso molecular ; SAPM= Subunidades de Gluteninas de alto peso molecular

²NS= no significativo

³*=significativo a un nivel de (p<0.05)

⁴**=Significativo a un nivel de (p<0.01)

En la figura 25 y 26 se observa el desarrollo de las SGAPM y SGBPM durante el llenado del grano de dos variedades de trigo. El contenido de gluteninas a partir de los 111 DDS (8 DDA) es bajo o casi nulo hasta los 134 DDS (31 DDA) para las dos variedades, el aumento en la síntesis de estas proteínas se da a los 139 DDS (35 DDA) siendo la variedad Roelfs la que presenta un mayor incremento tanto en las GAPM como en las GBPM. En la Figura 27 se observó la concentración de GBPM en donde los primeros días post-antesis la concentración es baja de los 111–134 DDS. A partir de los 134 DDS se observó un incremento considerable en la síntesis de estas proteínas hasta los 167 DDS (63 DDA) para las dos variedades. La presencia de las SGAPM se observa en la Figura 28. El comportamiento de la síntesis fue de manera similar que las SGBPM siendo la variedad Roelfs la que presentó un mayor aumento en la concentración con respecto a la variedad Tacupeto.

Resultados similares fueron encontrados por Shewry *et al.*, (2009) en trigos de invierno donde la proporción de SGAPM se acumularon lentamente durante las primeras fases de desarrollo del grano aumentando a mitad del ciclo y en algunos casos hasta el final del llenado de grano. Yue et al (2007), encontraron que hay un cambio en la acumulación de SGAPM dependiendo de las dosis de nitrógeno aplicadas durante el desarrollo del cultivo, así como una diferencia en el tiempo de acumulación entre variedades. En la presente investigación los cultivos se desarrollaron bajo el mismo régimen de riegos y fertilización lo que hace suponer que el tiempo de desarrollo de gluteninas se da principalmente por la variedad

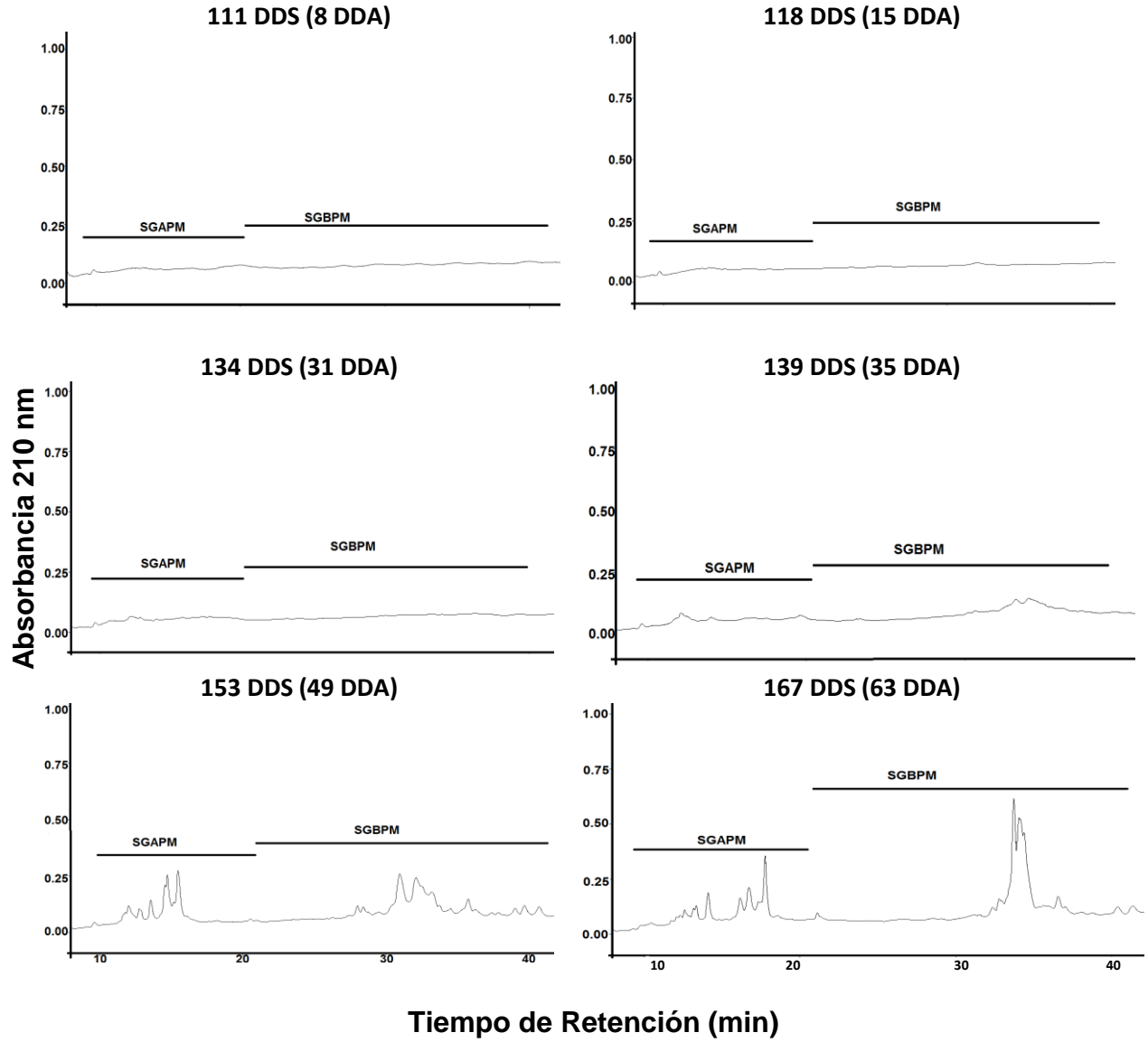


Figura 25. Contenido de gluteninas de la variedad Tacupeto con respecto al tiempo de maduración del grano.

