

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EFFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL
TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum L. ssp. Durum*)**

**EFFECT OF WATER STRESS ON DURUM WHEAT (*Triticum turgidum L. ssp.
Durum*) YIELD AND QUALITY**

MARÍA SOLEDAD CIFUENTES CORNEJOS

Santiago, Chile
2014.

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**EFFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD DEL
TRIGO CANDEAL (*Triticum turgidum L. ssp. Durum*)**

Memoria para optar al Título Profesional
de Ingeniero Agrónomo.

MARÍA SOLEDAD CIFUENTES CORNEJOS

PROFESOR GUÍA	CALIFICACIONES
Sr. Edmundo Acevedo H. Ingeniero Agrónomo, M.S. Ph. D.	5,8
PROFESORES EVALUADORES	
Sra. Paola Silva C. Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc. Dr.	5,5
Sr. Cristian Araneda T. Licenciado en Ciencias Biológicas. Mg. Sc. Dr.	5,9

Santiago, Chile
2014

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a todos los profesionales y no profesionales de esta facultad, especialmente a todos aquellos que tuvieron para mí una sonrisa, una palabra o un gesto que me levantaron cuando fue necesario.

Agradezco especial y particularmente a mi familia por aquel apoyo incondicional: a Melania Del Carmen Cornejos D., mi madre; a Fernando Mario Cifuentes R., mi padre; a mis hermanos Pablo Fernando Cifuentes C., María Inés Cifuentes C. y Santiago Alberto Cifuentes C.; a mi esposo Adriano Antonio De La Fuente S.; a la Sra. María Pizarro P., su abuelita; y a mi hijo Diego Alejandro De La Fuente C. que con su inocencia y ternura me animaba día a día. Llevo también mis agradecimientos en el corazón a mi querido Tata que siempre sentí presente.

Gracias a cada uno por la confianza y ánimo que me dieron día a día durante todos mis años universitarios. Gracias por su preocupación y su apoyo. Gracias, en fin, por todo.

ÍNDICE

RESUMEN	6
Palabras clave	6
ABSTRACT	7
Key Words	7
INTRODUCCIÓN	8
MATERIALES Y MÉTODOS	10
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	
1. ETAPAS DEL DESARROLLO DEL TRIGO CANDEAL	12
2. RENDIMIENTO	13
2.1. Rendimiento nacional bajo condiciones óptimas de agua	14
2.2. Estrés hídrico y rendimiento	14
2.2.1. Efecto del estrés hídrico en los componentes del rendimiento	15
2.2.1.1. Número de granos por metro cuadrado	15
2.2.1.2. Peso de los granos	16
3. CALIDAD	17
3.1. Componentes de calidad	17
3.1.1. Componentes de calidad estudiados	17
3.2. Factores que afectan los componentes de calidad	18
3.2.1. Genotipo	18
3.2.2. Medio ambiente	19
3.3. Estados de desarrollo de la planta en que se define la calidad industrial	19

3.4. Efecto del estrés hídrico en los componentes de calidad	20
DISCUSIÓN	22
CONCLUSIÓN	27
LITERATURA CITADA	28
ANEXO 1. Conceptos de los componentes de calidad	34
ANEXO 2. Exigencia industrial de los componentes de calidad	36

RESUMEN

El trigo candeal posee características únicas que lo hacen un cultivo atractivo en precio, comercio y uso. En Chile existen condiciones climáticas favorables para su producción y la industria chilena de pastas establece diversos componentes de calidad para su grano. Los cinco más importantes son: proteínas, color, peso específico, amarengamiento y punta negra. Estos componentes son afectados por el estrés hídrico.

La presente investigación recopila información relevante sobre el efecto del estrés hídrico en el rendimiento de la planta de trigo candeal y sobre los cinco componentes más importantes de la calidad del grano.

En Chile, el estrés hídrico en trigo candeal se produce cuando se siembra en seco por las lluvias excesivas o por la ausencia de éstas y cuando se siembra bajo riego si éste es inadecuado.

El estrés hídrico produce disminución del rendimiento, ya que si el trigo candeal se encuentra bajo estrés hídrico sostenido, se acelera su desarrollo. Este aceleramiento acorta las etapas fenológicas, por tanto también el llenado de granos propiamente tal y la planta produce menos granos y más pequeños. El rendimiento también disminuye al restringirse la fotosíntesis producto del cierre estomático, repercutiendo en un menor peso de los granos.

No obstante el menor rendimiento, el estrés hídrico aumenta la calidad del grano al menos en cuatro de los componentes mencionados, puesto que el porcentaje de proteínas, el color del grano, en cambio, el peso específico se reduce al igual que el amarengamiento.

Por tanto, en condiciones de seco mediterráneo, la calidad se optimiza puesto que, además, la punta negra está más controlada por menor humedad ambiental.

El manejo apropiado del cultivo sumado al uso de nuevas variedades puede paliar los efectos indeseables del estrés hídrico.

Palabras clave: Endosperma, semolina, clima mediterráneo, pastas, seco.

ABSTRACT

Effect of water stress on durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum*) yield and quality

Durum wheat has unique features that make it attractive because of its price trade and use.

In Chile there are favorable climatic conditions for durum wheat production and Chilean pasta industry has set several quality parameters for its grain.

The five most important parameters are: proteins, color, specific gravity, yellowberry and black tip. These parameters are affected by water stress.

This research collects relevant information about the effect of water stress on the yield of durum wheat plant and on the five most important quality parameters of its grain.

In Chile, water stress in durum wheat occurs when it is planted in rainfed by excessive rains or a lack of them, and also occurs when planted under irrigation if this is inadequate.

Water stress causes a decrease of the yield, because if durum wheat is under sustained water stress, its development is accelerated. This acceleration shortens the phenological stages, thus also the grain filling stage itself, therefore the plant produces fewer and smaller grains.

Despite the lower yield, water stress increases grain quality in at least four of the abovementioned parameters, since the protein percentage as the grain color increases and the specific gravity and yellowberry decreases.

Therefore, in rainfed Mediterranean conditions, quality is optimized because, in addition, the black tip is more controlled because there is less humidity.

Proper handling of the crop coupled to the use of new varieties can palliate the undesirable effects of water stress.

Key Words: Endosperm, Semolina, Mediterranean climate, Pasta, Rainfed.

INTRODUCCIÓN

En Chile hay 253.627 hectáreas sembradas con trigo, de las cuales, el trigo candeal ocupa 15.217 hectáreas, correspondiente al 6% de la superficie aproximadamente (INE, 2013). Su zona de siembra se extiende desde la segunda región de Antofagasta hasta la novena región de la Araucanía (INE, 2007). Siendo las regiones Metropolitana, de O'Higgins y del Biobío las que tienen mayor superficie sembrada (Neumann, 2012).

La producción de trigo candeal a nivel nacional el año 2013 fue de 109.539 Mg, con un rendimiento promedio de 7,2 Mg/ha (INE, 2013). El 93% de la producción de trigo candeal se destina a la molienda (Galarce, 2007). Las variedades más sembradas en Chile son Llaretta, Corcolén y Lleuque las que cubren un 90% de la superficie nacional con trigo candeal (Matus y Madariaga, 2011).

El cultivo del trigo candeal es un mercado atractivo para los agricultores debido al precio de venta que es 6 a 7% superior al del trigo harinero (ODEPA, 2012, Nachit, 2007a). Los consumidores de pasta buscan atributos sensoriales que sólo pueden hallar en productos derivados del trigo candeal (Galarce, 2007; Nachit, 2007a). Además, a partir del año 2001 el trigo candeal es un cultivo que se siembra bajo contrato, lo que implica seguridad para los agricultores y mayor homogeneidad en la oferta (Galarce, 2007; Mora, 2007).

El trigo candeal se usa para la elaboración de semolina que se extrae del endosperma del grano y se diferencia de la harina por su granulometría que se encuentra entre 200 y 850 micras (Silva *et al.*, 2007a); la semolina es la materia prima de las pastas (Galarce, 2007; Silva *et al.*, 2007a; Nobile, 2012). Las pastas elaboradas de trigo candeal tienen características únicas que el consumidor asocia con buena calidad: color amarillo ámbar, textura firme, resiste mayor ebullición, entre otras (Galarce, 2007; Matus, 2007; Nachit, 2007a; Silva *et al.*, 2007a; Nobile, 2012; Vera, 2011). En Chile el 70%, de un total de 126.080 toneladas métricas de pastas producidas al año, son elaboradas a partir de trigo candeal (Nobile, 2012). Chile es el noveno país de América en producción de pastas, siendo su consumo *per cápita* 8,4 kg/persona/año lo que lo convierte en el cuarto consumidor a nivel mundial (Nobile, 2012). Además, el consumo nacional de pastas crece un 2% anual (Matus, 2007).

La industria de pastas, bonifica o castiga la calidad de los granos en rangos aceptados para cada uno de los componentes de calidad (Matus, 2007; Silva *et al.*, 2007b). Estos componentes varían dependiendo de las condiciones ambientales. (Tambussi, 2004; Silva *et al.*, 2007a).

El estrés hídrico es una carencia de agua en la planta que se produce cuando el agua transpirada es mayor a la absorbida (Acevedo, 1979), debido a un exceso o déficit de ella en el suelo (Tambussi, 2004). El estrés hídrico por un exceso de agua ocurre cuando sobre el 90% del espacio poroso del suelo se encuentra con agua afectando la respiración de las

raíces (Ferreyra *et al.*, 1985; Amézquita, 1989) producto de un déficit de oxígeno por la lenta difusión de éste en el agua (Meléndez *et al.*, 2001). Los cultivos, ante un estrés hídrico detienen su crecimiento (Ferreyra *et al.*, 1985; Mellado y Madariaga, 1999; Meléndez *et al.*, 2001) y aceleran su desarrollo (González, 2012) completando su ciclo antes del estrés máximo (Tambussi, 2004).

