



TRIGO CANDEAL

CALIDAD, MERCADO Y ZONAS DE CULTIVO

UNIVERSIDAD
DE CHILE

SERIE
CIENCIAS
AGRONOMICAS

Nº 12, 2007

Editores

E. Acevedo
P. Silva



UNIVERSIDAD DE CHILE
SERIE CIENCIAS AGRONÓMICAS Nº 12/2007

TRIGO CANDEAL

Calidad, Mercado y Zonas de Cultivo

Editores

E.Acevedo y P. Silva

Comité Asesor

Dr. Claudio Jobet
Dr. Iván Matus
Dr. Rafael Novoa
Dr. Claudio Pastenes



Santiago - Chile, 2007

AGRADECIMIENTOS

Los editores/autores agradecen a los autores de los capítulos de este libro por la buena disposición a entregar sus experiencias en los diferentes ámbitos de la cadena de trigo candeal y producción de pastas, además de revisar oportunamente sus manuscritos. Agradecen al Comité Asesor de este volumen de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, integrado por los Dres. Claudio Pastenes, Iván Matus, Rafael Novoa y Claudio Jobet por sus aportes a la edición y, en particular, reconocen la labor realizada por el Dr. Rafael Novoa Soto-Aguilar. Expresan su gratitud a FIA por haber acogido la iniciativa de publicar este volumen, que esperan sirva de base al Programa de Desarrollo Tecnológico "Desarrollo del Trigo Candeal", recientemente financiado por FIA y el Consejo Nacional de Innovación. Por último, agradecen el continuo apoyo y motivación entregada por los colegas y alumnos del Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, en especial al Dr. Eduardo Martínez y a los estudiantes de Doctorado CSAV, Sr. Mauricio Ortiz y Srta. Olga León.

E. Acevedo y P. Silva

TRIGO CANDEAL

Calidad, Mercado y Zonas de Cultivo

Santiago, Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Agronómicas, 2007-12-21 Serie Ciencias Agronómicas N° 12

180 páginas

Financiamiento:

FIA. Proyecto FIA-CD-V-2006-1-A-002

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta

SERIE ISBN: 978-956-19-0363-0

LIBRO ISBN: 978-956-19-0583-2

R.P.I.: 167971

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta.

Facultad de Ciencias Agronómicas

Departamento de Producción Agrícola.

Universidad de Chile

Casilla 1004, Santa Rosa 11315, La Pintana, Santiago

e-mail: eacevedo@uchile.cl; psilva@uchile.cl

Edición 500 ejemplares

Diseño y Diagramación

J&M diseño

Impreso en Andros Impresores

LISTA DE PARTICIPANTES

E. Acevedo.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. eacevedo@uchile.cl

V. Becerra.

Laboratorio de Micropropagación y Análisis Genético de Plantas. Departamento de Genética y Fitomejoramiento. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación. Quilamapu. Casilla 426. Chillán, Chile. vbecerra@inia.cl

D. Galarce.

Área Agroindustria Fundación Chile. Casilla 773. Santiago, Chile. dgalarce@fundacionchile.cl

E. Hacke.

IBSEN 6595 Dpto. 402. Las Condes. Santiago. Chile. mpazhackev@hotmail.com, mpazhackev@123mail.cl, mpazhackev@terra.cl, fono 56-2-2297203

C. Jobet.

Programa Nacional de Trigo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación. Casilla 58-D, Temuco, Chile. cjobet@inia.cl

G. Jordán.

Área Agroindustrias, Fundación Chile. Casilla 773, Santiago, Chile. gjordan@fundacionchile.cl

J. Kolopp.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. juliette.Kolopp@hotmail.fr

I. Matus.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Casilla 426. Chillán. Chile. imatus@inia.cl

M. Mora.

Departamento de Economía Agraria. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. mmorag@uchile.cl

M. Nachit.

ICARDA. P.O. Box 5466. Aleppo. Syria. m.nachit@cgiar.org

M. Paredes.

Laboratorio de Micropropagación y Análisis Genético de Plantas. Departamento de Genética y Fitomejoramiento. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación. Quilamapu. Casilla 426. Chillán. Chile. mparedes@inia.cl

P. Silva.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. psilva@uchile.cl

Índice

1	<i>Introducción</i>	9
	SÍNTESIS.....	12
	LITERATURA CITADA.....	12
2	<i>Crear valor en los alimentos chilenos: la cadena del trigo...</i>	13
	INTRODUCCIÓN	13
	Importancia económica del trigo en Chile.....	13
	El mundo global de hoy. Los alimentos.....	13
	Chile potencia alimentaria.....	15
	EL SECTOR TRIGUERO NACIONAL.....	17
	La coyuntura favorable del mercado mundial.....	17
	El dilema de la calidad.....	18
	Producir calidad.....	20
	Rompiendo el círculo vicioso.....	21
	Conectividad.....	22
	Las características de la demanda actual por trigo.....	23
	Estándares y certificación.....	24
	Base educacional.....	25
	SÍNTESIS	27
	LITERATURA CITADA.....	28
3	<i>Trigo candeal en el mundo</i>	29
	INTRODUCCIÓN	29
	Producción de trigo candeal de alta calidad.....	30
	Situación global actual y perspectivas.....	30
	Principales importadores.....	33
	Otros importadores.....	34
	SÍNTESIS	35
	LITERATURA CITADA.....	36
4	<i>Situación actual y perspectivas de mercado para el trigo candeal en Chile</i>	37
	INTRODUCCIÓN	37
	MERCADO INTERNACIONAL.....	38
	Producción mundial de trigo candeal.....	38
	Principales oferentes.....	40

Demanda en América Latina.....	47
Mercado mundial de las pastas.....	49
Mercado Mundial de Couscous.....	49
SITUACIÓN DEL MERCADO NACIONAL.....	52
Flujo de productos en la cadena del trigo candeal.....	52
Producción nacional de trigo candeal.....	54
Brecha tecnológica y oportunidades de crecimiento.....	55
Localización de la producción.....	55
Otros factores relevantes para la producción primaria.....	56
Mercado de las pastas.....	57
Mercado del Couscous.....	58
SÍNTESIS.....	60
LITERATURA CITADA.....	61
5 <i>Desarrollo del mercado para el trigo candeal chileno.....</i>	63
INTRODUCCIÓN.....	63
Precios internacionales de trigo candeal: una señal clara para su desarrollo.	64
El trigo candeal en Chile.....	66
Costo de producción y margen de trigo candeal en Chile: un dato fundamental para incursionar en este agronegocio.....	67
Incursión del trigo candeal chileno en los mercados internacionales.....	69
La cadena productiva del trigo candeal y la innovación.....	73
SÍNTESIS.....	75
LITERATURA CITADA.....	76
6 <i>Calidad de trigo candeal, fisiología y manejo agronómico..</i>	77
INTRODUCCIÓN.....	77
CALIDAD INDUSTRIAL DE TRIGO.....	77
CRECIMIENTO DEL GRANO DE TRIGO.....	78
Acumulación de carbohidratos.....	79
Acumulación de proteína.....	80
PARÁMETROS QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL TRIGO.....	81
SÍNTESIS.....	86
LITERATURA CITADA.....	86
7 <i>Trigo candeal: ¿Dónde cultivar para tener una mejor calidad?</i>	89
INTRODUCCIÓN.....	89
MATERIALES Y MÉTODOS.....	89
Selección de sitios.....	89
Parámetros de calidad.....	91
Análisis.....	91
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
Índice de calidad.....	94
Análisis de componentes principales.....	95
Influencia del clima.....	97
Relaciones entre los parámetros de calidad, los parámetros de clima y ubicación geográfica.....	99
Partial Least Square Regression.....	100

CONCLUSIONES.....	101
SÍNTESIS	101
LITERATURA CITADA.....	102
8 <i>Trigo en Chile, rol actual del mejoramiento genético</i>	103
ANTECEDENTES GENERALES.....	103
SITUACION NACIONAL.....	104
Aspectos económicos.....	104
Aspectos de mercado.....	105
Aspectos sociales.....	105
Factores relacionados con la innovación en trigo.....	106
PROGRAMA NACIONAL DE TRIGO (PNT - INIA).....	106
Historia.....	106
Área de acción del programa de trigo INIA.....	108
Métodos de generación de variedades utilizados actualmente en el PNT.....	109
Selección asistida por marcadores para adaptación al ambiente.....	112
Manejo agronómico y nuevas alternativas de cultivo en rotaciones.....	114
Control sobre malezas resistentes a herbicidas.....	115
Laboratorio de calidad.....	115
PERSPECTIVAS FUTURAS Y DESAFÍOS	115
SÍNTESIS.....	117
AGRADECIMIENTOS	117
LITERATURA CITADA	118
9 <i>Mejoramiento genético para rendimiento y calidad de trigo candeal en Chile.....</i>	119
INTRODUCCIÓN	119
MEJORAMIENTO GENÉTICO	121
Objetivo.....	122
Metodología de trabajo.....	122
Rendimiento.....	125
Calidad.....	125
Metas del proyecto de mejoramiento genético	127
SÍNTESIS	128
LITERATURA CITADA.....	128
10 <i>Mejoramiento genético para el control de las principales enfermedades que afectan al trigo candeal.....</i>	129
INTRODUCCIÓN	129
ROYAS O POLVILLOS.....	129
a) Resistente	131
b) Susceptible	132
Respuesta a un cultivo avirulento y tipo de infección.....	133
UTILIZACIÓN DE LA RESISTENCIA NO ESPECÍFICA U “HORIZONTAL” EN FITOMEJORAMIENTO....	144
NUEVAS ESTRATEGIAS DE CONTROL GENETICO DE LA ROYA DE LA HOJA Y ESTRIADA	145
MANCHAS FOLIARES EN TRIGO CANDEAL Y DE PAN.....	147
SEPTORIOSIS DEL TRIGO.....	148
VIRUS DEL ENANISMO AMARILLO DE LA CEBADA (BYDV).....	150

OIDIO DEL TRIGO	152
ENFERMEDADES DE LA RAÍZ CAUSADAS POR HONGOS	152
El mal del pie	152
Fusariosis de la espiga	153
SÍNTESIS.....	154
LITERATURA CITADA.....	155

11 Marcadores moleculares en el mejoramiento de trigo candeal 159

INTRODUCCIÓN	159
MARCADORES MOLECULARES	160
VARIACIÓN EN ADN CITOPASMÁTICO.....	162
PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS MARCADORES MOLECULARES	162
ASOCIACIÓN DE MARCADORES MOLECULARES CON CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS.....	164
SÍNTESIS	169
LITERATURA CITADA.....	169

12 Trigo candeal: una aproximación en el mejoramiento genético para estreses múltiples 175

INTRODUCCIÓN	175
ESTRÉS DE SEQUÍA	175
ESTRESSES BIÓTICOS	176
ANCESTROS (WILD RELATIVES).....	177
ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO.....	177
MAPEO Y DETECCIÓN DE QTLs	177
ROTACIÓN CON VICIA.....	178
SÍNTESIS	178
LITERATURA CITADA.....	179

13 Conclusiones 181

1

Introducción

E. Acevedo y P. Silva.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. eacevedo@uchile.cl; psilva@uchile.cl

El trigo candeal (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*) cubre 20 millones de hectáreas en el mundo, representando menos del 10% del total de superficie de trigo. Más de la mitad de esta superficie se encuentra en la zona del Mar Mediterráneo que es la condición climática óptima para la generación de grano de alta calidad.