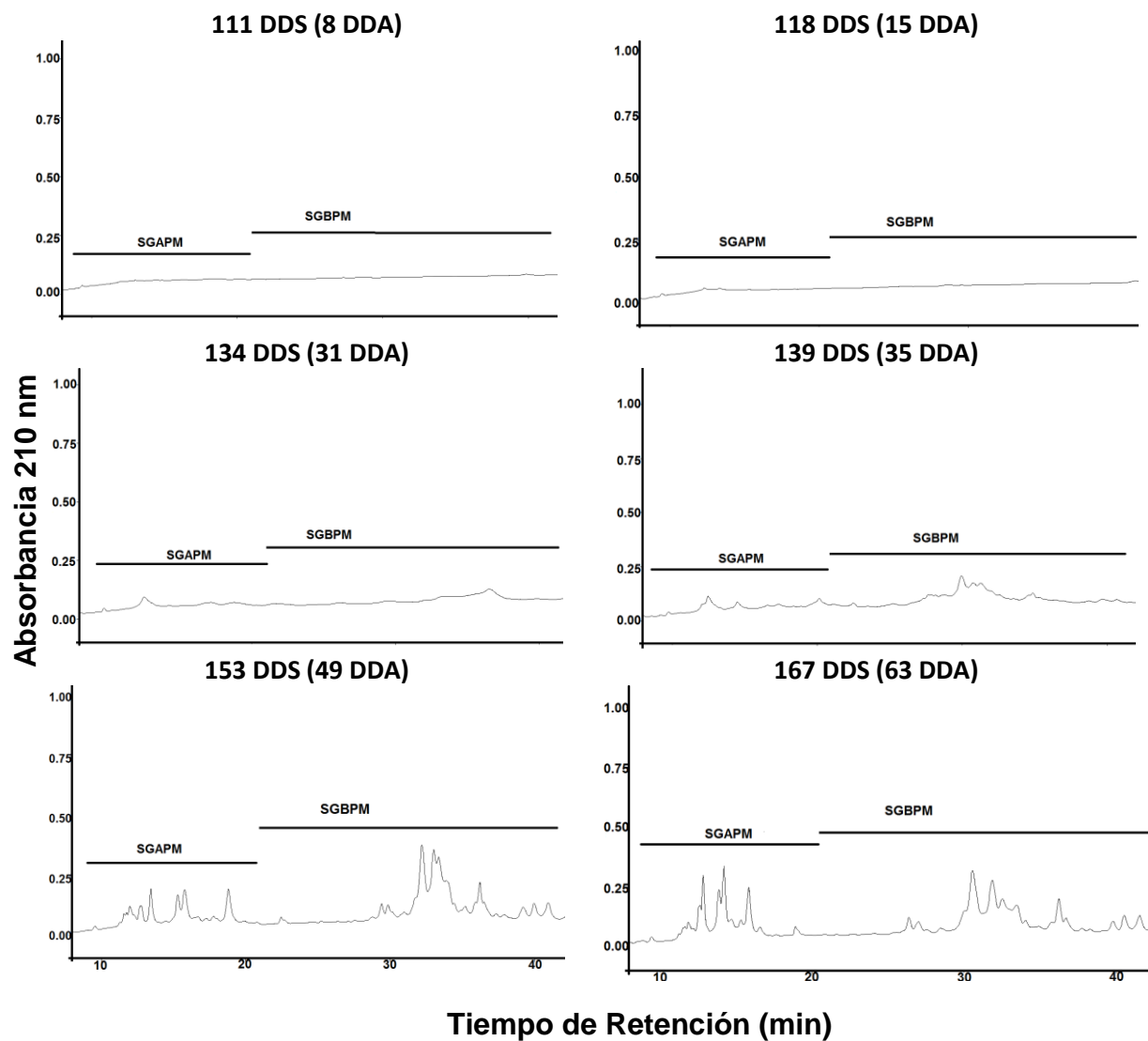


Figura 26. Contenido de gluteninas de la variedad Roelfs con respecto al tiempo de maduración del grano.