El trigo candeal puede estar sometido a estrés hídrico en riego y secano (Tambussi, 2004), pero es en secano con clima mediterráneo donde se ha encontrado una notable mejora en la calidad por efecto del estrés hídrico terminal (Nachit, 2007a). En Chile el clima mediterráneo se extiende desde la región de Coquimbo hasta la región de la Araucanía (Galarce, 2007; Mellado, 2007) y parte de la región de Los Lagos (Rouanet, 2005) y la siembra de trigo candeal en secano abarca desde la región de Valparaíso hasta La Araucanía y corresponde al 22% de la superficie total de siembra de trigo candeal (INE, 2007). La calidad del grano es afectada positivamente en el secano mediterráneo, debido a que el déficit hídrico coincide con la etapa de llenado de granos (Silva *et al.*, 2007a), lo que implica que Chile tenga el potencial agroclimático para producir trigo de calidad (Galarce, 2007). Sin embargo, cuando el crecimiento y desarrollo de la planta se ve afectado se daña el rendimiento final del cultivo (Ferreyra *et al.*, 1985; Pergolini *et al.*, 2004; Tambussi, 2004).

Pero la magnitud del estrés hídrico no sólo depende de la precipitación, sino también de la textura del suelo, ya que al existir un aumento en la precipitación ocurre anegación en suelos arcillosos o suelos con limitantes de drenaje (Amézquita, 1989), provocando que las raíces se vean afectadas por la falta de oxígeno en el suelo, induciendo una menor absorción de agua y nutrientes (Ferreyra *et al.*, 1985). En cambio, en suelos arenosos y con un menor contenido de materia orgánica el agua disuelve los nutrientes hidrosolubles provocando una movilización a través de la percolación (Bast *et al.*, 2005). En ambos casos ocurre una disminución de ellos dentro de la planta (Bast *et al.*, 2005). La frecuencia e intensidad del estrés hídrico y la etapa del desarrollo del trigo son los factores más importantes en el efecto del estrés hídrico en la calidad del grano y el rendimiento del cultivo (Ferreyra *et al.*, 1985; Meléndez *et al.*, 2001; Nachit, 2007b).

Durante muchos años los productores privilegiaron el rendimiento ante la calidad puesto que las empresas de pasta no pagaban más por ella, sin embargo, desde el año 2007 se observó un cambio de tendencia (Mora, 2007). La complejidad de mejorar la calidad estriba en que en determinadas circunstancias podría contraponerse con el rendimiento, a mayor rendimiento, menor calidad (Mellado y Madariaga, 1999; Meléndez *et al.*, 2001; Piatti *et al.*, 2009). Por último, se debe tener en cuenta que tanto el rendimiento como la calidad del cultivo no solo dependen de factores climáticos ni edáficos, sino también agronómicos y del genotipo de la planta (Silva, 2007a; González, 2012).

Este estudio tiene como objetivo recopilar información respecto al efecto del estrés hídrico en el rendimiento del trigo candeal así como en los cinco componentes de calidad más importantes a nivel industrial, y proporcionar directrices para la óptima y eficaz producción del trigo candeal en Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la presente monografía la búsqueda bibliográfica se realizó tal como se detalla a continuación, donde el material electrónico son sólo de Instituciones reconocidas y encontrados con el buscador “*google académico*” (<http://scholar.google.com>). El material impreso, en cambio, es proveniente o avalado por Instituciones u Organizaciones reconocidas, sean informes, boletines, revistas, libros, memorias o tesis:

Material electrónico:

- CHILE: Publicaciones (Universidad de Chile), censo (INE), Informes (ODEPA e INE), folletos (INIA). Años consultados entre: 2002 – 2012.
- COLOMBIA: Artículo (Instituto Colombiano Agropecuario CNI), taller sobre "Encuentro Nacional de Labranza de Conservación". Años consultados: 1989 y 1998.
- MÉXICO: Guía (CIMMYT). Año consultado: 1986.
- URUGUAY:

Material impreso:

- ARGENTINA: Boletín técnico (INTA), publicaciones científicas (INTA), documento científico (Universidad Nacional de Río Cuarto), informe (Universidad Nacional de La Plata) y comunicaciones científicas (Universidad Nacional del Nordeste e INPOFOS). Años consultados entre: 2004 -2013.

Revistas (Agriscientia y De la Facultad de Agronomía de la UNLP). Años consultados: 2003 y 2009.
- CHILE: Boletín técnico (Universidad de Chile), programa de desarrollo tecnológico (Fundación Chile) e Informe (INE). Años consultados entre: 1979 – 2011.

Revistas (Agricultura técnica, Serie Quilamapu y Tierra adentro). Años consultados entre: 1985 – 2005.

Libros con comité editor. Años consultados entre: 1998 – 2011.

Libros sin comité editor. Años consultados entre: 2003 – 2011.

Memorias (Universidad Austral de Chile y Universidad de Chile). Años consultados entre: 2011 – 2012.

- ESPAÑA: Informes (IRTA). Años consultados: 2003 y 2010.

Revista (Vida rural). Año consultado: 1999.

Memorias (Universidad de Granada y Universidad de Barcelona). Años consultados: 2003 y 2004.

- IRÁN: Revista (Journal of Plant Physiology and Breeding). Año consultado: 2011.

- MÉXICO: Tesis (Universidad Autónoma Chapingo). Año consultado: 2012.

Conferencia (ALIM). Año consultado: 2012.

- URUGUAY: Publicación (CYTED). Año consultado: 2011.

- USA: Publicación científica (INPIS). Año consultado: 2003.

- VENEZUELA: Revistas (Bioagro e Interciencia). Año consultados: 2001 y 2009.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. ETAPAS DEL DESARROLLO DEL TRIGO CANDEAL

Como el efecto del estrés hídrico en el rendimiento y la calidad del trigo candeal depende del estado de desarrollo de la planta en que éste ocurra se hace imprescindible conocer sus etapas, cuya duración es dependiente del medio ambiente (Figura 1) (Silva *et al.*, 2011).

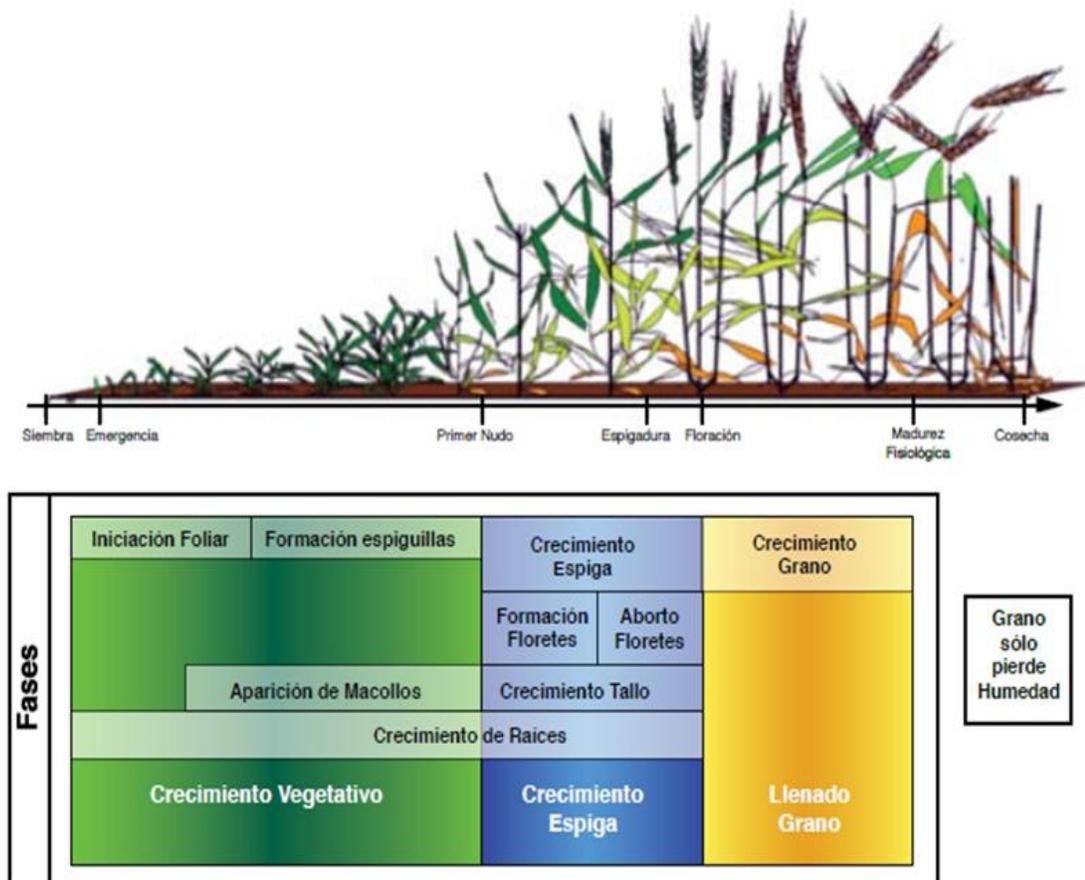


Figura 1. Fases de desarrollo del trigo candeal

Fuente. Silva *et al.*, 2011.