El trigo candeal se destina principalmente a la producción de pastas y en menor medida a couscous, burghul y frikes, entre otros. Dada la escasez de este tipo de trigo, la industria de producción de pastas de algunos países ha incluido trigo harinero en el proceso, generando un producto de menor calidad. Sin embargo, los consumidores de pasta siguen prefiriendo aquella hecha con 100% de trigo candeal, debido a que se busca una pasta con una buena apariencia durante el proceso de cocción, con bajo grado de desintegración y baja pegosidad. La textura de la pasta debe ser firme, elástica y cohesiva.

Los grandes productores y exportadores de trigo candeal, Canadá y EE.UU., se basan en programas de mejoramiento genético orientado al mercado internacional, con investigación y desarrollo agronómico para sus condiciones edafoclimáticas y sanitarias locales. Aun cuando no cuentan con condiciones climáticas óptimas para producción de grano de alta calidad, suplen esta deficiencia con grandes superficies bajo cultivo y un estricto sistema de selección y tipificación, logrando que una fracción de su producción tenga mejor calidad, particularmente alta proteína.

La producción mundial de trigo candeal es 27.000.000 toneladas. La tasa de crecimiento de su consumo es del orden de 3.600.000 toneladas anuales (12% anual). Internacionalmente se transan de seis a siete millones de toneladas. Chile tiene cercanía geográfica con países latinoamericanos importadores, como Venezuela y Perú (importan 500.000 Ton / año entre ambos), y tiene firmado tratados de libre comercio con las principales economías del mundo, por lo que el grano de trigo candeal y las pastas chilenas tienen una oportunidad de acceder a los mercados internacionales y convertirse, eventualmente, en un actor relevante en el concierto internacional.

Dada la relevancia de este cultivo en el mundo, existen centros de mejoramiento genético internacionales como ICARDA (International Center for Agricultural Research in the Dry Areas) y CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) que se ocupan de él. Dentro de ICARDA se encuentra el programa de fitomejoramiento para condiciones de secano y condiciones ambientales estresantes. Este Centro, junto a países del Mediterráneo conforman la Red de Investigación y Desarrollo de Trigo Candeal del Mediterráneo.

En Chile la superficie de trigo candeal, para seis temporadas, ha sido del orden de 12.000 ha, las cuales representan el 3% de la superficie nacional de trigo (Cuadro 1).

Cuadro 1: Superficie nacional (ha) de trigo candeal (INE, 2006).

Trigo	Temporada / año						Promedio
	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	
Candeal (ha)	6.670	9.670	11.910	11.889	14.944	16.167	11.874
Harinero (ha)	407.330	416.430	403.750	408.520	404.716	298.553	389.883
Total (ha)	414.000	426.100	415.660	420.400	419.660	314.720	401.757
Candeal %	1,6	2,3	2,8	2,8	3,6	5,1	3,0

En la temporada 2002/2003 la Región Metropolitana (RM) y la VI Región concentraban el 82% de este cultivo en Chile, con 9.766 ha. En la temporada 2005/2006 estas regiones representaron sólo el 39% de la superficie cultivada con este cereal, con 6.352 ha. El trigo candeal está siendo desplazado desde la zona central regada a la zona centro sur en que dominan condiciones de secano. Esto se refleja en el aumento de superficie registrada para la VIII Región, donde en la temporada 2004/2005 hubo 1.046 ha y en la temporada 2005/2006, 4.250 ha, correspondiendo a 7% y 26% de la superficie nacional de trigo candeal respectivamente para esos períodos (INE, 2006).

El trigo candeal de calidad (alta proteína, alta vitreosidad, fuerza de gluten, color ámbar, entre otros) requiere veranos secos y calurosos y se produce en clima mediterráneo que es escaso en el mundo. La alta amplitud térmica entre noche y día permite mejor pigmentación de granos y el color requerido por el mercado internacional. En el mundo hay sólo 5 ecosistemas mediterráneos, uno de los cuales se sitúa en Chile entre los 33° y 37° LS (RM y VIII Región, respectivamente).

Nuestro gran competidor, Argentina, no cuenta con el clima adecuado para producir un trigo candeal de calidad y tiene serias dificultades con mico toxinas, problema que no existe en Chile. Lo que acrecienta sus ventajas naturales. Sin embargo, el trigo candeal chileno tiene problemas de calidad, debido a su alta heterogeneidad y bajo nivel de proteína, sumado a un alto costo de producción. Por lo anterior, la industria productora de pastas nacional adquiere sólo del orden de un 50% del trigo candeal en el mercado nacional, importando la diferencia como "trigo corrector" principalmente de Canadá (ODEPA, INE), cuya producción se caracteriza por alta proteína y fuerza del gluten, a un precio competitivo. Lo anterior permite generar

una pasta de mejor calidad a la que se obtendría si se usase sólo trigo candeal producido en Chile, muy bajo en proteínas con todo lo que ello implica.

La industria nacional productora de pasta requiere trigo candeal de calidad para satisfacer el mercado local. La industria ha desarrollado en el último tiempo una política de mejora de calidad de grano a través de bonificación de la proteína, vitreosidad y peso del hectólitro a los productores nacionales. El bajo contenido de proteína no sólo depende del material genético sino del medio ambiente (entendido como la combinación de año, localidad, clima y suelo) y de manejo agronómico del cultivo, especialmente de la fertilización nitrogenada (Matus *et al.*, 2005).

La estrategia seguida por Chile a la fecha en manejo agronómico y fitomejoramiento ha sido orientada a lograr alto rendimiento en riego, sin considerar calidad. Por otra parte, prácticamente no ha existido fitomejoramiento de trigo candeal para condiciones de secano. El cultivo se ha realizado fundamentalmente en el Valle Central regado de la zona Centro-Norte, en suelos aluviales de pH neutro a alcalino por lo que, además, las variedades actuales no han sido expuestas a suelos de pH ligeramente ácido que dominan las zonas de secano interior de la cordillera de la Costa y de la precordillera de los Andes en latitudes donde llueve lo suficiente para el cultivo y que han demostrado tener condiciones óptimas para la obtención de una calidad superior (Silva, Kolopp y Acevedo 2007, este volumen). Por ello, se deberá realizar un esfuerzo para aumentar la resistencia a pH ligeramente bajo de las variedades por una parte y mientras esto no se logre se deberá corregir la acidez del suelo hacia la neutralidad donde sea necesario, utilizando enmiendas químicas como por ejemplo el uso de carbonato de calcio.

Chile tiene un cociente fototérmico (relación entre radiación solar incidente y temperatura) que es aproximadamente 80% superior a condiciones de similar latitud del hemisferio norte (Opazo, 2002). Esto tiene el efecto de aumentar los rendimientos chilenos, pero además de subir la calidad de los granos de trigo candeal (vitreosidad, color, calidad de proteína) por menor daño térmico (alta temperatura) en el período de llenado de grano.

Las dificultades que tienen los productores para adoptar nuevas tecnologías y resolver problemas de consistencia de calidad del grano de trigo candeal pueden ser aminoradas utilizando el sistema Crop Check. Esta metodología de transferencia tecnológica para agricultores desarrollada en Australia en los años ochenta ha mostrado su alta eficiencia como herramienta de identificación de puntos críticos y de transferencia tecnológica en la producción de cultivos en su país de origen, explicando importantes incrementos productivos y logros operativos de las cadenas productivas de trigo, arroz, cebada y otros cultivos. Chile tiene alto costo de producción, cerca de un tercio del costo total corresponde a fertilizante, especialmente nitrogenados.

El desarrollo del sector sólo será posible mejorando la calidad y consistencia en el tiempo (homogeneidad) del grano de trigo candeal. Además, éste deberá ser orientado a los mercados de exportación, aumentando los volúmenes de producción, con mejor calidad, principalmente proteína, y disminuyendo los costos de producción.

SÍNTESIS

- El trigo candeal de alta calidad es producido en medioambiente mediterráneo, escaso en el mundo ya que la calidad se expresa mejor cuando existe estrés terminal (agua y altas temperaturas) que induce senescencia y redistribución del nitrógeno a los granos, tal como ocurre en los suelos de secano con clima mediterráneo de la zona centro sur de Chile. Esto le da un potencial a Chile de producir grano y pasta de calidad superior.
- La fruticultura y vitivinicultura también se desarrollan bien en medioambiente mediterráneo ocupando principalmente los suelos regados, lo que ha provocado un desplazamiento de este cereal hacia el sur del país donde predominan condiciones de secano.
- El fitomejoramiento de trigo candeal en Chile se orientó en el pasado a aumentar el rendimiento y calidad en riego. Hoy se dispone de un reducido número de variedades bien adaptadas a condiciones de riego y hay sólo trabajos incipientes en secano.
- Adicionalmente la producción de trigo candeal en el país tiene un alto costo debido a la baja eficiencia en el uso de algunos recursos como nitrógeno y agua. Para aprovechar el potencial productivo de nuestro país se requiere aumentar la disponibilidad de germoplasma, ampliar la selección para condiciones de secano mediterráneo y desarrollar prácticas de manejo agronómico que permitan disminuir el costo del cultivo y mejorar la calidad, aprovechando mejor el agua y el nitrógeno del suelo en riego y en secano.
- En Chile se debe fortalecer e incrementar la calidad, homogeneidad y competitividad del trigo candeal, con una visión de mercado nacional e internacional tanto de granos como de pastas, en la zona comprendida entre las regiones Metropolitana y VIII. Específicamente: 1. Determinar los niveles de eficiencia económica de la cadena de trigo candeal y su nivel de competitividad a nivel internacional. 2. Mejorar la gestión productiva de la cadena de trigo candeal. 3. Validar prácticas agronómicas para bajar costos y mejorar calidad. 4. Evaluar y zonificar genotipos de acuerdo a zonas de cultivo. 5. Difundir y transferir resultados parciales y finales del Programa Trigo Candeal.

LITERATURA CITADA

- INE, 2006. Agropecuarias. Informe Anual 2005. 134 p.p.
- Matus, I., Madariaga, R. y Jobet, C. 2005. Trigo candeal en la zona centro sur de Chile. *Tierra Adentro* 62: 36-38.
- Opazo, M. 2002. Evaluación de resistencia a estrés hídrico y estabilidad de rendimiento en genotipos de trigo (*Triticum aestivum* L.). Memoria de Título para optar al título de Ing. Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. 35p.p.
- Silva, P., Kolopp, J. y Acevedo, E. 2006. Parámetros de calidad a considerar en el trigo candeal: Zonificación. Seminario "Cultivo, calidad, mercado e industria de trigo candeal". Realizado en Chillán el 21 de noviembre de 2006.

2

Crear valor en los alimentos chilenos: la cadena del trigo

G. Jordán.

Área Agroindustrias, Fundación Chile. Casilla 773. Santiago. Chile. gjordan@fundacionchile.cl

INTRODUCCIÓN

Importancia económica del trigo en Chile.

En la canasta familiar de los chilenos, el pan y otros derivados de trigo representan en la actualidad un 14% del gasto en alimentación. Ello se traduce en un consumo nacional de 1,76 millones de toneladas de pan, 133 mil toneladas de pasta, 49 mil toneladas de galletas y 3,9 millones de docenas de pasteles (Urrutia, 2005). No obstante, el sector triguero nacional ha tenido que enfrentar en los últimos años diversas situaciones que han causado inquietud entre los diferentes actores vinculados al rubro, particularmente en relación a la disminución de su competitividad. Estas situaciones han derivado de fluctuaciones en los precios internacionales y del tipo de cambio y han tenido repercusión nacional por la importancia de este cultivo en la agricultura y particularmente en las regiones del Sur. Durante la última cosecha (enero-febrero de 2007), sin embargo, un escenario internacional favorable ha devenido en mejores precios internos que podrían inducir a una visión optimista del sector. En este sector se debe lograr consenso en una nueva visión global, enfrentando estratégicamente el desarrollo a la luz de las tendencias del mercado internacional, las que paulatinamente deben ser incorporadas por el mercado interno.