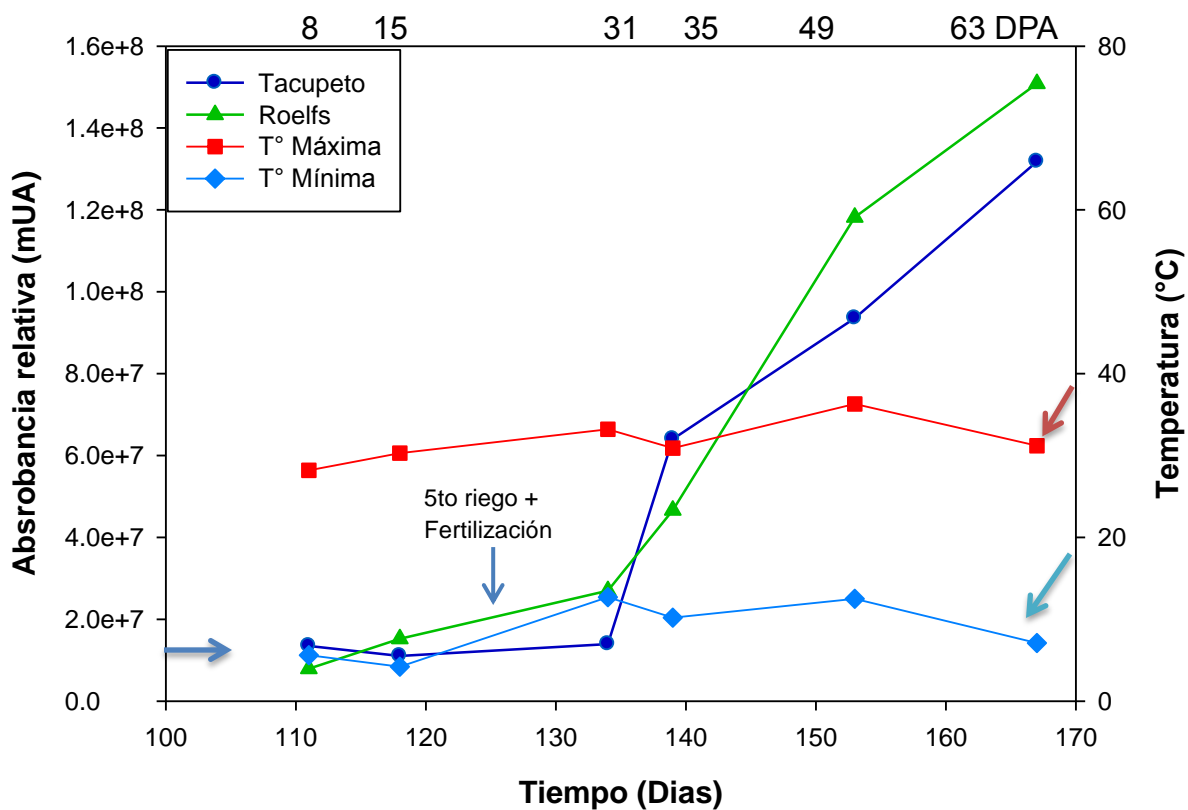


Figura 27. Contenido de subunidades gluteninas de bajo peso molecular durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