Como se observa en la **Figura 1** existen tres fases: **(1)** Crecimiento vegetativo (desde siembra a primer nudo), luego de la **siembra** la semilla absorbe agua y **germina**, con la aparición del coleoptilo sobre el suelo comienza la **emergencia**, desde tercera a quinta hoja

aparecen los **macollos**; **(2)** Crecimiento de la espiga (desde primer nudo a floración) o **estado de encañado** observándose sobre el suelo la aparición del “primer nudo”, luego se expande el tallo y se produce el **embuche** que es un engrosamiento del tallo cercano a la hoja bandera causado por el crecimiento y desplazamiento de la espiga; finalmente se produce la aparición completa de la espiga o **espigadura**; la fase culmina con la **antesis** o floración, que ocurre de 3 a 5 días después de espigadura pudiendo observarse o no las anteras fuera de la espiga; **(3)** Llenado de granos, el cual consta de dos etapas: primero **crecen los granos** hasta aproximadamente 10 días después de antesis y luego **se acumula almidón** en ellos. En **madurez fisiológica** el grano tiene alrededor de un 30% de humedad, en cambio en **cosecha** tiene alrededor del 14% (Silva *et al.*, 2011).

2. RENDIMIENTO

Hay dos conceptos de rendimiento que aplican al trigo candeal: (a) el **rendimiento industrial**, relacionado con la industria de pastas y que es definido como la cantidad de semolina de calidad extraída del grano, siendo aproximadamente del 67 al 70% del grano total, mientras que del 5 al 12% corresponde a harina (Silva *et al.*, 2007b).; (b) el **rendimiento del cultivo** que se define como el peso de los granos de trigo en un área determinada (Acevedo *et al.*, 2002). El rendimiento depende de la biomasa aérea producida en el período vegetativo (Acevedo *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 2007a) y de la capacidad de la planta para translocar los fotoasimilados hacia el grano en la etapa de llenado de grano (Silva *et al.*, 2007a). La translocación al grano depende de las condiciones de crecimiento del cultivo, siendo alrededor de un 10% de la biomasa total a antesis para condiciones potenciales y de 40 al 44% de la biomasa total a antesis en condiciones de estrés terminal (en el período de llenado de granos) (Silva *et al.*, 2007a).

La necesidad hídrica del cultivo de trigo durante su ciclo es de 450 a 500 mm de agua, aproximadamente (Bast *et al.*, 2005), con una eficiencia de transpiración de aproximadamente 20 kg de grano por hectárea por cada milímetro de agua transpirada (Vera, 2011) valor que es altamente dependiente del número de granos por unidad de superficie.

El número de granos se determina en un período de aproximadamente 30 días que va desde la aparición de la hoja bandera a 10 días después de antesis (Acevedo *et al.* 2002) y que se conoce como período crítico. Si ocurre un estrés en éste período, el rendimiento se ve afectado considerablemente (Vera, 2011; González, 2012).

Usualmente la planta de trigo se encuentra sometida a una combinación de estreses, pudiendo existir un sinergismo entre ellos (Tambussi, 2004) afectándose la cantidad de plantas por m² y adelantándose el desarrollo del cultivo lo que deriva en un menor rendimiento (González, 2012). Por ejemplo, en clima Mediterráneo el estrés hídrico coexiste con altas temperaturas en llenado de granos (Silva *et al.*, 2007a), afectando al

rendimiento debido a un acortamiento de la etapa de llenado de granos (Vera, 2011); también el estrés hídrico puede coincidir con un manejo inadecuado del cultivo, como un déficit de nitrógeno a la siembra o en llenado de granos, causando que el rendimiento disminuya (Silva *et al.*, 2007a).

2.1. Rendimiento nacional bajo condiciones óptimas de agua

Durante los años 2004 al 2010 el INIA sometió a ensayo a las tres variedades más sembradas a nivel nacional: Llareta, Corcolén y Lleuque, en cinco localidades diferentes: Santiago, Chillán, Yungay, Los Ángeles y Mulchén. Las condiciones óptimas para obtener altos rendimientos en las tres variedades se encontró en Mulchén y las peores en Yungay (INIA, 2012). Entre las cinco localidades el rendimiento más estable lo obtuvo la variedad Lleuque, siendo Corcolén la más inestable (INIA, 2012).

2.2. Estrés hídrico y rendimiento

Al existir estrés hídrico en el suelo la absorción de nutrientes se ve afectada (Amézquita, 1998; Meléndez *et al.*, 2001; Bast *et al.*, 2005), la transpiración del cultivo, la producción de biomasa y la eficiencia fotosintética (Amézquita, 1998; Meléndez *et al.*, 2001; Acevedo *et al.*, 2002; Pergolini *et al.*, 2004; Bast *et al.*, 2005), repercutiendo de esta manera en una disminución del número y peso de los granos, lo que se traduce en un menor rendimiento (Pergolini *et al.*, 2004; Tambusi, 2004).

En secano mediterráneo la precipitación ocurre principalmente desde siembra a preantesis (Tambussi, 2004; Silva *et al.*, 2007a; Silva *et al.*, 2007b; Subirà, 2010; Vera, 2011; González, 2012), haciendo que el trigo ajuste su ciclo fenológico para completar la etapa de llenado de granos antes del estrés máximo (Tambussi, 2004). Por lo general, el estrés hídrico máximo coincide con el máximo de la demanda hídrica (González, 2012), cuando la espiga se encuentra en pleno crecimiento o el cultivo esta en llenado de granos (Vera, 2011). Esto provoca que la fotosíntesis descienda después de antesis, haciendo que el rendimiento dependa de la capacidad de traslocación desde la parte vegetativa hacia el grano (Silva *et al.*, 2007a; Sanjari *et al.*, 2011) incluyendo las reservas almacenadas en el tallo (Martos, 2003; Tambussi, 2004). Antes de la polinización la planta transloca del 70% al 95% del rendimiento final dependiendo del grado de estrés hídrico (Martos, 2003).

En secano mediterráneo el agua es la principal variable que regula el rendimiento (Vera, 2011; Mellado, 2007). Las precipitaciones cambian año a año (Vera, 2011; González, 2012), provocando una variación desde un 50% hasta un 86% en el rendimiento de trigo candeal (Bast *et al.*, 2005; González, 2012). Por esta razón, el mejoramiento genético en secano, se ha enfocado en que los cultivares de trigo candeal tengan un rendimiento estable (Nachit, 2007b).

2.2.1. Efecto del estrés hídrico en los componentes del rendimiento

Los componentes de mayor jerarquía del rendimiento son el número de granos por metro cuadrado y el peso de los granos de la duración del llenado de granos y de la tasa de llenado de grano (Acevedo *et al.*, 2002; Castañeda *et al.*, 2009; Piatti *et al.*, 2009).

2.2.1.1. Número de granos por metro cuadrado. El número de granos se determina 30 días previos y 10 días después de anthesis (Vera, 2011), durante el crecimiento de la espiga. Depende directamente del número de espigas por metro cuadrado y del número de granos por espiga (Acevedo *et al.*, 2002; Castañeda *et al.*, 2009; Piatti *et al.*, 2009; Vera, 2011). El número de espigas por metro cuadrado depende del número de macollos y la densidad de siembra (Toro y González, 2011).

(1) El estrés hídrico afecta al **número de espigas por metro cuadrado** en los siguientes casos :

- Cuando la **densidad de siembra** es baja un exceso de agua en el suelo produce un gran enmalezamiento que si no es controlado a tiempo competirá con el cultivo e incluso puede provocar que la planta no crezca (Vera, 2011). Si existe anegamiento en los estados iniciales también existe pérdida de plantas, pero el rendimiento no se ve afectado mayormente cuando la densidad es alta, gracias a la capacidad de macollaje del trigo candeal, sin embargo, no ocurre lo mismo si la densidad es baja (Silva *et al.*, 2009; Vera, 2011). Además si la densidad es excesiva, al caer una lluvia cuando la planta ha crecido lo suficiente las plantas corren el riesgo de tenderse (Toro y González, 2011).

- La planta de trigo determina el **número de macollos** entre tercera y quinta hoja (Silva *et al.*, 2011). La planta, al existir estrés hídrico durante el período vegetativo, disminuye la producción de biomasa limitando el desarrollo de los macollos a solo 1 o 2 macollos productivos por lo que el número de macollos fértiles es uno de los componentes más importantes del rendimiento en condiciones de estrés hídrico en el secano mediterráneo (Nachit, 2007b).

(2) El estrés hídrico afecta el **número de granos por espiga** cuando este ocurre a partir del primer nudo hasta la primera fase del llenado de granos (Silva *et al.*, 2011). Si el estrés hídrico ocurre cuando la inflorescencia se está diferenciando se afecta el número de espiguillas por espiga, además, la formación de los granos de polen es muy sensible al déficit hídrico ya que impide la producción de polen fértil en la base y el ápice de la espiga, por tanto, el número de granos por espiga es el componente más afectado en estrés hídrico (Martos, 2003).

Si el estrés hídrico afecta a la planta cuando se define el tamaño de la espiga, es decir, desde primer nudo hasta floración, el número de granos por espiga también se ve afectado (Silva *et al.*, 2011). Por lo general, en secano mediterráneo, el trigo candeal se encuentra

sometido a déficit hídrico durante ésta etapa (Vera, 2011; González, 2012). Todas las etapas que comprenden el **crecimiento de la espiga** son críticas en la definición del rendimiento (Pergolini *et al.*, 2004).

2.2.1.2. Peso de los granos. El peso de los granos se determina en la segunda etapa de llenado de granos, cuando se deposita el almidón en amiloplastos que se encuentran dentro de las células del endospermo del grano (Silva *et al.* 2007a). Depende directamente de la duración del llenado de granos y de la tasa de llenado de grano (Acevedo *et al.*, 2002; Castañeda *et al.*, 2009; Piatti *et al.*, 2009). Éste período se extiende hasta madurez fisiológica (Silva *et al.* 2007a).