En la construcción de ese consenso está el escenario de una eliminación de la banda de precios, producto de la negociación en la OMC y la consecuente mayor apertura del sector a la economía global. Por ello se debe realizar un análisis de la situación actual y las posibilidades que tendría el sector de acceder a nuevas opciones de exportación, sobre la base de una readecuación, con variedades especiales de trigo que además considere un eventual autoabastecimiento de la producción nacional en años futuros.

El mundo global de hoy. Los alimentos.

En el mundo global los alimentos constituyen una fuerza conductora fundamental. Los consumidores tienen mayor ingreso disponible derivado del crecimiento

económico, lo que les permite demandar alimentos más atractivos en términos de sabor, formas, aromas, colores y otros. El número de consumidores cuyo ingreso supera US\$ 5.000 per cápita, que son los que reclaman alimentos más elaborados y sofisticados, crece mundialmente a tasas no conocidas hasta ahora. Según cifras elaboradas a partir del Banco Mundial (Montanari, 2006), el número de personas en esa categoría de ingresos aumentó de 1.569 millones en 1995 a 2.191 millones en 2005, generando en diez años un mercado de 1.212 millones de consumidores que demandan nuevos alimentos (Figura 1).

El aumento de la población mundial, el crecimiento de los ingresos, el aumento de las expectativas de vida de poblaciones cada vez más longevas, han generado una preocupación de los consumidores por obtener alimentos cada vez más sanos e ino cuos. Al mismo tiempo, los consumidores perciben que existen dietas, como la dieta mediterránea, que le proporciona beneficios innegables para su salud. Esto ha significado que el consumo de este tipo de alimentos en el mundo aumente a tasas de dos dígitos (Leighton, 2006).

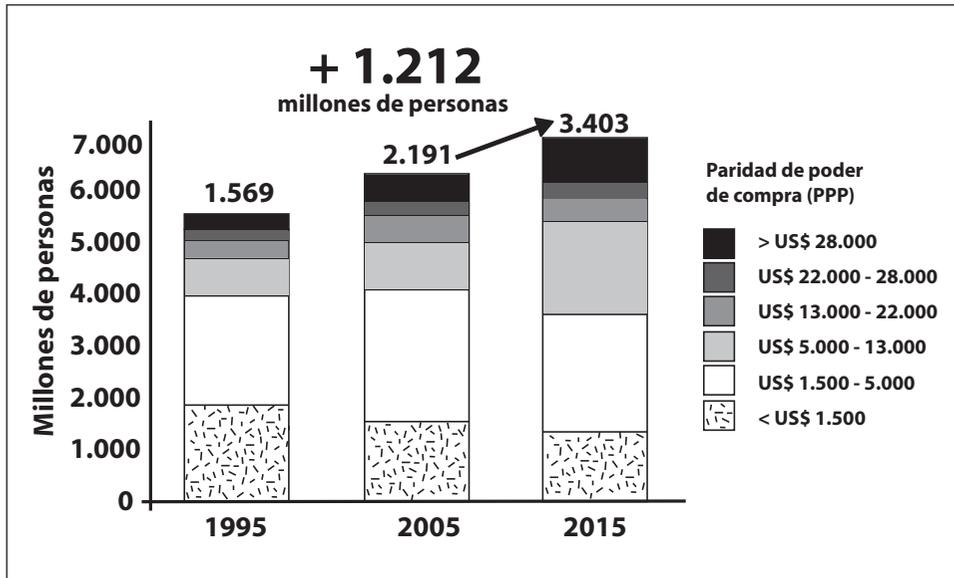


Figura 1: Cambio en los Ingresos de la Población Mundial.

Fuente: Montanari (2006).

Asimismo, el cambio en hábitos de trabajo, producto de un estilo de vida diferente a lo que se conocía hace 50 años, ha derivado en una demanda por alimentos diferente. Por otra parte ha aumentado el número de mujeres que trabajan y que ya no dedican su tiempo a la casa. El tamaño de las familias ha disminuido: en Francia, un tercio de los hogares son unipersonales y otro tercio son hogares bipersonales. Esos hogares demandan porciones de alimentos que satisfagan sus necesidades. Ha habido, además, un aumento de la población urbana, con hábitos alimentarios diferentes que fortalecen la tendencia señalada.

Sólo en Estados Unidos en el año 2001 entraron 12 mil nuevos productos alimentarios al mercado, a través de 14 categorías que van desde alimentos para bebés a sopas (USDA, 2001). Las tiendas de alimentos ofrecen novedad, variedad y conveniencia, con productos que van de lo orgánico, lo exótico, frutas y carnes marinadas, hasta agua embotellada y con sabor. Otros enfatizan la calidad y los servicios y otros, simplemente limitan sus líneas de productos y ofrecen mejores precios. También cambian los canales de comercialización, así por ejemplo, todos los restaurantes de la ciudad de Nueva York desde el 30 de junio de 2007 ha incorporado, junto al precio, el contenido calórico de cada uno de sus platos ofrecidos.

Así, el alimento ideal (Figura 2) cambia rápidamente en sus características, obligando a los sistemas productivos, a la cadena de valor, a ajustarse rápidamente a estas tendencias a riesgo de perder posición en el mercado. La flexibilidad en la cadena productiva para ajustarse a estos cambios –las tecnologías de información y comunicaciones ayudan en este proceso– se convierte en un ventaja competitiva de primera magnitud.

Los mercados evolucionan para adecuarse a la demanda de los consumidores y la industria del agronegocio –incluyendo los agricultores– reaccionan buscando mejor coordinación en la cadena de valor, de manera que las señales de los consumidores se trasladen fluida y eficientemente a través de toda la cadena. Los diferentes actores pueden mejorar la coordinación estableciendo vínculos directos con los productores primarios vía contratos y así los actores alimentarios en su conjunto pueden asegurarse de cumplir con productos específicos que responden a la demanda de los consumidores.

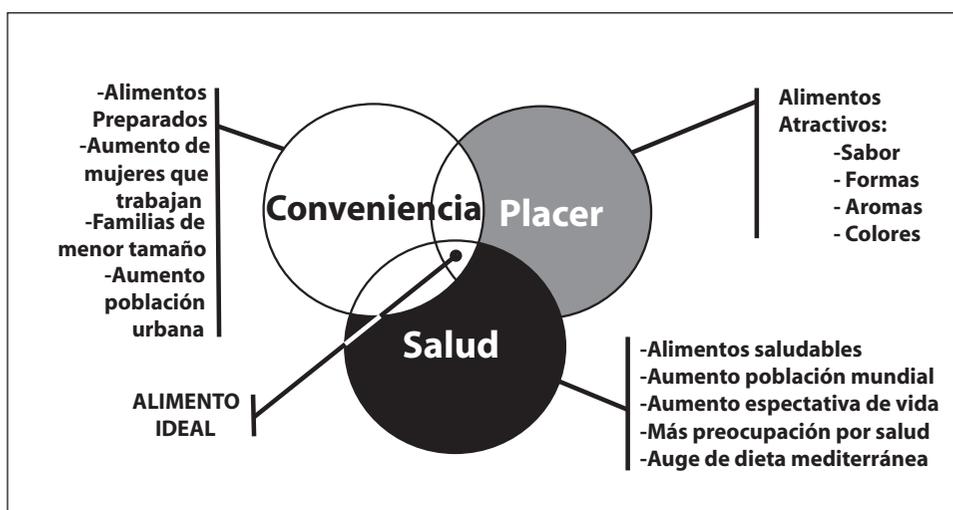


Figura 2: Características de un alimento ideal (Schaafsma y Kok, 2005).

Chile potencia alimentaria.

El sector alimentario ha tomado cada vez más relevancia en la economía nacional. Solamente en el sector de los alimentos elaborados, representados por Chilealimentos,

573 empresas en todas las regiones del país ocupan a más de 260 mil personas, generan más de mil productos elaborados, que se venden a 118 países en el mundo y que en 2006 retornaron al país US\$ 1.180 millones. En el año 2007 se espera un aumento de 27% hasta llegar a US\$ 1.500 millones (Montanari, 2007).

En esa perspectiva, Chile se ha planteado el desafío de constituir una potencia alimentaria de carácter mundial. Al proyectar las exportaciones de alimentos chilenos según la tendencia de 1990 a 2005, se puede pensar que la exportación total de alimentos hacia 2010 estaría en el nivel de 12 mil millones de dólares. Las empresas alimentarias, sin embargo, señalan que las exportaciones superarán los 16 mil millones de dólares a esa fecha (Figura 3).

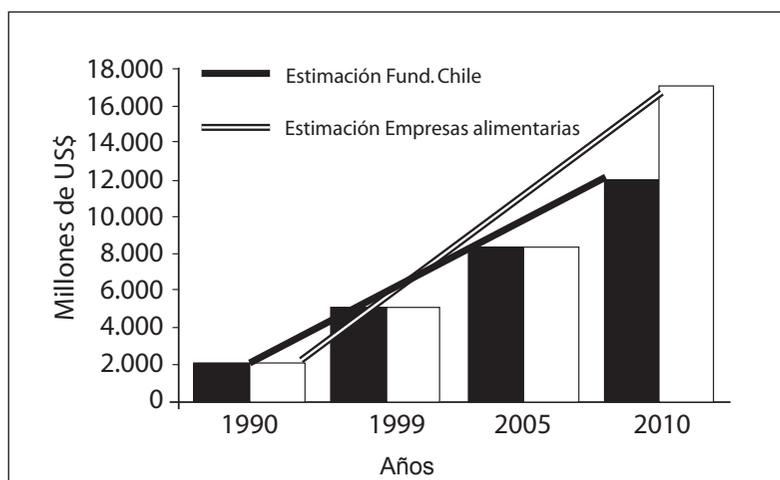


Figura 3: Exportación chilena de alimentos estimada por Fundación Chile y empresas alimentarias.

Fuente: Fundación Chile.

La necesidad de establecer y coordinar las prioridades del sector alimentario chileno indujo al Ministerio de Agricultura a solicitar durante el año 2006 a la Iniciativa Agenda Alimentaria, compuesta por profesionales de Fundación Chile, INNOVA, la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Chile y el Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Chile, a realizar una serie de talleres para recoger las propuestas de los actores reales del mundo alimentario chileno.

Se realizaron 4 Talleres Regionales en la V, VII, IX y X Regiones y se realizó también un Taller Nacional, donde participaron los principales dirigentes de los gremios del sector privado: vino, alimentos procesados, aves y cerdos, Asociación de Exportadores, carne, leche, salmones, molinería y otros. Participaron también los principales directivos de las instituciones del Ministerio de Agricultura y representantes de la Subsecretaría de Pesca, CONICYT, Ministerio Secretaría General de la Presidencia y otros representantes del sector público.