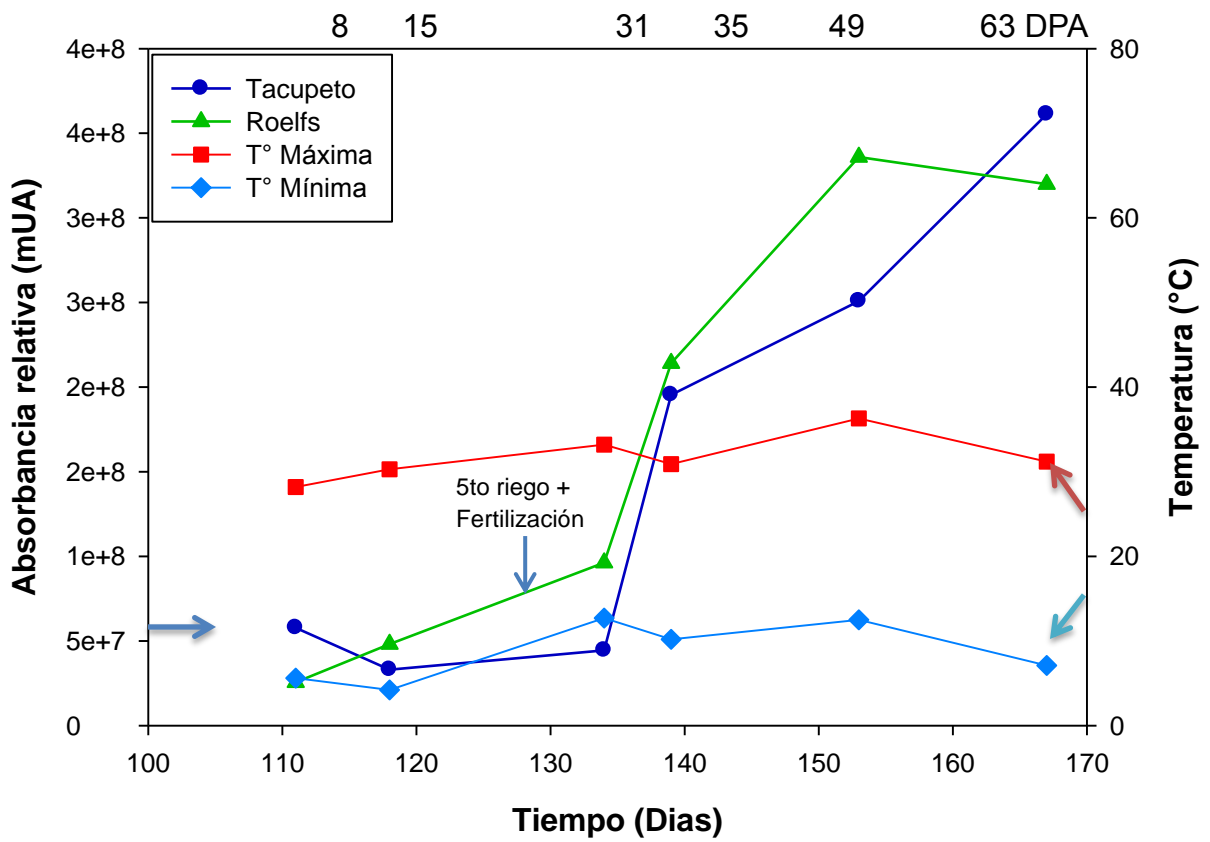


Figura 28. Contenido subunidades de gluteninas de alto peso molecular durante el desarrollo del grano de trigo de dos variedades sembradas comercialmente.

Electroforesis SDS-PAGE de proteínas del trigo

Se realizó una corrida electroforética para corroborar la información obtenida por HPLC así como observar la formación de las proteínas durante el desarrollo del grano. En la Figura 29 se observa los geles obtenidos de las dos variedades. En los primeros días de siembra se puede apreciar poca o nula acumulación de proteínas, a medida que aumenta la formación de proteínas de trigo a partir de los 139 DDS se observó claramente la formación de las bandas correspondientes a las mismas. Shewry *et al.*, (2009) evaluaron la síntesis y acumulación de proteínas de trigo de invierno, realizando una corrida electroforética SDS-PAGE, donde los primeros días después de la antesis no se observaron bandas, hasta los 12 a 35 DDA resultados similares se encontraron en la presente investigación, sin embargo no se observaron bandas visibles hasta los 139DDS, esta variación se pudo deber a varios factores como variedad, topográficos, climáticos entre otros.

Parámetros de Calidad del Grano de Trigo

Para ver el efecto de la variedad de trigo sobre algunos parámetros de calidad, se llevo acabo un análisis de varianza (ANDEVA) (Tabla 11). La variedad afecto muy significativamente ($p < 0.01$) al contenido de panza blanca. El contenido de humedad y peso de mil granos, No se presentaron diferencias significativas ($p > .05$) en cuanto al rendimiento y peso hectolitrico.