Si existe estrés hídrico en esta etapa la fotosíntesis disminuye produciéndose “granos chupados” reduciendo el peso de los granos formados (Silva *et al.*, 2011). Según algunos estudios una familia de proteínas llamadas expansinas posibilitan el ingreso del agua al interior del grano, influyendo directamente en el peso de los granos (Calderini, 2011). El peso de los granos puede aumentar en secano mediterráneo siempre que el genotipo del cultivo tenga una duración de llenado de granos superior a 30 días con una tasa de llenado de al menos $1,64 \text{ mg} \cdot \text{día}^{-1}$ (Martos, 2003).

- El peso de los granos depende, como se ha dicho anteriormente, de la **duración del llenado de granos** que disminuye con estrés hídrico y la **tasa de llenado**, la que aumenta frente al estrés, pero generalmente no logra compensar la reducción en la duración de la etapa de llenado de granos (Martos, 2003).

- Además el peso que alcancen los granos es dependiente del **tamaño de los granos** que se define en la primera etapa de llenado de granos (Silva *et al.*, 2011), las expansinas también disminuyen la rigidez de la pared celular para facultar su elongación, respondiendo al turgor celular y al ocurrir estrés hídrico la planta genera granos pequeños (Calderini, 2011; Herrera, 2011).

En condiciones de secano mediterráneo el rendimiento disminuye debido a que: **(1)** se reduce el número de espigas y espiguillas, **(2)** se afecta la fertilidad de las espiguillas que sobreviven al estrés, y el crecimiento de la espiga, lo que tiene como consecuencia que se reduzca el número de granos, **(3)** y se acorta el período de llenado de granos, disminuyendo el peso de los granos (Mellado y Madariaga, 1999; Acevedo *et al.*, 2002; González, 2012) como también se reduce la tasa fotosintética (Sanjari *et al.*, 2011), produciéndose menor cantidad de hidratos de carbono que en una planta no estresada (Mellado y Madariaga, 1999). Se disminuye el número de días a antesis y el número de días a madurez fisiológica (Acevedo *et al.*, 2002).

3. CALIDAD

Se entiende por calidad de la semilla a un conjunto de cualidades de diferente índole: **físicas**, como la contaminación con granos de malezas o características de color, de peso y de brillo; **fisiológicas**, ya sea por la viabilidad de germinación del grano o por el vigor de ésta; **genética**, es decir, que mantenga las características dadas por los fitomejoradores y por último, **sanitaria**, o sea, que se encuentre libre de plagas y enfermedades (Castañeda *et al.*, 2009). Sin embargo, y para efectos de esta monografía, cuando se haga referencia al concepto de calidad, se deberá considerar la definición que dice relación con la “**calidad industrial**” que tiene relación con la calidad del grano, no de la semilla. Se dice que un grano de trigo candeal tiene “calidad industrial” cuando se le puede extraer semolina de alta calidad (Mellado, 2007), es decir, a partir de ella se pueden elaborar pastas con las características exigidas por el consumidor (Mora, 2007). La calidad industrial del grano es importante debido a que repercute directamente en los productos elaborados (Silva *et al.*, 2007a). Para ello la industria de pastas se basa en componentes exigiendo a los agricultores su cumplimiento, como se detalla en el Anexo 2 (Matus, 2007).

3.1. Componentes de calidad

Silva, *et al.*, (2007a) señalan que los componentes de importancia para la industria chilena, referentes a la calidad industrial, son el porcentaje y calidad de la proteína; el peso del hectolitro; el índice de dureza; la sedimentación (SDS); el gluten (húmedo, seco e index) y el color de éste; la extracción y el manchado de la sémola; el contenido de cenizas; el peso luego de la cocción; la pérdida de cocción; la firmeza de cocción; el amarengamiento y la punta negra.

Para la industria chilena los componentes más importantes que miden calidad del grano son el porcentaje de proteínas, el color del grano, el peso hectolitro o peso específico y la ausencia de “punta negra” y de amarengamiento (Silva *et al.*, 2007a), cuyos conceptos se especifican en el Anexo 1.

3.1.1. Componentes de calidad estudiados

- **Proteína.** La cantidad y proporción de gliadina-glutenina afecta la elasticidad y plasticidad del gluten (Wallace *et al.*, 2003; Matus, 2007; Mellado, 2007), permitiendo formar láminas delgadas sin quebrarse (Mellado, 2007) e influyen en la estabilidad de la pasta a la cocción (Silva *et al.*, 2007a).

Tanto la calidad y la cantidad de gluten y la relación gliadina-glutenina se miden a través de otros componentes de calidad llamados sedimentación, que indica la hinchazón de las

proteínas que forman parte de la semolina al entrar en contacto con ácido láctico, al aumentar las proteínas la sedimentación aumenta. El “gluten index” indica la plasticidad y elasticidad de la semolina siendo mayor si es menos plástica y elástica (Mellado, 2007).

- **Color del grano.** El grano otorga el color característico de la pasta hecha con trigo candeal (Galarce, 2007; Nobile, 2012), y el consumidor relaciona el color amarillo ámbar del grano con una pasta de calidad (Matus, 2007; Nachit, 2007a; Silva *et al.*, 2007b). Aunque la coloración de la pasta no solo está dado por el color del grano, sino también por el grano procesado y por la posterior degradación de enzimas oxidativas en la semolina (Roncallo *et al.*, 2009). A mayor cantidad de pigmentos mayor calidad del grano (Mellado, 2007). Además, el color del grano se relaciona con el amarengamiento, componente del que se hablará más adelante, a mayor contenido de pigmentos, menos amarengado es el grano (Martos, 2003).
- **Peso del hectolitro o peso específico.** Es un indicador del rendimiento industrial de la semolina (Zarco-Hernández *et al.*, 1999). Un peso hectolitro sobre 82 kg•hL⁻¹ significa que del grano de trigo puede extraerse sobre el 70% de semolina (Zarco-Hernández *et al.*, 1999). Se relaciona directamente con el contenido de cenizas, que es un componente de calidad que no se profundizará ya que influye indirectamente en la calidad de la pasta, a mayor contenido de cenizas menor peso hectolitro siendo también menor la extracción de semolina (Martos, 2003). A menor amarengamiento, mayor peso hectolitro y mayor contenido de proteínas, que acrecienta el peso hectolitro al provocar un aumento en la densidad del grano (Sandoval, 2012).
- **Punta negra.** La punta negra produce un color café en la semolina siendo afectado el color de la pasta, por tanto se crea una confusión en el consumidor, que no logra identificar la pasta hecha de trigo candeal y la pasta hecha de una mezcla de trigos, lo que conlleva a que rechace el producto (Mellado, 2007). Además, cuando punta negra es producida por hongos como *Alternaria* y *Aspergillus flavus* (Hacke y Auger, 2009) las micotoxinas producidas son consumidas en la pasta perjudicando la salud de quien las ingiere (Perelló, 2006).
- **Amarengamiento.** Al aumentar el amarengamiento en el grano se reduce la formación de partículas gruesas y angulares de la semolina produciéndose harina, por tanto la cantidad de semolina disminuye (Cortázar, 1987; Matus, 2007; Acevedo *et al.*, 2008). La pasta que se produce con granos amarengados tiene un color más pálido, poca resistencia a la cocción, al cocerla se deshace con facilidad y contiene menos proteínas, por tanto, disminuye su valor nutritivo (Nobile, 2012).

3.2. Factores que afectan los componentes de calidad

3.2.1. Genotipo

Influye directamente en el **porcentaje de glutenina y gliadina**, siendo altamente heredables (Wallace *et al.*, 2003); influye en el **color del grano**, siendo su principal causa de variación (Silva *et al.*, 2007a; Roncallo *et al.*, 2009); afecta también el **peso hectolitro**, debido a que influye directamente en la uniformidad de la partida, la forma de los granos, y el tamaño de los granos (Acevedo *et al.*, 2008; Vera, 2011; Sandoval, 2012); el **amarengamiento** se ha mejorado a través de selección de genotipos (Matus *et al.*, 2005). También el genotipo es importante en “**punta negra**”, puesto que esta enfermedad no tiene control químico, por tanto, se ha trabajado en genotipos resistentes a través de cruzamientos (Mellado, 2007).

3.2.2. Medio ambiente

Se incluye en el medio ambiente la fertilización nitrogenada, la temperatura y la precipitación (Silva *et al.*, 2007a). Este afecta el **porcentaje de proteínas** (Silva *et al.*, 2007a), es decir, la misma variedad expresa diferentes cantidades de proteínas dependiendo de las condiciones ambientales (Matus, 2007), el porcentaje de proteínas varía según el contenido de nitrógeno en el suelo antes de la siembra y durante el desarrollo del cultivo (Mellado, 2007; Silva *et al.*, 2007b) y las altas temperaturas en llenado de grano (Silva *et al.*, 2007a).

El color del grano, se ve favorecido con fertilización foliar en antesis (Bergh *et al.*, 2003); la fertilización nitrogenada en llenado de granos también favorece el **peso hectolitro**, pero no lo hace un ambiente que beneficie la manifestación de enfermedades en las raíces, espigas o tallos de la planta (Madariaga y Matus, 2011); el principal factor de variación, en el caso del **amarengamiento**, es el medio ambiente, ya que depende principalmente del nivel de nitrógeno en el suelo y de la capacidad de la planta para absorberlo (Silva *et al.*, 2007b); por último, el medio ambiente también afecta a “**punta negra**” cuando éste es húmedo principalmente después de floración, aumentando dicha enfermedad (Silva *et al.*, 2007a; Hacke y Auger, 2009).