Los Talleres para la Agenda Alimentaria dejaron en claro que hay una percepción que emerge entre quienes han producido la gran expansión alimentaria que se vive en Chile. Los empresarios, técnicos y servidores públicos se sienten desafiados. Hay

una percepción de consenso: convertir a Chile en una Potencia Alimentaria de clase mundial, es un desafío por transformar integralmente el estilo de desarrollo del país. Se percibe ahora que esto es un desafío para Chile en su conjunto, tanto para el sector privado como para el sector público. Convertir a Chile en una Potencia Alimentaria de clase mundial implica una acción sistémica de todos los actores, consensuada, de manera de movilizar en el país un nuevo modelo histórico de desarrollo. Un nuevo estilo que haga de Chile un centro dedicado a cultivar una vida y una alimentación sana y saludable, como un valor de identidad fundamental. Un nuevo estilo que cuide y valore como parte de nuestra identidad nacional en el mundo, nuestro capital medioambiental limpio y sano, nuestro capital humano como altamente educado, capacitado y conectado al mundo global. Un nuevo estilo productivo que ponga a las empresas en la punta de los requerimientos de prácticas y estándares de seguridad y salubridad en el mundo, convirtiendo esto en un valor de identidad nacional apreciado. Un sector público ágil y globalizado. Un nuevo estilo que posicione a Chile como un líder respetado en innovación alimentaria en el mundo y que proporcione oportunidades con competitividad a miles de nuevos pequeños y medianos empresarios. Un nuevo estilo que nos enorgullezca de la integración social en las zonas rurales y la calidad de vida en éstas para que no continúen siendo las más pobres del país.

EL SECTOR TRIGUERO NACIONAL

La coyuntura favorable del mercado mundial.

Diversos factores que afectan al comercio mundial de trigo, han derivado en un alza sustantiva del precio internacional de este producto (Figura 4). El mercado mundial del trigo ha cambiado radicalmente en los últimos años. La consolidación de una demanda por un segmento de trigo de calidad que responde a los cambios de hábitos y preferencias de los consumidores finales es lo que marca el movimiento del mercado.

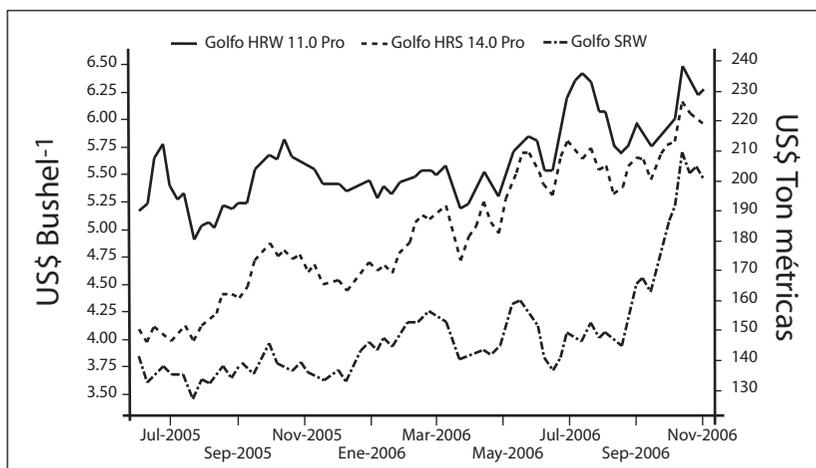


Figura 4: Precio del trigo FOB Golfo. Valores semanales entre junio de 2005 y noviembre de 2006.

Fuente: US Wheat Association (2006).

Esta tendencia está recién apareciendo en el mercado nacional, pero sin duda, marcará el futuro del sector y la posibilidad de su articulación con el entorno internacional. Chile tiene poco futuro en la producción y comercialización de trigo de tipo genérico, donde sobreviven sólo aquellos actores que a nivel mundial pueden ofrecer el trigo y sus derivados al menor precio. La posibilidad de orientar una parte importante de la producción nacional en la dirección de las nuevas tendencias del mercado requiere de cambios estructurales en ámbitos claves, que permitirán que el agricultor conozca, antes de sembrar, el uso final de su producción.

El dilema de la calidad.

La forma cómo ha operado la cadena productiva nacional hasta ahora, es concordante con las exigencias de un mercado que demanda un producto primario sin diferenciación. Sin embargo, la producción de trigo de calidad o para un uso específico exige cambios a nivel productivo primario, de organización de la cadena y de su comercialización, incluyendo la necesidad de crear instancias, asumir nuevos roles, nueva infraestructura e incentivos para conectar a los actores con la nueva realidad del consumo. Para ello, es preciso tener consenso sobre una visión común y coherente respecto a tendencias y oportunidades que brinda el mercado y desarrollar un plan estratégico que permita dar solución a los problemas que limitan la oferta de trigo nacional de calidad por parte del sistema productivo chileno.

Urrutia (2005) realizó un estudio que mostró que el mercado chileno de trigo no se ha ajustado a la calidad, característica esencial de los mercados de hoy.

Productos diferentes requieren materia prima diferente. En una presentación realizada por el Molino La Estampa (Seminario: Una Nueva Visión para el Sector Triguero en Chile, Temuco, junio 2005), se mostró que mientras la industria demandaba trigo fuerte o extra fuerte, la oferta entregó trigo principalmente débil o extra débil (Figura 5, Fundación Chile, 2005).

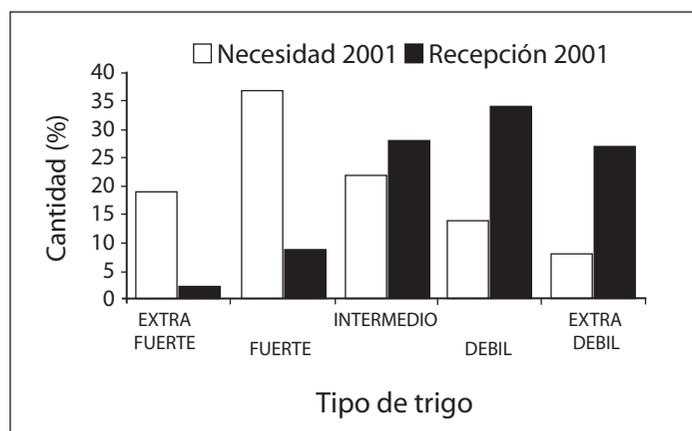


Figura 5: Recepción de trigo según calidad vs. requerimientos del mercado.

Fuente: Molino La Estampa. Presentación Temuco. "La Industria Molinera del Centro: Características Mercado Harina".

El mercado de trigo nacional ha estado orientado esencialmente al consumo interno y la cadena productiva no está estructurada para transmitir las nuevas señales del mercado internacional. No puede por lo tanto esperarse que el sector realice un cambio radical en el corto plazo. Pero si no se realiza el cambio en forma oportuna, consecuente, estructurada y coordinada, aumentará la vulnerabilidad del sector, independiente de situaciones coyunturales de buenos precios como los que hoy se observan. Cuando sea evidente la necesidad de un cambio, ya no existirá la oportunidad de ejecutarlo.

La base genética para realizar el cambio está disponible en el país. Un trabajo realizado recientemente por Fundación Chile, en conjunto con INIA Carillanca y Semillas Baer (Fundación Chile *et al.*, 2006), revisó el comportamiento de variedades en torno a requerimientos específicos de calidad, en este caso medido por el valor W (Explica las propiedades mecánicas de la masa, en términos de su comportamiento frente a diferentes procesos de panificación). El trabajo mostró una correlación entre calidad y rendimiento negativa, a mayor rendimiento, menor calidad (en la variedad Quino, no obstante, se pudo alcanzar un rendimiento de 85 qq/ha. El tema de fondo es que se ha hecho poco fitomejoramiento por calidad).

La Figura 6 muestra la disponibilidad de variedades con valor W alto que permitirían competir bien en el mercado de trigo “corrector”, que tiene un mejor precio. El trigo corrector es utilizado por los molinos para mejorar la calidad de mezclas con bajo valor W que constituyen la oferta mayoritaria. La necesidad de usar estos correctores surge del hecho que la oferta de trigo es genérica y altamente heterogénea en sus cualidades, sin corresponder a las cualidades específicas de cada producto.

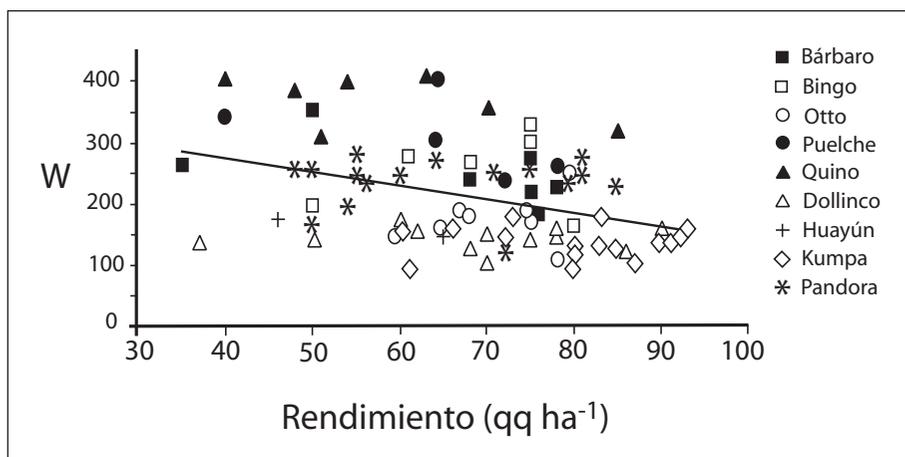


Figura 6: Relación entre W y rendimiento de trigo.

Fuente: Fundación Chile (2006).

Esta situación ha llevado al mercado nacional de trigo al círculo de la calidad: los compradores no pagan por calidad, los productores se orientan al rendimiento y la consecuencia es que la oferta nacional de trigo es considerada como inadecuada por

los compradores. Esto, que en cierta medida se repite en todos los mercados, está llevando a que se redefina la calidad y los compradores comiencen a castigar en el precio aquellos trigos que no cumplen con los requisitos del demandante.

Una adecuada segmentación del mercado según requerimiento de los diferentes productos recomienda generar una infraestructura de guarda segmentada por calidades, permitiendo a cada demandante acceder a la calidad deseada. La solución que se ha desarrollado en Argentina para esta segmentación es la guarda en silos bolsa, consistente en el uso de grandes bolsas de plástico reforzado de fácil instalación con capacidad entre 150 y 200 toneladas de grano, con ciertos cuidados mínimos. Durante el año 2005 en Argentina se guardó en estas bodegas de plástico más de 27 millones de toneladas de grano¹ lo que facilitó enormemente la labor de comercialización de los productos según su calidad. Esta es una solución de bajo costo de operación y que permite guardar el trigo hasta por 14 meses según la experiencia argentina, con el incentivo adicional para el usuario de controlar el producto más allá de la época de cosecha, evitando el precio más bajo pagado en ese momento de exceso de oferta.

Producir calidad.

De la discusión anterior se desprende la necesidad de coordinar la acción de los diferentes actores de la cadena productiva nacional de trigo para tener una visión común y mejorar la calidad del trigo chileno de acuerdo a soluciones que respondan a los problemas del sector. Se debe producir variedades que cumplan con los requisitos de la industria, con incentivos para sembrarlas, eliminando muchas de las variedades actualmente en uso, cumpliendo con nuevos estándares de calidad en un contexto de implementación y seguimiento de un sistema nacional de calidad.

En Chile hay ejemplos de negocios que han logrado una organización suficiente como para poner competitivamente productos en los mercados. Chile ha comenzado a exportar productos lácteos en base a una redefinición de las relaciones sectoriales. Los productores de carne han iniciado exportaciones a mercados exigentes, a pesar de nuestra condición de país importador neto de carne. IANSA logró llevar el rendimiento de remolacha a niveles entre los más altos del mundo. Algunos productores de arroz de la VII Región han logrado exportar partidas a Brasil en base a la calidad del producto nacional y el mercado de este cereal aparece promisorio. El resurgimiento del cultivo del raps en la IX Región, ampliándose después de haber desaparecido completamente de la escena productiva nacional, también refuerza este nuevo escenario.

Estos logros no están exentos de dificultades y los obstáculos a superar son muchos. Las perspectivas de esos rubros son mejores hoy de lo que fueron hasta hace algunos años. La clave está en la articulación de negocios diferentes. Capacidad de tener incentivos adecuados para diferentes actores. Todo ello requiere cambios y acciones simultáneas y coordinadas de los actores, que no pueden dejar la respuesta exclusivamente en manos del mercado.