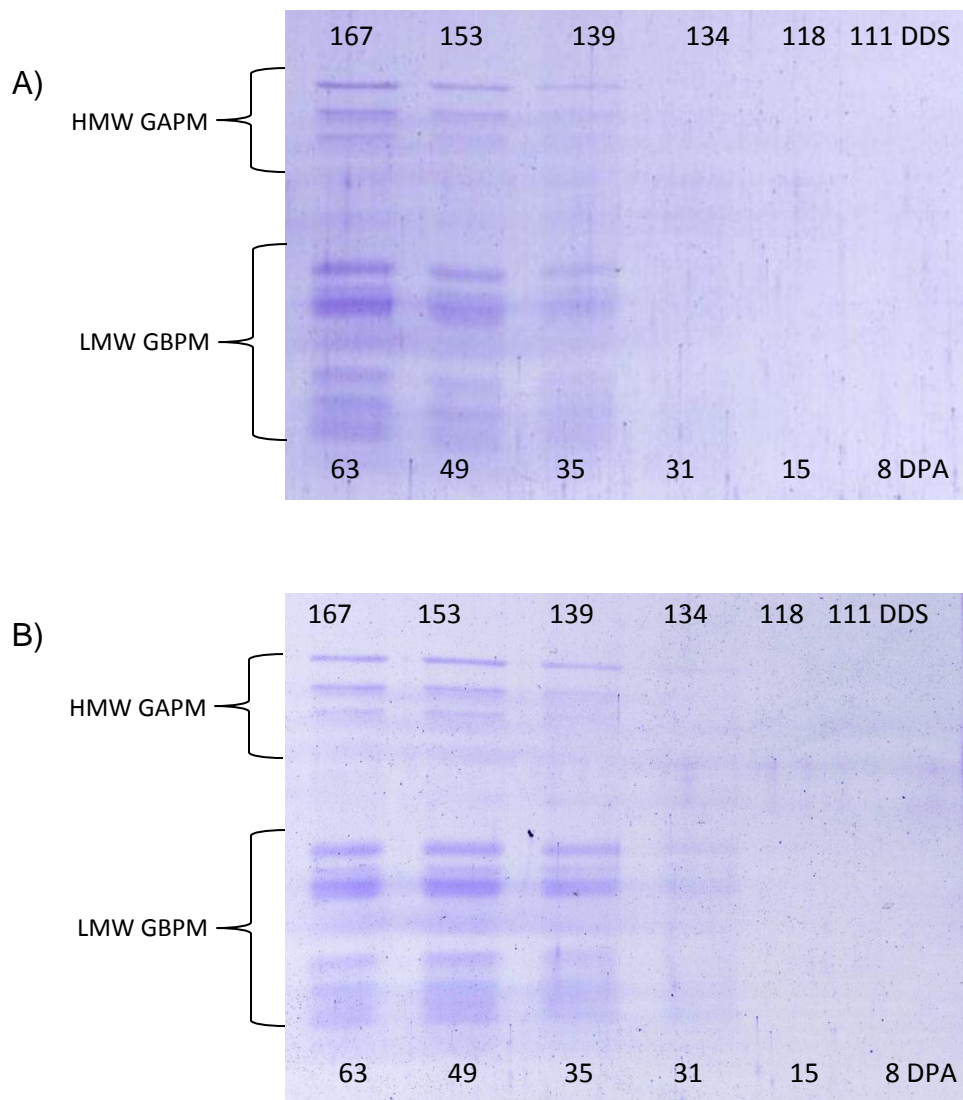


Figura 29. Geles electroforéticos de proteínas de trigo (SDS-PAGE) de dos variedades de trigo. A) proteínas variedad Tacupeto. B) proteínas variedad Roelfs.

Tabla 11. Análisis de varianza, cuadrados medios y valor de F, del efecto de la variedad, sobre algunos parámetros de calidad del grano maduro.

Fuente de variación	Grados de libertad	PB ¹		H ¹		NM ¹		PM ¹		PH ¹		REN ¹	
		CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F	CM	F
Variedad	1	117	16.6 ^{**4}	4.14	125 ^{**}	2.7	3.5 ^{NS2}	22	9.4 ^{*3}	0.40	0.64 ^{NS}	0.03	0.02 ^{NS}
Error	6	134		0.62		19.8		44		0.62		1.51	
Total	7												

¹PB= Panza blanca; H= Humedad NM= Numero de macollos; PM= Peso de mil granos; PH= Peso hectolitrico; REN=Rendimiento

²NS= no significativo

^{3*}=significativo a un nivel de (p<0.05)

^{4**}=Significativo a un nivel de (p<0.01)

Contenido de panza blanca

El porcentaje de panza blanca, para la variedad Tacupeto fue de 59.6% mientras que la variedad Roelfs presentó un 55.21% (Tabla 12). Aunque el cultivo contó con un elevado contenido de nitrógeno, se presentó este fenómeno en gran porcentaje de los granos maduros. La disponibilidad de nitrógeno es uno de los factores críticos que determinan la presencia de panza blanca. Sin embargo, el exceso número de riegos durante el desarrollo del cultivo pudo provocar una pérdida en la disponibilidad del mismo por lixiviación. Triboi *et al.* (2002), reportan que un contenido alto de nitrógeno inhibe algunos micronutrientes necesarios para el buen funcionamiento de los ciclos metabólicos de la planta, lo que pudiera explicar el alto contenido de panza blanca a pesar de la buena fertilización del cultivo.

Número de macollos

El número de macollos producidos por la variedad Roelfs fue de 3.93 mientras que la variedad Tacupeto desarrollo 3.33 macollos (Tabla 12). La producción de macollos esta ligado a la temperatura, siendo las temperaturas bajas las que favorecen la producción de estos. Una planta de trigo produce en promedio entre 3 a 5 macollos, en donde también interviene la fertilización.

Rendimiento

La variedad Tacupeto tuvo un rendimiento de 6.44 Ton/ha, mientras que para la variedad Roelfs 6.31 Ton/ha (Tabla 12). Este parámetro esta dentro de los rangos considerados para el estado de Sonora que esta entre los 5.71- 6.50 Ton/ha.

Tabla 12. Parámetros de calidad del grano maduro de dos variedades de trigo (Tacupeto y Roelfs) sembrado a nivel comercial.

Variedad	Humedad ¹ (%)	Panza blanca (%)	Peso hectolítrico (kg/hL)	Rendimiento (Ton/ha)	Peso 1000 granos (g)	Número de macollos	Número de espigas
Tacupeto	8.6 ± 0.16	59 ± 3.6	73.3 ± 1.05	6.4 ± 1.63	48 ± 1.29	3.3± 0.97	31±6.40
Roelfs	7.7 ± 0.17	55 ± 1.19	73.7 ± 0.38	6.3 ± 0.61	46 ± 2.15	3.9±0.97	33±6.40

¹= Base seco

Figuroa *et al.* (2011), reportaron un rendimiento de 6.75-7.48 Ton/ha para la variedad Roelfs. Esta diferencia pudo deberse a las condiciones en las que se manejo el cultivo, el tipo de suelo donde se sembró ya que son los factores que mas influyen en el rendimiento.

Peso de Mil Granos

La variedad Tacupeto tuvo un peso de mil granos de 48.69 g, mientras que para la variedad Roelfs fue de 46.76 g (Tabla 12). Este parámetro está relacionado con el rendimiento de la harina así como al peso hectolítrico. Un bajo peso de mil granos indica un daño en las semillas o brotación de las mismas.