3.3. Estados de desarrollo de la planta en que se define la calidad industrial

- **Proteína.** La acumulación de las proteínas más importantes ocurre en distintos momentos. La que primero se acumula es gliadina desde 5 a 10 días después de antesis hasta 21 días después de floración (Silva *et al.*, 2007a). Luego de 6 a 8 días de que se forma gliadina comienza a acumularse glutenina (Mellado, 2007) que aparece significativamente 20 días después de floración hasta 27 días (Silva *et al.*, 2007a).
- **Color del grano.** Se determina desde antesis hasta llenado de granos (Bergh *et al.*, 2003; Roncallo *et al.*, 2009).
- **Peso hectolitro o peso específico.** El peso hectolitro se define principalmente desde

llenado de granos hasta la cosecha (Martos, 2003; Acevedo *et al.*, 2008; Vera, 2011).

- **Punta negra.** Se ha observado que la enfermedad se manifiesta en la etapa final de llenado de grano, cuando el grano tiene sobre un 20% de humedad (Silva *et al.*, 2007a), cuando el grano se encuentra en estado “masoso” (Prescot *et al.*, 1986).
- **Amarengamiento.** Se determina desde pre-espigadura (Silva *et al.*, 2007a) a llenado de granos (Matus, 2007).

3.4. Efecto del estrés hídrico en los componentes de calidad

- **Proteína.** La precipitación, sea en invierno o primavera, perjudica la concentración de proteínas (Silva *et al.*, 2007b), por varios motivos, entre ellos, la precipitación antes de madurez fisiológica pueden provocar que el grano se brote, gatillando una serie de efectos que disminuyen la cantidad y calidad de la proteína (Mellado, 2007). Al existir un exceso de humedad entre espigadura y antesis, es decir, durante los días que dura este período, el contenido de proteína disminuye, debido a la lixiviación del nitrógeno en el suelo desde la zona radicular (Mellado, 2007). Ocurriendo lo mismo con lluvias en llenado de granos, lo que obliga a fertilizar más tarde (Silva *et al.*, 2007a). La variación en las precipitaciones influye sobre la calidad del gluten, no así sobre la cantidad de gluten en el grano (Silva *et al.*, 2007a).

Al existir un déficit hídrico en llenado de granos se produce senescencia temprana en las hojas de trigo lo que repercute en una redistribución y posterior aumento en la concentración de proteínas en la endosperma del grano (Silva *et al.*, 2007a; González, 2012).

Color del grano. Según Roncallo *et al.* (2009) faltan estudios con respecto a la influencia del medio ambiente en el color del grano.

Roncallo *et al.* (2009) señalan que si existe déficit hídrico en llenado de granos los pigmentos cambian su concentración y composición, y Tambussi (2004) agrega que el déficit hídrico provoca un aumento en la concentración de β -caroteno en el grano. Exceso de agua en antesis provoca una disminución leve del color al reducir el nitrógeno del suelo (Bergh *et al.*, 2003), ocurriendo lo mismo si el exceso de agua ocurre en llenado de grano (Kohli y Martino, 1998; Roncallo *et al.*, 2009).

Si el grano alcanza la etapa de madurez fisiológica y se ve expuesto a precipitaciones, éste se decolora, pero es una decoloración externa, no afectando el color del gluten (Mellado, 2007).

- **Peso hectolitro o peso específico.** El estrés hídrico afecta el peso hectolitro durante todo el ciclo del cultivo, incluyendo la cosecha, debido a que este componente depende de

muchísimos factores, entre ellos de la biomasa producida, por tanto, estrés hídrico en la etapa vegetativa provoca una disminución en el peso hectolitro (Sandoval, 2012); de la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo durante la etapa de llenado de granos, disminuyendo el valor del peso hectolitro al existir un exceso de agua en ésta etapa (Royo, 2003). También disminuye al aumentar las precipitaciones durante y después de llenado de granos, ya que el grano corre el riesgo de brotarse (Matus, 2007). Sin embargo, existe una correlación positiva entre el rendimiento de la planta y el peso hectolitro (INIA, 2006), por tanto, el estrés hídrico disminuye el peso hectolitro (CIMMYT, 2012).

- **Punta negra.** Su manifestación requiere de humedad ambiental (Silva *et al.*, 2007a). Por tanto, es mayor la probabilidad de que se desarrolle si se producen precipitaciones cuando el grano se encuentra en estado lechoso (Mellado, 2007; Silva *et al.*, 2007b). No ocurre lo mismo cuando las últimas lluvias caen en espigadura o floración (Mellado, 2007).

- **Amarengamiento.** Al aumentar la humedad durante el ciclo del cultivo se acrecienta el amarengamiento (Galarce, 2007; Silva *et al.*, 2007a), siendo perjudiciales las lluvias desde preespigadura (Silva *et al.*, 2007a) hasta cuando el grano se encuentra en estado acuoso-lechoso a masa blanda (Matus *et al.*, 2005; Matus, 2007), es decir, en llenado de granos (Royo, 2003).

Como el amarengamiento es un problema generado por un déficit de nitrógeno dentro de la planta el estrés hídrico puede inducir un aumento del amarengamiento solamente si perjudica la absorción de nitrógeno desde el suelo (Silva *et al.*, 2007a; Madariaga y Matus, 2011), ya sea por pérdidas por lixiviación o porque no existe agua suficiente para poder absorber el nitrógeno desde el suelo (Madariaga y Matus, 2011). Por lo general, en secano el amarengamiento se reduce (Cortázar, 1987).

DISCUSIÓN

Una de las interrogantes que presenta esta monografía es el dilucidar qué es más importante, el rendimiento de la planta o la calidad de esta. Existen diversos puntos de vista para responderla: el del agricultor, que trabaja con el cultivo mismo y el de la industria, que debe velar por cumplir las exigencias del consumidor de pastas.

Al momento de mencionar los componentes del rendimiento de mayor jerarquía en el efecto del estrés hídrico en los componentes del rendimiento se puede deducir, a través de los autores Acevedo *et al.* (2002) y Castañeda *et al.* (2009), que si se opta solo por mejorar el rendimiento del cultivo se obtendrá un mayor número de granos o un mayor peso de los mismos. Lo que puede ser atractivo para el agricultor al aumentar la cantidad de granos, incluso teniendo en consideración que existe una alta probabilidad que los granos no alcancen las exigencias de calidad exigidos por la industria y mencionadas en el Anexo 2, lo que implicaría que la industria lo castigue económicamente, o simplemente que no le compre la partida, por tanto, el agricultor debe sopesar los riesgos, pero no puede hacerlo solo, para ello debe intervenir el agrónomo, quien debe estar al tanto de las exigencias industriales y, en lo posible, familiarizarse con las características ambientales y los requerimientos de la variedad para intuir tales riesgos.

Tal como se señaló en la introducción existen variables medioambientales que afectan el cultivo, variables inevitables que solo permiten al agricultor esperar disminuir su efecto. Una de estas variables es el estrés hídrico, fenómeno que suscita el interés de la presente monografía, especialmente si, como se ha descrito al momento de introducir al tema, el trigo candeal padece de estrés hídrico tanto en regadío como en secano, siendo más notorio en este último dada la variación entre años secos y húmedos, así como los diferentes climas existentes en nuestro país.

Como se ha señalado el agricultor al optar por el rendimiento deberá hacer frente al fenómeno del estrés hídrico, lo que plantea dos interrogantes: ¿es el estrés hídrico una variable deseable, desde el punto de vista del rendimiento? y si no lo es ¿cuál es el momento más indicado para palear dicho fenómeno?

Según la literatura revisada el estrés hídrico no beneficia al rendimiento bajo ningún punto de vista, a medida que el estrés hídrico disminuye el rendimiento aumenta. Sin embargo, el estrés hídrico puede ser menos perjudicial si ocurre en la etapa de llenado de granos, puesto que tanto Acevedo *et al.* (2002) como Piatti *et al.* (2009) señalan que solo el 25% del rendimiento se determina en esta etapa.

En secano con clima mediterráneo el estrés hídrico terminal es inevitable y, el agricultor debe lograr que hasta preantesis, al menos, el trigo candeal no se encuentre con déficit hídrico.

El componente de rendimiento que se ve más afectados por el estrés hídrico es el número de granos por metro cuadrado. Silva *et al.* (2011) señalan que el estrés hídrico es dañino si se presenta después de primer nudo y antes de floración, ya que en este período la espiga crece produciéndose el aborto de los floretes.

Analizando lo expuesto se debe tener mayor cuidado con el estrés hídrico desde que comienza la formación de las espiguillas, es decir, antes de primer nudo, y durante el crecimiento de la espiga que es cuando se definen los floretes competentes que posteriormente serán granos.

En tanto si el agricultor opta por mejorar la calidad del grano, la que según indican Martos (2003), Silva *et al.* (2007a) y Roncallo *et al.* (2009) se define durante todo el ciclo del cultivo, pero en diferentes momentos dependiendo del componente que se evalúe, existirá alta probabilidad según se observan en el Anexo 2, que la industria de pastas bonifique su producción, siendo beneficiadas ambas partes, agricultor e industria. El primero porque su trigo se vende a un mayor valor y el segundo porque logra responder a las exigencias del consumidor de pastas, puesto que como indican Silva *et al.* (2007a), la calidad del grano tiene estrecha relación con la calidad de la pasta.

Al mencionar los estados de desarrollo de la planta en que se define la calidad industrial se ha señalado que la definición de la calidad del grano y el efecto del estrés hídrico en la calidad industrial dependen del tipo de componente, por tanto, se deben realizar las siguientes interrogantes: ¿es el estrés hídrico una variable deseable, desde el punto de vista de los cinco componentes más importantes de la calidad: proteínas, color del grano, peso hectolitro o peso específico, punta negra y amarengamiento? y si lo es ¿cuándo lo es?