¹ Presidente de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, comunicación personal.

Rompiendo el Círculo Vicioso.

Los cambios y acciones simultáneas y coordinadas de los actores deben conducirse en un eje ordenador del sector que supere la dispersión de la demanda. Agricultores de vanguardia en conjunto con el Gobierno pueden constituir ese eje inicial de ordenamiento y, actuando con una lógica de *cluster*, avanzar en un diseño de salida del círculo vicioso. Esta aproximación ha sido utilizada en diferentes partes del mundo. El trigo del sur de Chile –al cual se podría agregar otros cereales– tiene características que podrían transformarlo en un sujeto “*clusterizable*”.

Los clusters son “sistemas vivos”, orgánicos, de crecimiento dinámico, que permiten generar un aprendizaje continuo (Figura 7). A través de ellos se busca mejorar la coordinación de los actores de la cadena productiva para bajar costos de transacción en una búsqueda de mayor competitividad del sistema. Ello requiere un conjunto de acciones simultáneas y coordinadas que deben ser cuidadosamente manejadas en los distintos ámbitos según las necesidades o requerimientos exigidos por el mercado, transportando esta señal a lo largo de toda la cadena en un proceso de consenso entre los actores. Usualmente se requiere para su desarrollo del apoyo del sector público que debe facilitar estas acciones proveyendo acceso a infraestructura y a la innovación en todos los ámbitos: organización de la producción, productos y procesos, desarrollo tecnológico, información de mercados, acceso a mercados, comercialización y otros.

Ello sugiere diseñar una entidad con una conformación tripartita (industria, gobierno y sector tecnológico), que asegure la articulación de los actores. Esta entidad podría encargarse de desarrollar un programa de innovación para la cadena completa, lo que significa hacer el diagnóstico y llegar a una visión de consenso acerca de los requerimientos en los diferentes segmentos de la cadena, así como jerarquizar los proyectos de investigación de corto y largo plazo, administrar la cartera de proyectos y estudiar la viabilidad de “joint ventures” con investigadores e inversionistas extranjeros.

Allí los agentes aprenden y generan conocimiento a partir de sus propias prácticas productivas y de la recombinación de sus conocimientos que surgen de los intercambios procesados al interior de su propia red. No obstante, la globalización exige a estos agentes, para pasar a ser una empresa de punta en el mundo actual, adelantarse a los gustos de los consumidores, tener la capacidad de convencer sobre las bondades del nuevo producto y ser capaces de ganar nuevos mercados. Ello requiere de un alerta sobre las futuras necesidades, nuevos conocimientos y tecnologías, capturadas por equipos de profesionales de alto nivel en el país y en distintas partes del mundo.

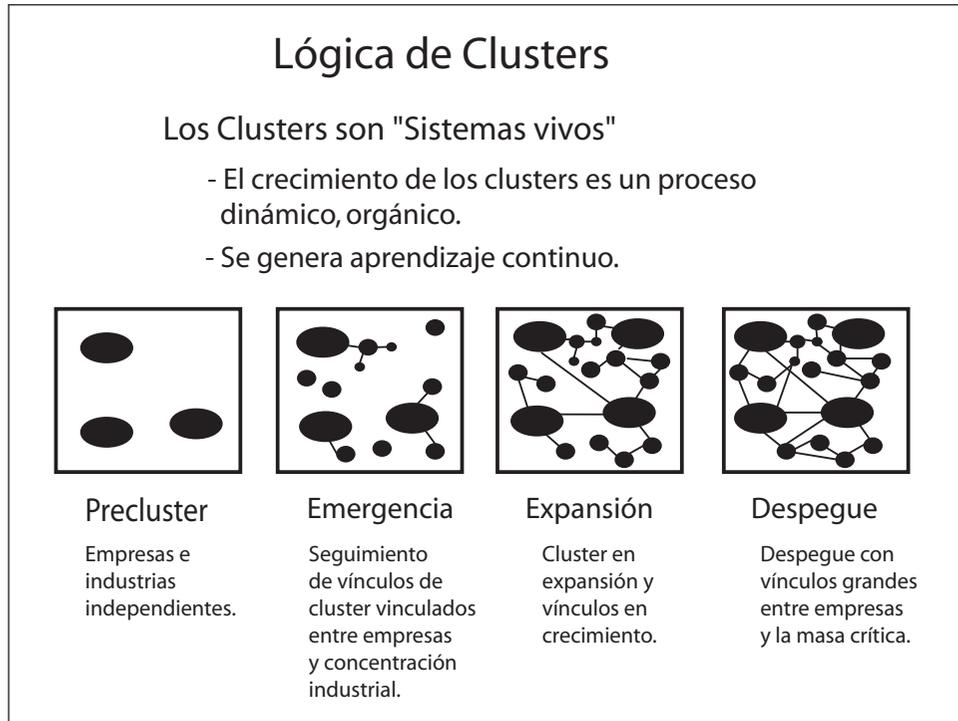


Figura 7: Lógica de Clusters (Fundación Chile, 2006).

Conectividad.

Lo anterior requiere de un nivel distinto de conectividad de los actores. Entre sí y con el sistema global. La innovación requiere conectividad. Allí está la base del cambio de la división internacional del trabajo, la transportabilidad masiva de los servicios, el acceso a la desagregación de las cadenas de valor, acceso a los mercados, al comercio electrónico, trabajo en red. En definitiva, bajar los costos de transacción.

En la sociedad del conocimiento, la inclusión social se mide por el acceso a la banda ancha. Según el Banco Mundial, en 2004 la distribución de Internet rural en Chile permitía acceso a Internet al 1,8% de las empresas del sector rural y 41% de ellas contaba con telefonía móvil. En la IX Región, el acceso a Internet estaba garantizado para el 0,6% y a celular accedía el 29% de las empresas.

No obstante la pobre distribución hacia el sector rural de la inversión en infraestructura de acceso a Internet, el país ha logrado un lugar satisfactorio en el mercado global de los alimentos, aunque ello no garantiza su permanencia en el futuro. Los países competidores mantienen o aumentan sus acciones para recuperar porciones de mercado y sus empresas se movilizan para bloquear el crecimiento de otros a través de la innovación permanente y el desarrollo tecnológico. Saben que el consumidor actual y del futuro requiere productos con mayor valor-conocimiento. El sector triguero nacional puede y debe incorporarse a esta lógica, que también es válida para el mercado interno. Particularmente, cuando la condición de apertura

comercial del país permite –vía conectividad– a cualquiera de los actores de la cadena de valor saltarse a sus proveedores nacionales y acceder a proveedores externos.

Este proceso de incorporación no es posible sin un desarrollo en el ámbito tecnológico, en capacidades profesionales que, insertas en las empresas del sector, las universidades y los institutos tecnológicos, sean capaces de sustentar la innovación permanente y el desarrollo tecnológico del sector alimentario, como las tecnologías de información y comunicaciones (TIC), en gestión y procesos productivos sustentables y amigables con el medioambiente; la biotecnología, que atraviesa todos los recursos naturales. Se requiere de la formación de expertos de nivel mundial en diversas disciplinas que garanticen nuestros productos con su conocimiento incorporado a las empresas, así como la infraestructura científica suficiente para medir adecuadamente la influencia de los procesos. En el sector triguero chileno existe una muy buena base tecnológica y debe efectuarse un diagnóstico exacto de las carencias.

En el pasado Chile recurrió a una estrategia semejante. A mediados de la década de 1960 se firmó un convenio entre el Gobierno de Chile y la Universidad de California, para la formación masiva de profesionales vinculados al ámbito de la fruticultura. Como resultado se obtuvo un desarrollo frutícola que hoy significa una industria exportadora de fruta fresca por más de 2,4 billones de dólares anuales, además de una industria procesadora de alimentos fuertemente vinculada también a la fruticultura, que exporta más de 1 billón de dólares anuales.

¿Es posible pensar que el sector triguero chileno realice este salto? ¿Existe en el sector triguero de Chile, un núcleo de vanguardia capaz de iniciar un proceso de esta naturaleza? Hay agricultores altamente competitivos capaces de lograr rendimientos entre los más altos del mundo. Hay variedades con los mejores índices de calidad que puede requerir la industria. Existe una industria elaboradora entre las más competitivas de América Latina (ALIM, 2006). Hay instituciones tecnológicas con una amplia red de alianzas en el mundo como para acceder a la mejor tecnología disponible. Se tiene un sistema comercial privado capaz de colocar productos de óptima calidad en prácticamente cualquier país del mundo. Hay también demanda de mercados vecinos (Urrutia, 2005) que estamos en condiciones de satisfacer competitivamente en base a calidad. Como lo ha hecho Uruguay con el arroz o con la carne. Como la ha hecho Chile en otros sectores. Falta la decisión de consenso de hacerlo.

Las características de la demanda actual por trigo.

Los productos de nueva generación de la industria de derivados de cereales está en total convergencia con lo señalado al comienzo de este artículo, en el sentido de orientarse hacia las soluciones funcionales que benefician la salud y están acorde con los estilos actuales de vida de la población. En una encuesta realizada recientemente (López, 2006), se encontró que 63% de los consumidores de productos derivados de cereales entrevistados busca alimentos que se etiquetan como “bajo en grasa”; 62% busca “integral” o “con fibra”; 52% busca “bajo en calorías”; 48% busca “bajo en sodio”. Este tipo de comportamiento en los consumidores es lo que ha dado paso al desarrollo de la gama de alimentos funcionales con mezclas de trigo y otros cereales, con la complementación de ingredientes nutracéuticos (López, 2006), basados en

las propiedades antioxidantes y anticancerígenos de los componentes bioactivos del trigo (Figura 8).

En los derivados del trigo se encuentra un conjunto numeroso de componentes bioactivos que permiten ser utilizados en diversos aspectos de la prevención de la salud. Fibras dietéticas, fitoesteroles y fitoestanoles para prevenir enfermedades cardiovasculares, control de hipertensión, omega 3 que ayuda a mantener las funciones mentales y visuales, carotenoides, ácido fólico, un principio antinutricional con acción protectora frente al cáncer y los cálculos renales.



Figura 8: Nuevos productos derivados de cereales.

Fuente: Ximena López, Granotec.

Esta nueva gama de productos se ha logrado con la implementación de un conjunto de tecnologías como la extrusión, cereales inflados, precocidos, masas precongeladas, masas laminadas, masas congeladas sin fermentar, masas precocidas congeladas, uso de enzimas especiales en fermentación que permiten controlar el proceso y otras.

En Chile, la empresa GRANOTEC ha desarrollado un conjunto interesante de productos en esta área, con una creciente actividad exportadora.

Estándares y certificación.

La clave de los mercados internacionales de hoy pasa por la trazabilidad, la certificación de procesos, productos y personas, sobre la base de estándares internacionalmente reconocidos. Certificación de procesos que describe cómo debe hacerse la operación en toda la cadena; documenta el perfil del proceso, otorgando claridad y pertinencia; asegura la calidad de los procedimientos en el proceso vinculado al producto final; todo ello auditable. Certificación de productos que asegura un producto válido y confiable; que certifica el origen y seguimiento del producto; que da seguridad y garantía en el tiempo y que apoya al servicio de

postventa. Certificación de personas en cuanto a estándares de desempeño laboral en las funciones principales de la cadena de valor; facilita gestionar el desempeño; hace visible lo que la gente ya sabe hacer; evaluación de competencias laborales por un tercero, reconocimiento a aprendizaje laboral.