Peso Hectolitrico

El peso hectolítrico para las dos variedades fue bajo. La variedad Tacupeto tuvo un promedio de 73.34 kg/h mientras que la variedad Roelfs fue de 73.7 kg/h (Tabla 12). Figuroa *et al.* (2011), reportaron un peso hectolítrico de 81.9 kg/h, esta disminución en el peso se pudo deber al alto contenido de panza blanca presentado en las dos variedades.

CONCLUSIONES

El aumento de peso de los granos de trigo variedad Roelfs y Tacupeto presentó diferencias a partir de los 31 DPA. La variedad Roelfs completo su peso a los 35 DPA mientras que la variedad Tacupeto a los 49 DPA.

La síntesis de almidón en las dos variedades tuvo un incremento a partir de los 15 DPA. La variedad Roelfs mantuvo un mayor porcentaje de almidón con respecto a Tacupeto durante el tiempo de desarrollo del grano, sin embargo, el porcentaje de almidón en la variedad Tacupeto en grano maduro supero con un 3 % a la variedad Roelfs.

La síntesis de gliadinas en las dos variedades de trigo comenzó a los 8 DPA con la formación de la γ -gliadinas, seguido de la síntesis de las α - β gliadinas a los 31 DPA. La expresión de las ω -gliadinas se presentó a los 31 DPA para la variedad Roelfs y a los 35 DPA en la variedad Tacupeto.

La síntesis de gluteninas en las dos variedades se hace evidente a partir de los 35 DPA.

El contenido de panza blanca fue superior al 50 % en ambas variedades lo cual se relacionó con el exceso de riego que a su vez provocó la lixiviación del nitrógeno.

RECOMENDACIONES

Realizar una investigación donde se varíe la fertilización antes y después de la floración en la planta, así como de la aplicación de riegos durante la formación del grano.

Evaluar el contenido de nitrógeno en las diferentes partes de la planta, para obtener información de donde se acumula en mayor cantidad y como se va distribuyendo en la misma.

Realizar una investigación del comportamiento de las enzimas encargadas de remover los nutrientes de la planta en los diferentes estadios del cultivo. Ya que esta investigación arrojo que las principales proteínas de interés se forman desde el inicio de la antesis.

Modificar las fechas de aplicación de fertilizantes ya que de ello dependerá la calidad del cultivo. Así como de manejar adecuadamente los riegos para evitar perdidas en la absorción de nutrientes por lixiviación.

REFERENCIAS

- Abedi, T., Alemzadeh, A., Abdolreza, S. (2011). Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. *Australian Journal of Crop Science* 5(3):330-336.
- Altenbach, SB., DuPont, FM., Kothari, KM., Chan, R., Jhonson EL., Lieu, D. (2003). Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a us spring wheat. *Journal of Cereal Science* 37, 9-20
- Altenbach, SB., Kothari, K. M. (2007). Omega gliadin genes expressed in triticum aestivum cv. Butte 86: effects of post-anthesis fertilizer on transcript accumulation during grain development. *Journal of Cereal Science* 46,169-177
- Ahmadi, A., Baker, DA. (2001). The effect of water stress on the activities of key regulatory enzymes of the sucrose to starch pathway in wheat. *Plant Growth Regulation*, 35, 81-91.
- Aparicio, R., Aparicio-Ruíz, R., (2000). Authentication of vegetable oils by chromatographic techniques. *Journal of Chromatography A* 881, 93–104.
- Ball, SG., Morell, MK. (2003). From Bacterial Glycogen to Starch: Understanding the Biogenesis of the Plant Starch Granule. *Annu Rev Plant Biol*, (54) ,207-233
- Barbottin, A., Lecomte, C., Bouchard, C., Jeuffroy, MH. (2005). Nitrogen remobilization during grain filling in wheat: Genotypic and environmental effects. *Crop Science Society of America* (45), 1141-1150.
- Bechtel, D., Abecassis, J., Shewry, PR., Evers T. (2009). The development, structure and mechanical properties of the wheat grain. *Chemistry and Technology*, fourth ed, AACC st paul MN, USA, pp 51-95
- Barneix, AJ. (2007). Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. *Journal of Plant Physiology* 164 581—590

- Bingham, I.J., Walters, D.R., Foulkes, M.J., Paveley, N.D. (2009). Crop traits and the tolerance of wheat and barley to foliar disease. *Ann. Appl. Biol.*, 159-173.
- Burnouf, T., Bietz, J., (1984). Reversed-phase high-performance liquid chromatography of reduced glutenin, a disulfide-bonded protein of wheat endosperm. *Journal of chromatography*, 299, 185-199.
- Branlard, G., Dardevet, M., Saccomano, R. (2001). Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *Euphytica* 119, 59-61-658.
- Briarty, G., Hughes, E., Evers, D. (1979). The developing endosperm of wheat—a stereological analysis. *Annals of Botany* 44; 64
- Casanellas, JP., López-Acevedo, M. (2005). *Agenda de campo de suelos: información de suelos para agricultura y medio ambiente*. Mundi-prensa libros.
- Calaveras, J. (2004). *Nuevo tratado de panificación y bollería*. AMV Ed. Mundi prensa. 2ª edición.
- Campbell, MK. (1995). *Biochemistry*. 2 ed. Saunders: College Publishing.
- Campbell, N., Reece, J. (2007). *Biología*. 7ª edición. Editorial Médica Panamericana
- De la O, M., Espitia, E., Villaseñor, H., Molina, J., Sánchez, H., Santacruz, A., Bautista, R. (2010). Proteínas del gluten y reología de trigos harineros mexicanos influenciados por factores ambientales y genotipos. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília V.45. N°9, 989-996.
- Dexter, J.E., Marchyco, B.A, MacGregor, A.W., Tkachuk, R. (1989). The structure and protein composition of vitreous, peibald and starchy durum wheat kernels. *J Cereal Sci* 10: 19–32.