Según se observa al momento de hablar del efecto del estrés hídrico en los componentes de calidad, el estrés hídrico beneficia a la calidad de las proteínas si ocurre en llenado de granos según indica Silva *et al.* (2007a), también en esta etapa es positivo para el color del grano si ocurre estrés hídrico dado por un déficit según Tambussi (2004). Ocurre lo mismo con el peso hectolitro, según Martos (2003), aumenta al ser el grano más pequeño y por ende más compacto al encontrarse bajo un déficit hídrico en llenado de granos. Meléndez *et al.* (2001), Silva *et al.* (2007a) y Madariaga y Matus (2011), señalan que a pesar que el estrés hídrico no permitiría, en una eventualidad, que el cultivo absorba el nitrógeno durante su ciclo o debilitaría a la planta dejándola más susceptible a la manifestación de punta negra, si las precipitaciones escasean en llenado de granos el amarengamiento y punta negra se reducen, puesto que, en el caso del amarengamiento la planta sigue absorbiendo nitrógeno en llenado de granos y en el caso de punta negra la enfermedad no encuentra las condiciones ambientales óptimas para manifestarse.

Lo anterior permite concluir que es importante que en llenado de granos exista un estrés hídrico dado por un déficit hídrico para mejorar la calidad industrial de los granos, por tanto, esta condición se encuentra en secano con clima mediterráneo.

Pero ¿qué ocurre con el estrés hídrico producido por un exceso de agua en la etapa de llenado de granos y los componentes de calidad industrial del grano? Según Mellado (2007) los granos del trigo pueden brotar lo que disminuiría tanto la cantidad como la calidad de las proteínas, además de producirse una pérdida de nitrógeno en el suelo obligando, como sugiere Silva *et al.* (2007a), a volver a fertilizar. En consecuencia, Kohli y Martino (1998) y Roncallo *et al.*, (2009) afirman que también el color del grano disminuiría, Royo (2003) señala que el peso hectolitro sería bajo, Mellado (2007) y Silva *et al.* (2007b) agregan que aumentaría punta negra y Matus *et al.* (2005) aseguran que también lo haría el amarengamiento. Por tanto, es importante especificar que sólo el déficit hídrico en llenado de granos es beneficioso para aumentar la calidad industrial del grano de trigo candeal.

El estrés hídrico debido a un déficit desde la etapa de llenado de granos hacia adelante es beneficioso para la calidad del grano, pero ¿qué sucede con el estrés hídrico en las otras etapas del cultivo? Para comprender mejor es importante tener presente el Anexo 1 donde se explican los conceptos de cada componente de calidad; la Figura 1, donde se grafican los estados de desarrollo del cultivo y los estados de desarrollo de la planta en que se define la calidad industrial.

Si existe estrés hídrico durante el período vegetativo, es decir, desde la siembra hasta primer nudo, tanto el color del grano (Bergh *et al.*, 2003 y Roncallo *et al.*, 2009) como el peso hectolitro se verían afectados (Sandoval, 2012), sin embargo, es perjudicial para el contenido de proteínas y el amarengamiento del grano según se desprende de Galarce (2007) y Silva *et al.* (2007a). Conjuntamente, la planta queda más susceptible a punta negra por la utilización de sus reservas, según indican Mellado *et al.* (1985).

En cambio, si el estrés hídrico ocurre durante el crecimiento de la espiga, es decir, desde primer nudo hasta floración, el contenido de proteínas disminuye producto de la lixiviación, pero el componente de punta negra no se ve mayormente afectado (Mellado, 2007). Como resultado de la pérdida de nitrógeno Bergh *et al.* (2003) indican que también el color del grano disminuye producto de una disminución en la absorción por las raíces debido a un déficit hídrico como también lo hace el peso hectolitro (Royo, 2003) y, el amarengamiento aumenta (Silva *et al.*, 2007a).

La precipitación después de llenado de grano y antes de la cosecha no es importante para la concentración de las proteínas en la calidad del grano (Silva *et al.*, 2007a), ni para el color del gluten (Mellado, 2007), pero sí lo son para el peso hectolitro, ya que se reduce si el grano se brota (Matus, 2007), como también lo es para el amarengamiento el que aumentaría (Acevedo *et al.*, 2008) y para punta negra (Mellado, 2007 y Silva *et al.*, 2007b), la que sería mayor por aumentar la humedad ambiental.

Entonces, para mejorar a la vez los cinco componentes más importantes de la calidad industrial, la cantidad y calidad de la proteína, el color del grano, el peso hectolitro o específico, la punta negra y el amarengamiento, el estrés hídrico en la fase del crecimiento vegetativo y en la fase del crecimiento de la espiga no es beneficioso, sin embargo si ocurre un déficit hídrico después de llenado de granos la calidad industrial del grano aumenta.

Después de analizar el rendimiento y la calidad por separado surge otra interrogante: ¿es posible mejorar ambos al mismo tiempo? En este sentido, es importante tener presente cuándo se define el rendimiento, el efecto del estrés hídrico en los componentes del rendimiento, los factores que afectan los componentes de calidad, los estados de desarrollo en que se define la calidad industrial y el efecto del estrés hídrico en los componentes de calidad.

Acevedo *et al.* (2002) y Piatti *et al.* (2009) afirman que se define del 75% al 100% del rendimiento hasta preanthesis, siendo dependiente de la biomasa producida en el estado vegetativo (Silva *et al.*, 2007a). Lo que permite concluir que bajo las condiciones de secano en clima mediterráneo, donde la calidad industrial aumenta según se ha indicado anteriormente, el rendimiento de la planta no debería verse mayormente perjudicado.

Para aumentar el rendimiento y la calidad del grano a la vez se debe sacrificar parte del rendimiento y sembrar en secano con clima mediterráneo. Además Nachit (2007b) sugiere que si el cultivo se trabaja genéticamente estabilizando el rendimiento en éste clima la pérdida del rendimiento disminuye aún más.

Lo anterior permite concluir que a pesar de que la bibliografía señala que existe una contraposición entre la calidad del grano y el rendimiento de la planta, el estrés hídrico en secano mediterráneo permite afirmar que no solamente se puede mejorar el rendimiento y la calidad paralelamente a través del mejoramiento genético, sino que también el manejo agronómico permite que ambos se incrementen.

Por tanto, cabe preguntarse ¿qué prácticas de manejo puede recomendar el agrónomo al agricultor para mejorar el rendimiento y los cinco componentes de calidad más importantes? sembrar en secano; sembrar en una fecha adecuada para disminuir el estrés hídrico permitiendo que la planta aproveche mejor el agua disponible, si la siembra es temprana además permite que la duración del llenado de granos se maximice aumentando el rendimiento, las proteínas del grano y el peso hectolitro, pero disminuyendo el amarengamiento. En suelos pesados, con problema de drenaje e incluso suelos delgados se aconseja la siembra en camellones, para evitar el anegamiento gracias a los surcos; aumentar la cantidad de materia orgánica en zonas con déficit hídrico o en suelos de textura gruesa; cuidar la densidad de siembra; fertilizar en el momento adecuado, especialmente con nitrógeno, fundamentalmente cuando hay un exceso de agua, Silva *et al.* (2007a) aconsejan realizar de dos a tres parcializaciones: siembra, macollo y preespigadura; agregar un riego complementario en secano, generalmente porque las precipitaciones son menores a la necesidad del cultivo, por ejemplo en la siembra, para no alejarse de la fecha óptima perjudicando el rendimiento por falta de agua cuando la planta forme los granos. Además se debe mantener la espiga libre de enfermedades, puesto que para que exista una menor repercusión en el rendimiento las reservas almacenadas en el tallo y provenientes de la fotosíntesis de la espiga son cruciales.

Si bien las prácticas de manejo del cultivo pueden aumentar el rendimiento de la planta y la calidad del grano, esto también puede mejorarse genéticamente Matus (2007). Además se debe continuar trabajando en la obtención de una variedad que tenga un rendimiento estable bajo condiciones de secano mediterráneo, ya que es en éste ambiente donde la calidad de los granos es mayor (Nachit, 2007b).

CONCLUSIÓN

El estrés hídrico dado por un déficit hídrico después de floración favorece los cinco componentes de calidad más importantes para la industria de pastas: proteínas, peso hectolitro o específico, color del grano, amarengamiento y punta negra.

Como en secano mediterráneo las precipitaciones se concentran desde la siembra del cultivo hasta preantesis, el estrés hídrico en este clima es el más beneficioso para mejorar la calidad del grano sin perjudicar mayormente el rendimiento. Lo que a la larga significa un mayor retorno económico.

A pesar de que el manejo agronómico es una herramienta útil debe ir en paralelo con el mejoramiento genético puesto que el agricultor, con ayuda del agrónomo, debe informarse continuamente de las nuevas variedades que tal vez se ajusten mejor a sus condiciones ambientales o a las exigencias actuales de la industria.

LITERATURA CITADA

ACEVEDO, E. 1979. Interacciones suelo-agua-raíz en el proceso de absorción de agua por las plantas. Santiago, Chile. Boletín Técnico 44. Facultad de Agronomía Universidad de Chile. 9p.

ACEVEDO, E., M. OPAZO, P. SILVA y H. SILVA. 2002. Rendimiento, componentes de rendimiento y resistencia a sequía en trigo (*Triticum aestivum* L.). Disponible en: http://www.sap.uchile.cl/descargas/publicacion/Rendimiento_componentes_de_rendimiento_y_resistencia_a_se~1.pdf. Leído el 20 de Febrero de 2011.

ACEVEDO, R., F. ARAYA, M. CABELLO, G. HERRERA, G. LEYTON, M. TORO, R. VÁSQUEZ y M. ZERENÉ. 2008. Estudio de competitividad de la cadena del trigo candeal. P. 71. Fundación Chile (Ed.). Santiago, Chile. 119 p.