Fundación Chile está trabajando estos temas hace ya algunos años con una reciente inauguración de un moderno laboratorio de metrología química.

Base educacional.

Ya está suficientemente documentada la influencia de la educación en el desarrollo de la productividad del capital humano. Desgraciadamente, también está documentada la mala calidad de la base educacional de los adultos en el país, donde se sabe que el 50% de la población tiene un bajo nivel de desempeño en cuanto a alfabetización funcional (Informe Brunner). Según el Censo del año 2002, el nivel educativo de la fuerza laboral silviagropecuaria, 38% de los trabajadores, es decir, casi 300 mil trabajadores cuentan con educación básica incompleta, frente a un promedio nacional que es de 13,5%.

La capacitación de trabajadores en el sector es altamente insuficiente. En 2004 sólo 7% de ellos accedió a capacitación –algo más de 50 mil– utilizando la franquicia tributaria. La modificación del instrumento SENCE aparece como una prioridad fundamental, en el sentido de acercar este instrumento a los empresarios agrícolas para acelerar el proceso. Como resultado de esta constatación se enfrenta el círculo vicioso de menor empleabilidad y competitividad del capital humano sectorial (Figura 9). El corolario es que no habrá potencia alimentaria sin educación.

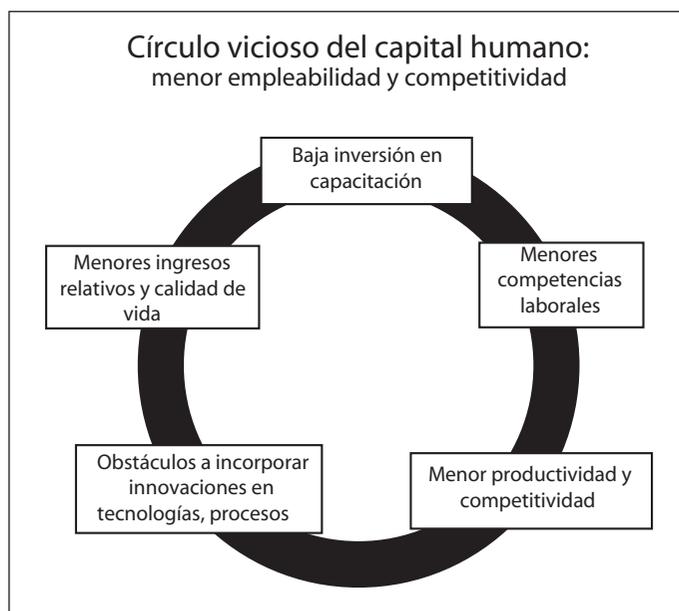


Figura 9: Círculo vicioso del capital humano.

Fuente: Hernán Aranedo, Fundación Chile (2006).

Para enfrentar esta situación, Fundación Chile ha propuesto una concepción estratégica que considera la formación y aprendizaje como procesos que se extienden a lo largo de toda la vida del trabajador, con un enfoque centrado en la demanda y los requerimientos de desarrollo productivo del país (Garretón, 2006). La propuesta considera el liderazgo del sector empresarial con Fundación Chile como articulador. El ejercicio inicial con los sectores productivos, ha llevado a capacitar 17.000 trabajadores en 15 sectores, con la consiguiente retroalimentación al sector educativo, lo que ha significado una considerable inversión pública a través de incentivos a la demanda, con esquemas metodológicos compartidos por todos los sectores, a fin de generar una masa crítica en base a experiencias demostrativas. Un esfuerzo similar se puede emprender en el sector del trigo, sobre la base de una estrategia de consenso entre los actores.

SÍNTESIS

- Chile tiene como meta convertirse en un actor relevante del mercado mundial de los alimentos y ha lanzado el desafío de “potencia alimentaria”. En esto hay una realidad: no hay potencia alimentaria sin trigo. El trigo es la actividad más importante de la agricultura nacional. En el siglo XXI, el Sistema Alimentario será una de las principales articulaciones de la economía chilena con la economía mundial. Eso será a través de agregar valor a los alimentos. Se debe aprender a hacerlo en el sector de los cereales.
- Durante 2006 se realizó un amplio trabajo de consulta a los actores del país alimentario acerca de las prioridades para enfrentar el desafío de potencia alimentaria. El resultado de esa consulta dibuja un espectro de necesidades que apuntan claramente a los estilos de desarrollo del país. Y en el desarrollo del país el trigo es la actividad agrícola más importante. Es una actividad, sin embargo, que requiere ponerse al día respecto de las demandas que enfrenta. y las demandas que enfrenta el sector lo obligan a efectuar una profunda labor de coordinación entre todos los actores, de manera de obtener consenso en una estrategia común de ordenamiento y desarrollo sectorial.
- Chile tiene poco futuro en la producción y comercialización de trigo de tipo genérico, donde sobreviven sólo aquellos actores que a nivel mundial pueden ofrecer el trigo y sus derivados al menor precio. La posibilidad de orientar buena parte de la producción nacional en la dirección de las nuevas tendencias del mercado requiere de una serie de cambios estructurales en ámbitos claves, que permitirán que el agricultor conozca, antes de sembrar, el uso final de su producción.
- La forma cómo ha operado la cadena productiva nacional hasta ahora es concordante con las exigencias de un mercado que demanda un producto primario sin diferenciación. Sin embargo, la producción de un trigo de calidad o para un uso específico exige cambios a nivel productivo primario, de organización de la cadena y de su comercialización, incluyendo la necesidad de crear instancias, asumir nuevos roles, nueva infraestructura e incentivos para conectar a los actores con la nueva realidad del consumo. Para ello, es preciso consensuar una visión común y coherente respecto a tendencias y oportunidades que brinda el mercado y desarrollar un plan estratégico, que permita dar solución a los problemas que limitan la oferta de trigo nacional de calidad.
- Debido a la simultaneidad de los cambios y las acciones que se requieren, no es posible dejar la respuesta en manos exclusivamente del mercado. La supervivencia del sector se basa en la lógica de la coordinación y de una estrategia de consenso. La coyuntura actual de buenos precios internacionales en algún momento puede variar.

LITERATURA CITADA

- ALIM. Asociación Latinoamericana de Industrias Molineras. 2006. Seminario Internacional de Pucón, 2006.
- Censo. 2002. Instituto Nacional de Estadísticas. Disponible en: www.ine.cl
- Fundación Chile. 2005. Seminario "La Calidad: Clave de Competitividad para el Sector Triguero", Temuco, junio de 2005.
- Fundación Chile. 2006. Lógica de Clusters. *In*: Fundación Chile «Estudio en Competitividad en Clusters de la Economía Chilena». Propuesta Licitación Pública.
- Fundación Chile, INIA, Semillas Baer. 2006. Construcción de Estándares de Calidad en Trigo, seminario "Hacia una Producción de Trigos de Calidad". Temuco, agosto 2006.
- Garretón, O.G. 2006. Agenda Alimentaria: Innovación, Producción Limpia y Capital Humano. II Seminario Chile Potencia Alimentaria. 7 de septiembre de 2006 Santiago, Chile. Disponible en www.chilealimentos.com
- Leighton, F. 2006. Programa de Alimentos Mediterráneos, UC.
- López, X. 2006. GRANOTEC, ALIM. 2006.
- Montanari, 2006. Chilealimentos. II Seminario Chile Potencia Alimentaria. 7 de septiembre de 2006. Santiago, Chile. Disponible en www.chilealimentos.com
- Montanari, A. 2007. Chilealimentos. Marzo de 2007.
- Niño, A. 2006. Construcción de Estándares de Calidad en Trigo. Seminario "Hacia una Producción de Trigos de Calidad". Temuco, agosto 2006.
- Schaafsma, G., and Kok, F.J. 2005. Nutritional Aspects of Food Innovations: a Focus on Functional Foods. *In*: Innovation in Agri-Food Systems. Jongen, WMF and Meulenberg, M.T.G. (eds). Wageningen Academic Publ, p. 273.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). 2001. Food and Agricultural Policy: Taking Stock for the New Century. Washington DC, September 2001.
- Urrutia, G. 2005. Una Nueva Visión para el Sector Triguero en Chile. Fundación Chile. 99 p.p. Disponible en: <http://www.agrogestion.cl/publicaciones.cfm>

3

*Trigo candeal en el mundo*¹

M. Nachit.

ICARDA. P.O. Box 5466. Aleppo. Syria. m.nachit@cgiar.org

INTRODUCCIÓN

El trigo candeal o trigo duro (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) se usa principalmente para producir productos específicos tales como pasta, couscous, burghul, frikes y mote, los que no pueden producirse a partir de trigo panadero o trigo blando (*T. aestivum*). Por otra parte, el trigo duro no es adecuado para producir productos que se hacen con trigo panadero. La pasta y couscous dominan en el norte de África y burghul en el Medio Oriente. Las características del trigo candeal para estos productos son un grano muy duro y vítreo con un endosperma amarillo ámbar en contraste con el trigo panadero, incluido el trigo rojo duro de primavera (hard red spring wheat), que es menos vítreo y tiene un endosperma blanco. La pasta de trigo candeal mantiene una textura firme después de cocinada y su color ámbar natural se asocia con pasta de buena calidad. Los tallarines asiáticos (noodles) se hacen con trigo panadero y no con trigo candeal. En los países del Mediterráneo, Europa, USA y Canadá, los productos derivados de la pasta (espaguetis, macarrones y otros), el couscous y el burghul se hacen exclusivamente de semolina de trigo candeal. Aun cuando los avances tecnológicos como el secado a alta temperatura han mejorado la calidad de la pasta producida con trigo panadero, los consumidores prefieren la pasta hecha de 100% trigo candeal. En África del Norte se usa trigo candeal para producir couscous; sin embargo, el trigo candeal también se usa para producir pasta, pan de trigo duro, y frikes (granos verdes secados). En el Medio Oriente (Turquía, Siria, Líbano y Jordania) se usa trigo candeal para producir burghul; pero también se usa una alta proporción para producir pasta, pan de trigo candeal y frikes.

Como resultado de las características de calidad del grano, la demanda del mercado por trigo candeal es muy inelástica, lo que significa que un pequeño desabastecimiento puede resultar en un alto aumento del precio en comparación al trigo panadero y un leve exceso de la oferta puede resultar en una notable baja del precio. Los precios del trigo candeal pueden ser muy altos aun cuando la oferta global de trigo panadero sea alta, dado que muchos consumidores no están dispuestos a cambiar a trigo panadero. Los países de mayor producción de trigo candeal son Canadá, la Unión Europea (UE), USA, Turquía y Siria. El comercio

¹ Texto original en inglés. Traducido por E. Acevedo.

mundial de trigo candeal es de alrededor de 6 a 7 millones de toneladas, siendo los principales exportadores Canadá, la UE y USA.

Producción de trigo candeal de alta calidad.

El grano de trigo candeal de mayor calidad se produce en medio ambientes que tengan un clima relativamente seco, con días cálidos y noches frías durante la estación de crecimiento. El rendimiento del trigo candeal en condiciones de sequía es relativamente alto en comparación a muchos otros cultivos. El trigo candeal producido en condiciones de alta humedad tiende a ser poco vítreo con problemas de brotación y enfermedades fungosas. La producción y consumo de trigo candeal están concentrados en la región del Mediterráneo. El Noroeste de África, Sur de Europa y el Medio Oriente son las principales regiones productoras de trigo candeal, pero su producción se ha expandido a la parte Oeste del estado de Dakota del Norte y a Montana en los USA y a la parte Sur de Saskatchewan y Alberta en Canadá. Sin embargo, las zonas de producción de trigo duro de Norteamérica tienen problemas de Fusarium de la espiga y de brotación del grano. La producción mundial de trigo candeal del año 2005 se estimó en aproximadamente 26 millones de toneladas (Figura 1), valor muy inferior a los 33 millones de toneladas del año anterior. La sequía en la UE y Noroeste de África, que tienen más de la mitad de la demanda global fueron las principales causas de la disminución de la producción global.