- Díaz, P., Dall, R., Vázquez, D., Castro, M. (2005). Elementos de análisis cualitativo y cuantitativo en proteínas del gluten de trigo. *Agricultura técnica* 66 (4); 360-369.
- Dupont, F.M., Altenbach, S.B. (2003). Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *J. Cereal Sci.* 38: 133-146.
- Duffus, C.M. (1992). Control of starch biosynthesis in developing cereal grains. *Bioch. Soc. Tran.* 20: 13–18.
- Ehdaie, B., Alloush, G.A., Waines, J.G., (2008). Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. *Field Crops Res.* 106, 34-43.
- Félix, V.P., Ortíz, E.J.E., Fuentes, D.G., Quintana, Q.J.G., Grajeda, G.J. (2009). Horas frío en relación al rendimiento de trigo. Áreas de producción del estado de Sonora. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 63. p.40. ISBN 978-607-425-159-3
- Ferrise, R., Triossi, A., Stratonovitch, P., Bindi, M., Martre, P. (2010). Sowing date and nitrogen fertilization effects on dry matter and nitrogen dynamics for durum wheat: an experimental and simulation study. *Field Crops Research* 117, 245-257.
- Figueroa, P., Fuentes, G., Valenzuela, V., Chavez, G., Félix, J. (2011) 'Roelfs F2007', nueva variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 34 (3): 219 – 221.
- Flagella, Z., Giuliani, M. M., Giuzio, L., Volpi, C., Masci, S. (2010). Influence of water deficit on durum wheat storage protein composition and technological quality. *European Journal of Agronomy*, 33: 197-207.
- Frank, C. (1983) Expression of storage protein genes in developing wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds. *Plant Physiology* 71; 40-46.

- García, H.M. (2000). Electroforesis en geles de poliacrilamida: fundamentos, actualidad e importancia. *Uni diag* ;1(2):31-41
- Gira, K., Holtz, S., Tubaña, B., Solie, J., Raun, W. (2011). Nitrogen accumulation in shoots as a function of growth storage of corn and winter wheat. *Journal of plant nutrition*. 34: 165-182.
- Guerrero, A. (1999). *Cultivos herbáceos extensivos*. Mundi-Prensa libros.
- Gupta, B., Masci, S., Lafiandra, D., Bariana, S., MacRitche, F. (1996) Accumulation of proteins subunits and their polymers in developing grains of hexaploid wheats. *Journal of Experimental Botany*. 302: 1377-1385
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W.S., Courtin, C.M, Gebruers, K., Delcour, A.J. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in food science & thechnology*, 16,12-30.
- Hernandez, L., Gonzalez, C. (2003). *Introducción al análisis instrumental*. Ariel Ciencia S.A. Barcelona
- Horvat, D., Kurtanjek, Z., Drezner, G., Simic, G., Magdic, D. (2009). Effect of HHM glutenin subunits on wheat quality attributes. *Food Technol. Biotechnol*. 47 (3) 253–259
- Hubbard, J.D., Pomeranz, Y., LaiF.S. (1977). Note on protein contents and amino acid composition of dark hard and yellow hard kernels separated from red winter wheat. *Cereal Chem* 54 778–783.
- Hurkman, W., Nensel, W. H., Tanake, K., Whitehand, L., Altenbach, S. B. (2009), Effect of high temperature on albumin and globulin accumulation in the endosperm proteome of the developing wheat grain. *Journal of Cereal Science*, 49: 12-23.
- Kharrou, M., Er-Raki, S., Chehbouni, A., Duchemin, B., Simneque, V., Lepage, M., Ouzine, L., Jarland, L. (2011). Water use efficiency and yield of winter wheat under different irrigation regimes in a semi-arid region. *Agricultural Science* . 273-282

- Medina, C., Torres, P., Martínez, F., Ramírez, B., Paredes, O., Castaño, E. (2009) Effect of microbial transglutaminase on dough proteins of hard and soft (*Triticum aestivium*) and durum (*Triticum durum*) wheat cultivars. *Cereal Chem.* 86(2):127–132
- Monsalve, J., Escobar, R., Acevedo, M., Sánchez, M., Coopman, R. (2009). Effect of the nitrogen concentration on the morphological attributes, root growth potential and nutritional status on cover root *Eucalyptus globulus* seedlings. *Bosque* 30(2): 88-94.
- Ospina, J.E. (2001). *Caracterización Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos.* (1 ed.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Peng, J., Dongfa, S., Nevo, E. (2011). Wild emmer wheat, *triticum dicoides*, occupies a pivotal position in wheat domestication process. *Australian journal of crop science* 5 (9): 1127-1143.
- Peng, M., Gao, M., Baga, M., Hucl, P., Chibbar, N. (2000). Starch-branching enzymes preferentially associated with A-type starch granules in wheat endosperm. *Plant Physiology*, 124; 265-272.
- Pierre, S., Peterson, C. J., Ross, A. S., Ohm, J. B., Verhoven, M. C, Larson, M., Hofer, B. (2008). Winter wheat genotypes under different levels of nitrogen and water stress: changes in grain protein composition. *Journal of Cereal Science*, 47: 407-416.
- Rodríguez, R., Ponce, J.F., Rueda, E., Avendaño, L., Hernández, J., Santillano, J., Cruz, M. (2011). Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento de trigo en la región de Mexicali, B. C., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14: 543- 558
- Quaglia, G. (1991). *Ciencia y tecnología de la panificación.* Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.