AMÉZQUITA, E. 1989. Algunas consideraciones agroclimáticas y edáficas para uso y manejo integral de suelos. Programa Nacional de suelos. Instituto colombiano agropecuario (CNI). Tibaitatá, Bogota. Disponible en: http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_nacionales/algunas_consideraciones_agroclimaticas.pdf. Leído el 15 de abril de 2013.

AMÉZQUITA, E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los llanos orientales y sus requerimientos de labranza. Disponible en: http://webpc.ciat.cgiar.org/suelos/e_nacionales/propiedades_fisicas.pdf. Leído el 14 de Octubre de 2011.

BAST, R., L. CASERES, H. CURRIE y M. MENDEZ. 2005. Evaluación del rendimiento de cultivo de trigo bajo riego y seco, con base azufrada y dosis crecientes de Nitrógeno. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes, Argentina. 3p.

BERGH, R., M. ZAMORA y M. SEGHEZZO. 2003. Fertilización Nitrogenada Foliar en Trigo en el Centro-sur de la Provincia de Buenos Aires. INPOFOS Informaciones Agronómicas de Cono Sur. N° 19: 15-21.

CALDERINI, D. 2011. Determinación del peso potencial de grano y su respuesta al estrés abiótico en trigo y cebada. Pp. 21-26. In Castro, A., E. Hoffman y L. Viega (Ed.). Limitaciones para la productividad de trigo y cebada. Montevideo, Uruguay. 192p.

CASTAÑEDA, M., C. LÓPEZ, M. COLINAS, J. MOLINA y A. HERNÁNDEZ. 2009. Rendimiento y calidad del grano de cebada y trigo en campo e invernadero. Revista Interciencia 34 (4) 286-292.

CIMMYT, México. 2010. Punta negra. Disponible en: <http://wheatdoctor.cimmyt.org/index.php/es/problemas-de-produccion/99?task=view>. Visto el 3 de junio de 2013.

CIMMYT, México. 2012. Avances en el mejoramiento genético para generar variedades de trigo y calidad industrial. Disponible en: <http://www.slideshare.net/CIMMYT/rj-pea-calidad-de-trigo-8o-sit-mazatlan-2013-final>. Visto el 25 de Abril de 2014.

CORTÁZAR. 1987. Selección en trigo candeal, para disminuir el amarengamiento. Agricultura técnica (Chile) 47(2): 177-180.

FERREYRA, R., G. SELLÉS y J. TOSSO. 1985. Efecto de diferentes alturas de agua sobre el cultivo del pimiento. I. influencia de los excesos de humedad. Agricultura Técnica. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigación La Platina, Chile. 45(1): 47-51

GALARCE, D. 2007. Situación actual y perspectivas de mercado para el trigo candeal en Chile. pp. 36-45. *In*: E. Acevedo y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

GONZÁLEZ, C. 2012. Efecto de los precultivos sobre el rendimiento y calidad de trigo (*Triticum turgidum L. ssp. durum*) en un ambiente de secano mediterráneo. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. Santiago, Chile. 30p.

HACKE E. y J. AUGER. 2009. Hongos causantes de granos con punta negra. Pp. 85-91. *In* Hacke E. y J. Auger. Enfermedades del trigo y otros cereales. LOM Ediciones. Santiago, Chile. 256p.

HERRERA, J. 2011. Expresión de expansinas y crecimiento de las células del pericarpio durante el llenado de granos en trigo. Importancia de estos procesos para la determinación del peso final de grano. Memoria Licenciado en Bioquímica. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias. Valdivia, Chile. 118p.

INE, Chile. 2007. Censo Agropecuario y Forestal Resultados por Comuna. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/censo_agropecuario_07_comunas.php. Leído el 10 de Septiembre de 2011.

INE, Chile. 2013. Superficie sembrada, producción y rendimiento año agrícola 2012-2013. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_agropecuarias/estadisticas_agricolas/agricolas.php. Vista el 15 de Octubre de 2013.

INIA, Uruguay. 2006. Jornada de cultivos de invierno “Trigo calidad vs. rendimiento”. Disponible en: http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_444.pdf. Visto el 25 abril de 2014.

INIA, Chile. 2012. Nueva variedad de trigo candeal de primavera. Disponible en: <http://www.granosinia.cl/wp-content/uploads/2012/09/LleuqueINIA.pdf>. Visto el 13 de Junio de 2013.

KOHLI, M. y D. MARTINO (ED.). 1998. Explorando altos rendimientos de trigo. Instituto Nacional de Ciencias Agropecuarias La estanzuela. Colonia, Uruguay. 342p.

MADARIAGA, R. y I. MATUS. 2011. Calidad de trigo candeal. pp 41-43. *In* Silva P., I. Matus, R. Madariaga y E. Acevedo (Ed.). Criterios técnicos para el manejo de trigo candeal. Santiago, Chile. 54p.

MARTOS, V. 2003. Influencia del régimen hídrico sobre componentes de calidad del trigo duro (*Triticum durum Desf.*) en ambiente mediterráneo. Memoria Licenciada en farmacia, Universidad de Granada, Facultad de Ciencias. Granada, España. 85p.

MATUS, I., R. MADARIAGA y C. JOBET. 2005. Trigo candeal en la zona centro sur de Chile. *Tierra Adentro* 62(May-Jun): 36-38p.

MATUS, I. 2007. Mejoramiento genético para rendimiento y calidad de trigo candeal en Chile. pp. 119-128. *In*: E. Acevedo y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

MATUS, I y R. MADARIAGA. 2011. Características de las variedades nacionales. pp 16-19. *In* Silva P., I. Matus, R. Madariaga y E. Acevedo (Ed.). Criterios técnicos para el manejo de trigo candeal. Santiago, Chile. 54p.

MELÉNDEZ, L., J. LIZASO y R. RAMÍREZ. 2001. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre dos variedades de maíz (*Zea mays* L.) sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro* 13(3): 111-116.

MELLADO, M., I. MALDONADO y D. GRANGER. 1985. Efecto de la lluvia posterior a madurez de cosecha, sobre el grano de trigo. *Agricultura Técnica* 45 (3) 247-251.

MELLADO, M. y R. MADARIAGA. 1999. Consideraciones Cultivo de trigo en períodos de escasez de agua. Serie Quilamapu N° 124. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chile.

MELLADO, M. 2007. El trigo en Chile: Cultura, Ciencia y Tecnología. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Quilamapu. Chillán, Chile. 684p.

MORA, M. 2007. Desarrollo del mercado para el trigo candeal chileno. pp. 63-75. *In*: E. Acevedo, y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

NACHIT, M. 2007a. Trigo candeal en el mundo. pp. 29-35. *In:* E. Acevedo y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

NACHIT, M. 2007b. Trigo candeal: una aproximación al mejoramiento genético para estreses múltiples. pp. 175-178. *In:* E. Acevedo y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

NEUMANN, E. 2012. Agropecuarias / Informe Anual 2011. Instituto Nacional de Estadística (INE). Santiago, Chile. 172p.

NOBILE, S. 2012. Producción y Consumo de la Industria de las Pastas y Spaguetis. XXX Asamblea Anual de la Asociación Latinoamericana de Industriales Molineros (ALIM). Mérida, México. Noviembre 11-14, 2012.

ODEPA, Chile. 2012. Importaciones y exportaciones. Disponible en: www.odepa.cl. Leído el 20 enero de 2012.

PERGOLINI, S., C. CASTILLO y G. ESPÓSITO. 2004. Efecto de la fertilización sobre el consumo y la eficiencia de uso del agua del Cultivo de trigo. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, Argentina.

PERELLÓ, A. 2006. Manchado del grano de trigo ocasionado por *Alternaria triticina* y *Alternaria* grupo *infectoria* en Argentina. Informe de Divulgación N° 8, campaña agrícola 2006-2007. Centro de Investigación de fitopatología (Ed.). Facultad de Ciencias agrarias y forestales. Universidad nacional de La Plata, Argentina.

PIATTI, F., L. FERREYRA y M. CUNIBERTI. 2009. Rendimiento y calidad de trigo en la región central de Córdoba. Boletín de Divulgación Técnica No. 5: 19 p. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Manfredi (Ed.). Córdoba, Argentina.

PRESCOTT, J., P. BURNETT, E. SAARI, J. RANSOM, J. BOWMAN, W. DE MILLIANO, R. SINGH y G. BEKELE. 1986. Enfermedades y plagas del trigo, una guía para su identificación en el campo. CIMMYT (Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo). Disponible en: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1110/13397.pdf>. Visto el 18 de Abril.

RONCALLO, P., I. GARBUS, A. PICCA, V. ECHENIQUE, D. CARRERA, G. CERVIGNI and R. MIRANDA. 2009. Analisis de las bases geneticas del color en trigo candeal. Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata. 108 (1): 9- 23.

ROUANET, J.L. 2005. Rotaciones de Cultivos y sus Beneficios para la Agricultura del Sur. Fundación Chile (Ed.). Santiago, Chile. 91 p.

ROYO, C. 2003. Profundización en el conocimiento y evaluación del impacto de la mejora genética sobre criterios morfofisiológicos de interés en la selección del trigo duro para ambiente mediterráneo. Ministerio de ciencia y tecnología dirección general de investigación. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Madrid, España. 22p.

SANDOVAL, I. 2012. Evaluación de la calidad fisicoquímica y fitosanitaria de trigo (*Triticum aestivum*) de temporal de México. Ingeniero agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Texcoco, México. 108p.

SANJARI, A., R. ALIYEV and B .SORKHI. 2011. Grain Filling Rate and Duration in Bread Wheat Under Irrigated and Drought Stressed Conditions. Journal of Plant Physiology and Breeding 1(1): 69-86.