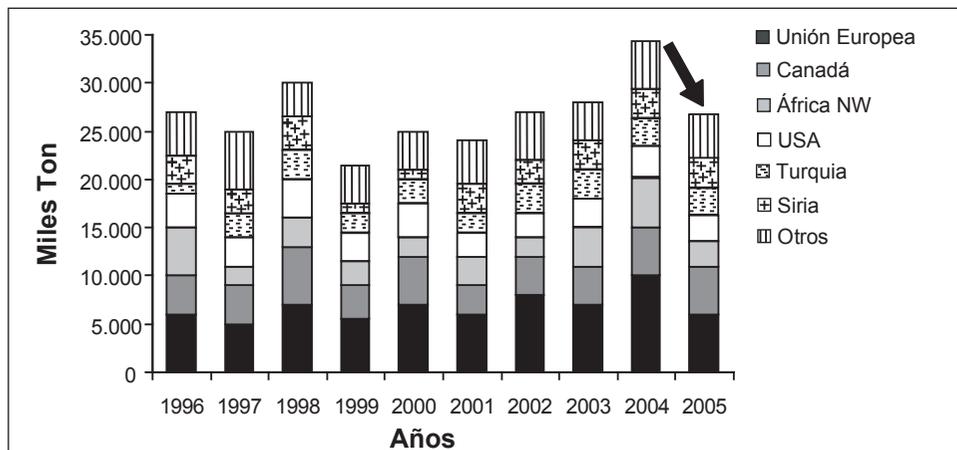


Figura 1: Producción mundial de trigo candeal.

Situación global actual y perspectivas.

La producción mundial de trigo duro en 2005-2006 se estimó en 25,9 millones de toneladas (International Grains Council), un 11% menor que en 2004-2005. Los stocks de los mayores exportadores, Canadá, USA y Unión Europea llegaron a 5,3 millones de toneladas, el valor más alto de la década. Como resultado, el suministro de los tres mayores exportadores no ha cambiado ubicándose 2,1 millones de toneladas sobre la media de los últimos 10 años. La disminución en producción de 2005-2006

se debió fundamentalmente a menores cosechas en la UE, Argelia y Marruecos. La demanda de trigo candeal en 2005-2006 fue menor a la producción, de modo que los stocks de los países exportadores aumentó en 10% (5,9 millones de toneladas), lo que está 45% sobre el promedio de los últimos 10 años. Esto provocó una presión a la baja en el precio global del trigo candeal (Morancho, 2000; Bi-weekly Bulletin, 2000, 2004; AWB, 2006; CWB, 2006; USDA, 2006). Las Figuras 2a y 2b muestran la fluctuación en producción y los efectos de la sequía en la producción del año 2005 en la UE y en Marruecos.

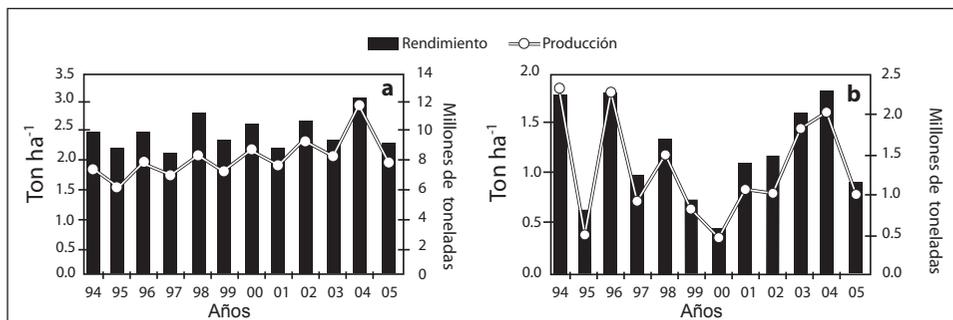


Figura 2: Rendimiento y producción de la UE (a) y Marruecos (b).

Principales países exportadores.

Canadá, USA y UE en conjunto tienen el 60% de la producción global de trigo candeal.

Canadá cultiva alrededor de 2,3 millones de hectáreas con rendimiento promedio de 20 qq/ha. En algunos años la mayor producción se almacena y los stocks pueden llegar a 2,5 millones de toneladas, por lo que la exportación puede llegar a valores mayores, incluso a 8 millones de toneladas. Canadá exporta su producción (incluyendo semolina) principalmente al Noroeste de África. Sus exportaciones a la UE alcanzan sólo a 0,4 millones de toneladas y exporta una cantidad similar a USA. Canadá también exporta a América del Sur y en el conjunto provee a aproximadamente el 50% del Mercado mundial (Morancho, 2000; Bi-weekly Bulletin, 2000, 2004; AWB, 2006; CWB, 2006 y USDA, 2006). La Figura 3 muestra la producción, exportación y stocks de trigo candeal de Canadá para el período 1991-2005.

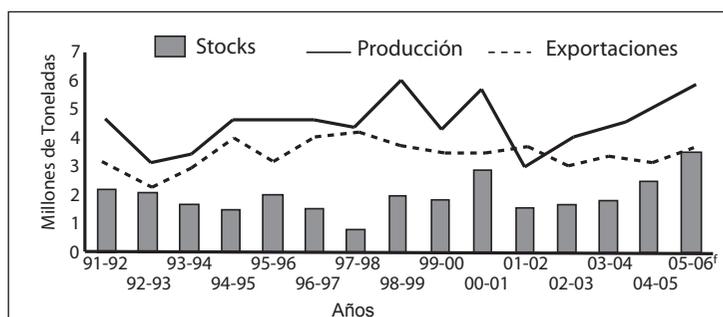


Figura 3: Producción, exportación y stocks de trigo candeal de Canadá para el período 1991-2005.

(f) Pronóstico AAFC, diciembre 2005.

Estados Unidos de Norte América. La producción anual de trigo candeal de USA es de alrededor de 2,5 millones de toneladas y su valor medio de stock varía entre 1 y 1,5 millón de toneladas. La producción de trigo candeal se ha estado desplazando hacia el Oeste debido a problemas de enfermedades en la zona Este de Dakota del Norte. El rendimiento medio de trigo candeal en USA varía entre 1,9 y 2,6 millones de toneladas dependiendo de la cosecha anual. USA exporta entre 0,5 y 1,0 millón de toneladas anuales (Morancho, 2000; Bi-weekly Bulletin, 2000, 2004; AWB, 2006; CWB, 2006 y USDA, 2006).

Unión Europea. Es la mayor zona productora de trigo candeal del mundo, con la producción concentrada en Italia, España, Francia y Grecia (Morancho, 2000; Bi-weekly Bulletin, 2000, 2004; AWB, 2006; CWB, 2006 y USDA, 2006). La UE es también el mayor consumidor y desde los primeros años de la década de 1990 ha sido un importador neto de trigo candeal. El área sembrada con trigo candeal disminuyó en el año 2005 debido a menores rendimientos y a cambios en los programas de apoyo al trigo candeal en el contexto de la Política Agrícola Común (CAP) de la UE que han hecho menos atractivo cultivar trigo candeal en comparación a otros cultivos. Como resultado la producción de la UE bajó en un 34%, a 7,5 millones de toneladas, lo que ha sido parcialmente compensado por los mayores stocks de 1,8 millones de toneladas. En los últimos años las importaciones de trigo candeal por la UE han aumentado de 0,7 a 2,0 millones de toneladas. La UE esta importando grandes cantidades de grano de alta calidad de Canadá, USA y Australia. Las exportaciones de la UE incluyendo semolina fluctúan entre 0,5 y 1,0 millón de toneladas dependiendo de la cosecha del año. Tradicionalmente la producción de trigo duro ha sido un 8% de la producción total de trigo de la UE y está concentrada en sólo unos pocos de los 25 estados miembros, sin que ninguna de las últimas 10 nuevas naciones contribuya una cantidad significativa. Su cultivo se realiza principalmente en los países del Mediterráneo. Los principales productores de trigo candeal en la UE son Italia, España, Francia y Grecia que producen el 48, 22, 18 y 10% de la producción de la UE, respectivamente. Adicionalmente, Austria y Portugal producen uno o dos por ciento de la cosecha total de la UE. En Italia, el productor más grande de la UE, se estima una producción de 4,5 millones de toneladas. En Francia, la producción es de 2,0 millones de toneladas. Grecia produce alrededor de 1,0 millón de toneladas.

Turquía es generalmente el tercer productor de trigo candeal en el mundo luego de USA y Canadá, con una producción de 3,0 millones de toneladas, lo que corresponde aproximadamente al 12% de su producción total de trigo. Turquía no es un exportador importante de trigo candeal y el promedio de exportación en los últimos 5 años fue de 0,1 millón de toneladas. Sin embargo, Turquía tiene una gran industria de pastas y es un gran exportador de pastas. Importa 20.000 toneladas al año de trigo candeal para complementar la producción doméstica, especialmente en aquellos años en que el cultivo local tiene baja calidad (Belaid *et al.*, 2005; Belaid, 2000; CWB, 2006; USDA, 2006).

Siria tiene una producción promedio de alrededor de 2,5 millones de toneladas y ha llegado a ser un exportador significativo de trigo candeal (0,5 a 1,0 millón de toneladas). Se estima que Siria tiene una superficie cultivada con trigo candeal de 850.000 hectáreas con alrededor de un 40% de ésta con riego suplementario. La mayor parte del trigo candeal en Siria se cultiva en la zona norte, en que este cultivo

ocupa aproximadamente el 50% de la producción total de trigo (Belaid *et al.*, 2005; Belaid, 2000; CWB, 2006; USDA, 2006).

México ha duplicado su producción de trigo candeal en los últimos 10 años, de 0,5 millón de toneladas a mediado de los años 1990 a 5,0 millones de toneladas en los últimos 5 años (Morancho, 2000; Bi-weekly Bulletin, 2000; USDA, 2006).

Australia ha subido su producción de trigo candeal de aproximadamente cero en 1990 a 0,5 millón de toneladas en la actualidad. Se ha transformado en un exportador importante a los mercados de Italia y del Norte de África (USDA, 2006).

Kazajistán tenía una producción de trigo candeal de 2,4 millones de toneladas anuales a comienzo de los años 1990 y actualmente se estima en 0,1 millón de toneladas, constituyendo aproximadamente 1% de su producción total de trigo (11,0 millones de toneladas). La caída en la demanda de trigo candeal en los años 1990 produjo una reducción masiva en la superficie cultivada, de aproximadamente 2,0 millones de hectáreas en 1991 a un valor estimado de 0,1 millón en el año 2000. Actualmente el trigo candeal es producido sólo por unas pocas compañías para satisfacer sus propias necesidades, principalmente para producción de macarrones y es poco probable que los agricultores de Kazajistán aumenten la producción en el futuro cercano.

Rusia produce alrededor de 1,0 millón de toneladas de trigo candeal con una superficie sembrada de 1,0 millón de hectáreas. Aproximadamente el 70% del trigo candeal ruso se produce en el Sur del valle del Volga (Orenburg y Saratov Este), el resto se cultiva en Liberia Occidental (Altai Krai).

India produce alrededor de 1,2 millón de toneladas de trigo candeal usándose internamente para la producción de harina "atta". Se cultiva principalmente en la "zona central" (Madhya Pradesh, Gujarat, parte de Punjab, Rajasthan Sur y Maharashtra) en condiciones de secano, con la excepción del trigo candeal que se cultiva en Gujarat, bajo riego. Es posible que se amplíe el cultivo de trigo candeal bajo contrato por lo que la producción puede subir en el futuro.