- Raynolds, MP., Rajaram, S., Sayre, K.D. (1999). Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand. *Crop Sci.* 39:1611–1621.
- Salgo, A., Gergely, S. (2012). Analysis of wheat grain development using NIR spectroscopy. *Journal of Cereal Science* 56; 31-38.
- Shangguan, Z., shao, M., Dyckmas, J. (2000). Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Journal of plant physiology.* vol. 156, no1, pp. 46-51
- Singht, H. (2005). A study of changes in wheat protein during bread baking using SE-HPLC. *Food Chemistry* 90: 247-250.
- Sramkova, Z., Gregová, E., Sturdik, E. (2009). Composición química y calidad nutritiva del grano de trigo. *Chimica slovacca*, vol. 2, n°1, 115-138.
- Shewry, P.R., Halford, N.G. (2002). Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53, 947-958.
- Shi, R., Zhang, Y., Chen, X., Sun, Q., Zhang, F., Romheld, V., Zou, C. (2010). Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science* 51 165–170
- Serna, S.O.S. (1996). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. Editorial A.G.T. Editor S.A. Mexico.
- Skylas, D.J., Cordwell, S.J, Hains, P.G., Larsen, M.R., Basseal, D.J., Walsh, B.J., Blumenthal, C., Rathmell, W., Copeland, L., Wrigley, C. (2002). Heat shock of wheat during grain filling: proteins associated with heat-tolerance. *Journal of cereal science* vol 35, 175-188
- Tarekegne, A., and Labuschagne, M.T. (2005). Relationship between high molecular weight glutenin subunit composition and gluten quality in Ethiopian-grown bread and durum wheat cultivars and lines. *Agronomy & crop science* 191, 300-307.

- Tosi, P., Parker, M., Gritsh, C.S., Carzaniga, R., Martin, B., Shewry, P.R. (2009). Trafficking of storage proteins in developing grain of wheat. *Journal of experimental botany* vol. 60, No. 3, pp979-991.
- Thompson, L.M. y Troeh, F.R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Ed. Reverté. Barcelona
- Triboi, E., Triboi-Blondel, A.M. (2002). Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. *Eur J Agron* 16, 163–86.
- Valenzuela, V., Fuentes, G., Figueroa, P., Chávez G., Fuentes, L., Mendoza, A. (2011). “Navojoa M2007” variedad de trigo harinero para el noroeste de México. *Fitotecnia. Mexicana*. Vol. 34 (1): 73 – 76
- Van Herpen, T W.J.M, Riley, M., Sparks, C., Jones, H.D., Gritsch, C., Dekking, E.H., Hamer, R.J., Bosch, D., Salentijn, E.M., Smulders, M. J., Shewry, P.R., Gilissen, W.J. (2008). Detailed analysis of the expression of an alpha-gliadin promoter and the deposition of alpha-gliadin protein during wheat grain development. *Annals of Botany* 102: 331-342.
- Vierstra, R.D. (1996) .Proteolysis in plants: mechanisms and functions. *Plant Mol Biol* 32, 275–302.
- Wahid, A., Gelani, S., Ashrf, M., Foolad, M.R. (2007). Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and experimental botany*. 61, 199-223.
- Wardlaw, I.F., Blumenthal, C., Larroque, O., Wrigley, C.W. (2002). Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Funct. Plant Biol.* 29: 25-34.
- Weegels, P.L., Hamer, R.J., Schofield, J.D. (1996). Critical review: functional properties of wheat glutenin. *Journal of cereal science* 23, 1-18
- Wu, L. & Mingzhu, L. (2007). Preparation and properties of chitosan-coated NPK compound fertilizer with controlled-release and water-retention. *Carbohydrate polymers*, 72, 240-247.

- Yue, H., Jiang, D., Dai, T., Qin, T., Jing, Q., Cao, W. (2007). Effect of nitrogen application rate on content of glutenin macropolymer and high molecular weight glutenin subunits in grains of two winter wheat cultivars. *Journal of Cereal Science* 45; 248-256.
- Zeng, J., Li, G., Gao, H., Zhengang, R. (2011). Comparison of A and B starch granules from three wheat varieties. *Molecules* (16), 10570-10591.
- Zhu, J., Khan, K. (2002). Quantitative variation of HMW glutenin subunits from hard red spring wheats grown in different environments. *American Association of Cereal Chemists* (79), 783-786.