SILVA, P., J. KOLOPP, y E. ACEVEDO. 2007a. Calidad de trigo candeal, fisiología y manejo agronómico. pp. 77-86. *In*: E. Acevedo y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

SILVA, P., J. KOLOPP y E. ACEVEDO. 2007b. Trigo candeal: ¿Dónde cultivar para tener una mejor calidad? pp. 89-101. *In*: E. Acevedo, y P. Silva, (Ed.). Trigo candeal: calidad, mercado y zonas de cultivo. Santiago, Chile. 2007. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 182p.

SILVA, P., M. GARRIDO y E. ACEVEDO. 2011. Desarrollo Fenológico. pp. 4-15. *In* Silva P., I. Matus, R. Madariaga y E. Acevedo (Ed.). Criterios técnicos para el manejo del trigo candeal. Santiago, Chile. 54p.

SUBIRÀ, J. 2010. Estudio de la variabilidad fenotípica para características relacionadas con la adaptación al ambiente mediterráneo en una colección de variedades tradicionales de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). Proyecto Final Ingeniería agronómica. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries, Escola Tècnica Superior D'Enginyeria Agrària. Catalunya, España.

TAMBUSSI, E. 2004. Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. Memoria Doctorado en Biología. Universidad de Barcelona. Facultad de biología. Barcelona, España. 244p.

TORO, M. e I. GONZÁLEZ. 2011. Puntos de chequeo y Cropcheck. pp. 44-47. *In* Silva P., I. Matus, R. Madariaga y E. Acevedo (Ed.). Criterios técnicos para el manejo del trigo candeal. Santiago, Chile. 54p.

VERA, R. 2011. Efecto de la dosis de siembra sobre el rendimiento y la calidad de trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *Durum*) variedad Llareta INIA, en condiciones de

secano mediterráneo. Memoria Ingeniero Agrónomo, Mención fitotecnia. Universidad de Chile, Escuela de pregrado. Santiago, Chile. 32p.

WALLACE, J., C. BAINOTTI, M. NISI, B. FORMICA, M. SEGHEZZO, E. MOLFESE, C. JENSEN, J. NNISI y M. HELGUERA. 2003. Variabilidad genética de proteínas de reserva en trigos candeales argentinos y su interacción con la calidad industrial. *Agriscientia* Vol. XX: 19-27.

ZAMORA, M., R. BERGH, A. BÁEZ, M. SEGHEZZO y E. MOLFESE. 2002. Fertilización nitrogenada tardía en cultivares de trigo pan y candeal para calidad. Disponible en: <http://www.profertilnutrientes.com.ar/images/archivos/?id=575>. Visto el: 18 de mayo de 2013.

ZARCO-HERNÁNDEZ, J., A. MICHELENA y C. ROYO. 1999. Calidad del trigo duro en España. *Cultivos extensivos*. *Vida rural* (septiembre): 22-24.

ANEXO 1

Conceptos de los componentes de calidad

- **Proteína.** Existen dos conceptos relacionados con la proteína y que se encuentran entrelazados entre sí: la cantidad de proteínas y la calidad de las proteínas de reserva del grano (Matus, 2007; Silva *et al.*, 2007a).

Cantidad. Las proteínas son parte del 10 al 14% del grano (Mellado, 2007). El 85% del total de proteínas se encuentra en la endosperma formando el gluten o grupo de proteínas insolubles (Matus, 2007; Silva *et al.*, 2007a). Al momento de la cosecha del 20 al 30% de las proteínas corresponden a albúmina y globulina y del 60% al 80% a gliadina y glutenina. Como el mayor componente del grano es el almidón, al aumentar, el porcentaje de proteínas disminuye (Silva *et al.*, 2007a).

Calidad. Los dos grupos de proteínas más importantes son las gluteninas y gliadinas (Wallace *et al.*, 2003; Mellado, 2007). Las gluteninas se caracterizan por ser elásticas y firmes, mientras que las gliadinas son plásticas, pegajosas y extensibles (Mellado, 2007). La calidad de la semolina se encuentra dado por una proporción entre ambas proteínas (Mellado, 2007).

- **Color del grano.** El color del grano está dado por un conjunto de pigmentos carotenoides que se encuentran en la endosperma, el pericarpio del grano (Kohli y Martino, 1998; Mellado, 2007; Acevedo *et al.*, 2008) y el embrión (Roncallo *et al.*, 2009). Por ser la endosperma el 80% de la semolina, los pigmentos carotenoides más importantes son los que se encuentran en ella siendo la luteína el más abundante, los otros pigmentos importantes son la zeaxantina y α y β -caroteno (Roncallo *et al.*, 2009) y están conformados por carbono e hidrógeno, siendo más abundantes en trigos candeales que en harineros (Mellado, 2007). La biosíntesis de estos pigmentos son codificados por enzimas específicas (Kohli y Martino, 1998). La gama del color en el grano de trigo candeal va desde amarillo al marrón (Silva *et al.*, 2007a).

- **Peso hectolitro o peso específico.** Se define como “la cantidad equivalente de trigo limpio en kilogramos en un volumen de 100 litros” (Matus, 2007). Antiguamente se utilizaba ésta medida para vender el grano por volumen (Martos, 2003). Se expresa en $\text{kg}\cdot\text{hL}^{-1}$ (Zamora *et al.*, 2002). Su valor depende de la proporción del endospermo y los tegumentos (Martos, 2003). Un peso hectolitro muy bajo significa que existe mayor cantidad de salvado que de semolina y esto se da en granos enfermos, amarengados, con alto contenido de humedad, quebrados y con baja pureza física (Zamora *et al.*, 2002).

- **Punta negra.** Es una enfermedad que afecta tanto a la espiga como al grano y siempre está presente, a pesar de no tener las condiciones óptimas para expresarse (Perelló,

2006; Mellado, 2007). Una espiga con punta negra es oscura, con un bajo desarrollo y madura prematuramente (Hacke y Auger, 2009). En el grano, en cambio, es el pericarpio del ápice germinal el que se torna café oscuro o negro (CIMMYT, 2010). La causa de ésta enfermedad es controversial, se han aislado 14 hongos diferentes, pero los ensayos no han sido concluyentes (Hacke y Auger, 2009). Según Hacke y Auger (2009), los géneros que con mayor frecuencia se han aislado en Chile son: *Alternaria*, *Cladosporium*, *Stemphylium* y *Epicoccum*, los cuales son saprófitos. Prescott *et al.* (1986) y Madariaga y Matus (2011) indican que si es *Alternaria sp.* el agente causal, solo se afecta el pericarpio pudiendo sembrarse el grano sin mayor problema, pero si se produce por una interacción de hongos, como *Helminthosporium* o *Fusarium*, entonces se afecta el germen, el cual resulta dañado o muere.

Zarco-Hernández *et al.*, (1999) agregan que punta negra también puede ser causada por bacterias.

- **Amarengamiento.** Se le conoce también como “blaqueado del grano” (Galarce, 2007; Acevedo *et al.*, 2008) y se le considera una anomalía fisiológica, observándose en el grano manchas opacas que pueden llegar a cubrir el grano completo (Matus, 2007). Se encuentra estrechamente relacionado con un bajo porcentaje de proteína (Cortázar, 1987). Se mide en porcentaje (Matus *et al.*, 2005).

En contraposición al amarengamiento se encuentra la vitreosidad que corresponde a los granos translúcidos, y que al sumarse al porcentaje de granos amarengados dan un total de 100% (Matus *et al.*, 2005).

ANEXO 2

Exigencia industrial de los componentes de calidad

- **Proteína.** Para la empresa de pastas el porcentaje de proteína presente en la semolina debe ser alrededor de 11,5% (Mellado, 2007), aunque acepta un mínimo de 10% (Silva *et al.*, 2007b; González, 2012) y sobre el 12% la empresa bonifica (Vera, 2011; González, 2012). En caso de poseer un menor porcentaje, existirán problemas con la densidad y firmeza de la pasta y con la desecación y cocción del producto final (Mellado, 2007). Las variedades nacionales expresaron un porcentaje de proteínas que varía entre 11,3% y 13, 2% para la variedad Llaretta, 11,4% y 12,6% en la variedad Corcolén y 10,5% y 12, 5% la variedad Lleuque bajo condiciones hídricas óptimas (INIA, 2012).
- **Color del grano.** El trigo candeal posee entre 5 a 10 mg•Kg⁻¹ de pigmentos carotenoides, porcentaje bastante alto. La industria exige que el cultivo tenga el máximo porcentaje de pigmentos carotenoides (Mellado, 2007), El color se mide a través del componente de cromaticidad b, con un fotocolorímetro de triestímulo, donde los valores positivos de b indican el color amarillo (Acevedo *et al.*, 2008).
- **Peso hectolitro o peso específico.** La industria aplica un castigo a los productores cuando el peso hectolitro es menor a 79 kg•hL⁻¹ y se bonifica sobre 82 kg•hL⁻¹ (Madariaga y Matus, 2011). Las variedades nacionales fluctúan entre 83,2 y 85,5 kg•hL⁻¹ la variedad Llaretta; 83,4 y 84,7 kg•hL⁻¹ la variedad Corcolén y 82,2 y 84,7 kg•hL⁻¹ la variedad Lleuque bajo condiciones hídricas óptimas (INIA, 2012).
- **Punta negra.** Hoy en día sólo se acepta hasta un 2%, si el valor se encuentra entre 2% hasta 4% el castigo es de -0,5% del valor total a pagar; si es del 4% al 6% es de -1% y si está entre el 6-8% es -2%. Sobre un 8% el grano se rechaza (Madariaga y Matus, 2011).
- **Amarengamiento.** Por lo general los trigos chilenos poseen un 8,8% de granos amarengados en promedio, siendo un valor muy bajo (Acevedo *et al.*, 2008) y la industria de pastas lo incentiva bonificando con valores menores al 10% de granos amarengados (Madariaga y Matus, 2011).