Argentina produce alrededor de 160.000 toneladas de trigo candeal en 54.000 hectáreas. Se espera que el cultivo de trigo candeal en Argentina disminuya en favor de maravilla y soya. El trigo candeal argentino se cultiva en la parte Sur de la provincia de Buenos Aires y se concentra en la zona de Tres Arroyos.

Principales importadores.

África del Norte. Los cuatro países africanos del Noroeste, Argelia, Marruecos, Túnez y Libia forman el principal mercado importador de trigo candeal del mundo. Las comidas basadas en trigo candeal forman parte de la tradición cultural de estos países y la mayor parte es consumida como couscous y pasta. También se hace pan tradicional con harina de trigo candeal, particularmente en Marruecos. La producción local es insuficiente para sus requerimientos y las importaciones han sido en promedio de 3,0 millones de toneladas por año en los últimos cinco años, lo que representa alrededor del 45% del consumo anual. La producción de grano en esta región depende de las lluvias invernales, a menudo variables, lo que hace que la producción haya variado entre 6,0 millones de toneladas en 1996-1997 a 1,7 millón de toneladas en 2000-2001 durante la década pasada. Las importaciones son,

en promedio, de 3,0 millones de toneladas. La Figura 4 muestra la producción e importaciones de los países del Norte de África (Marruecos, Argelia Túnez y Libia) para el período 1996-2005 (Belaid *et al.*, 2005; Belaid, 2000; Morancho, 2000; AWB, 2006; USDA, 2006).

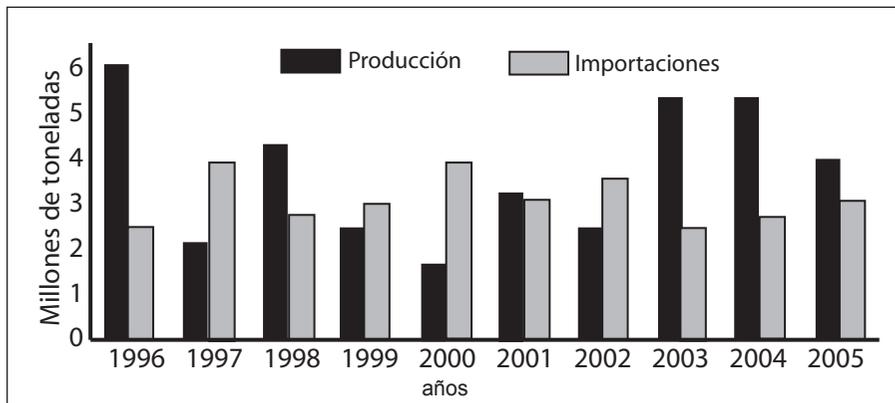


Figura 4: Producción e importaciones de los países del Norte de África (Marruecos, Argelia Túnez y Libia) para el período 1996-2005.

El promedio de producción de Argelia se estima en 1,2 millón de toneladas y el cultivo constituye aproximadamente el 70% del total de trigo. Marruecos produce anualmente del orden de 1,2 millón de toneladas en promedio, lo que constituye aproximadamente un tercio de la producción de trigo. En Túnez la producción es de aproximadamente 1,0 millón de toneladas, lo que constituye el 80% del cultivo de trigo (Bi-weekly Bulletin, 2000, 2004; AWB, 2006; USDA, 2006).

Otros importadores.

Los otros principales importadores de trigo candeal son Japón, Venezuela, Perú y Chile (CWB, 2006; USDA, 2006). Los países sudamericanos constituyen un mercado potencial de crecimiento para trigo candeal. En muchos de estos países la pasta se ha producido con trigo panadero duro. A esta región se exportan alrededor de 0,6 millón de toneladas. Las importaciones de trigo candeal de Japón han sido del orden de 0,2 millón de toneladas en la década pasada. Canadá provee la mayor parte del trigo importado por Japón.

SÍNTESIS

- Aun cuando los avances tecnológicos como el secado a alta temperatura han mejorado la calidad de la pasta producida con trigo panadero, los consumidores prefieren la pasta hecha de 100% trigo candeal.
- En África del Norte se usa trigo candeal para producir couscous; sin embargo, el trigo candeal también se usa para producir pasta, pan de trigo duro, y frikes (granos verdes secados). En el Medio Oriente (Turquía, Siria, Líbano y Jordania) se usa trigo candeal para producir burghul; pero también se usa una alta proporción para producir pasta, pan de trigo candeal y frikes.
- El grano de trigo candeal de mayor calidad se produce en medio ambiente que tiene un clima relativamente seco, con días cálidos y noches frías durante la estación de crecimiento.
- La producción y consumo de trigo candeal están concentrados en la región del Mediterráneo. El Noroeste de África, Sur de Europa y el Medio Oriente son las principales regiones productoras de trigo candeal.
- Canadá, USA y UE en conjunto tienen el 60% de la producción global de trigo candeal.
- Los cuatro países africanos del Noroeste, Argelia, Marruecos, Túnez y Libia forman el principal mercado importador de trigo candeal del mundo.

LITERATURA CITADA

- Belaid, A., Nsarellah, N., Laamari, A., Nachit, M. and Amri, A. 2005. Assessing the Economic Impact of Durum Wheat Research in Morocco. ICARDA, Aleppo, Syria, v50p. ISBN: 92-9127-168-1.
- Belaid, A. 2000. Durum wheat in WANA: production, trade, and gains from technological change. *In: Royo, C.; MM. Nachit; N. DiFonzo; JL. Araus. (Eds.) Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. CIHEAM, Options Méditerranéennes. P.: 35-49.*
- Morancho, J. 2000. Production and marketing of durum wheat worldwide. *In: Royo, C.; MM. Nachit; N. DiFonzo; JL. Araus. (Eds.) Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. CIHEAM, Options Méditerranéennes. P.: 35-49.*
- Bi-weekly Bulletin. 2000. Durum wheat. Vol 13, No.11.
- Bi-weekly Bulletin 2004. Durum Wheat: 2002-2003 Situation and 2003-2004 Outlook. Volume 16 Number 11.
- AWB. 2006. Durum Market Report 14/09/2006.
- CWB. 2006. Durum report.
- USDA. 2006 report. Drought in EU, Northwest Africa Cause Global Durum To Sharply Drop in 2005/06.

4

Situación actual y perspectivas de mercado para el trigo candeal en Chile

D. Galarce.

Área Agroindustria Fundación Chile. Casilla 773. Santiago, Chile. dgalarce@fundacionchile.cl

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el trigo ha dejado de ser un producto genérico, presentando cada vez mayor diferenciación a nivel de producto, con especificidades a nivel de parámetros físico-químicos asociados a la capacidad de generar a partir del grano, productos derivados de calidades previamente definidas.

En este mercado, el trigo candeal ha pasado a ser un bien bastante escaso a nivel mundial, con zonas agroclimáticas de producción bastante acotada, asociadas principalmente a climas mediterráneos, lo que ha redundado en una alta concentración de la oferta de candeal diferenciado por nivel de proteínas, gluten, vitreosidad del grano, necesario para generar pastas (principal producto derivado) de calidades homogéneas y asociadas a los requerimientos del cliente final.

Los grandes productores a nivel mundial se destacan por generar una propuesta de valor bien definida a sus clientes, en términos de ofrecer un trigo de características especiales y de calidad muy homogénea lo que asegura una materia prima estandarizada para el proceso productivo, reduciendo costos de acondicionamiento del grano, que son muy comunes en el caso de trigo candeal de menor calidad u homogeneidad. Para cumplir con la propuesta de valor, los oferentes realizan una adecuada clasificación de la producción de candeal y dentro de cada clase generan un sistema de graduación que acota niveles de proteína, gluten, vitreosidad del grano, entre otros, lo que asegura al comprador que está adquiriendo los atributos físico- químicos que requiere. Canadá y EE.UU., que respectivamente concentran un 45% y 10% de la participación de mercado a nivel mundial, son los mejores ejemplos de sistemas de clasificación para trigo candeal.

El mercado del trigo candeal a nivel mundial se asocia principalmente a su consumo para la elaboración de pastas y couscous (gránulos de semolina de trigo candeal) y fluctúa en torno a 7 millones de toneladas anuales, siendo los principales polos de consumo la Unión Europea (gran consumidor de pastas) y el Norte de África (Argelia, Túnez, Marruecos, Libia, etc.) grandes consumidores de couscous. Si bien el mercado no muestra un alto dinamismo en términos de su evolución, existe una

demanda estable, muy asociada a la oferta de grano a nivel mundial, lo que genera que el producto presente las características de trigo Premium por sus cualidades únicas para la generación de sus productos derivados, presentando un importante diferencial de precios respecto a trigos de panificación comunes.

En América Latina, Perú y Venezuela presentan volúmenes de importación atractivos, que sumados podrían estar anualmente en torno a las 500.000 toneladas. La posibilidad de exportar trigo candeal chileno a estos destinos resulta atractiva, principalmente por la distancia geográfica, bastante más abordable que aquella asociada a Europa o el Norte de África. No obstante, cualquier opción de exportación, implica cumplir con requisitos mínimos de homogeneidad de la oferta que permitan cumplir con la propuesta de valor que se ofrece al cliente, asociada a un trigo de características bien definidas, lo que en este momento, por un sinnúmero de factores, el trigo candeal nacional difícilmente puede cumplir.

En Chile existe el potencial agroclimático para producir trigo candeal de excelente calidad, en términos de altos niveles de proteínas, gluten, vitreosidad, etc., ya que posee uno de los cinco ecosistemas de clima mediterráneo existentes en el mundo, los cuales son el hábitat óptimo para la producción de esta especie. No obstante, la alta atomización de la oferta, unida a la falta de infraestructura de acopio a nivel predial, redundando en una oferta altamente heterogénea que incluso no permite satisfacer los requerimientos de la industria nacional, lo que resta posibilidad –en las condiciones actuales– a cualquier esfuerzo exportador.

No obstante lo anterior, con posterioridad al año 1997, donde la superficie de trigo candeal prácticamente se extinguió en Chile, ha surgido a nivel nacional una interesante economía de contratos entre la industria de pastas (con dos principales empresas que concentran el 90% del mercado) y productores de trigo candeal chileno, lo que ha permitido aumentar la competitividad del cultivo, disminuir la brecha tecnológica entre productores pequeños, medianos y grandes, y por último satisfacer de manera creciente las necesidades de la industria nacional, aun cuando falta camino por recorrer en cuanto a la homogeneidad de la oferta.

La capacidad de la institucionalidad público–privada para aprovechar, promover y potenciar esfuerzos de encadenamiento productivo como el anteriormente señalado, será la base para elevar la competitividad del trigo candeal en Chile, permitiendo incluso pensar en una posible internacionalización del cultivo a futuro.

Este capítulo, entrega una caracterización de la cadena de valor del trigo candeal en Chile y el mundo, entregando antecedentes asociados al sector primario, industrial y de consumo final, que puede constituir una buena base para comprender la dinámica del sector en Chile, sus debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades en un contexto de mercado globalizados.

MERCADO INTERNACIONAL

Producción mundial de trigo candeal.

El trigo candeal de buena calidad es producido en regiones que tienen un clima relativamente seco, con días calurosos y noches frías durante la temporada de crecimiento. En este hábitat es donde se obtienen los mejores rendimientos y la mayor

expresión de los atributos físico-químicos que lo caracterizan. Por el contrario, bajo condiciones húmedas tiene un bajo índice de grano duro y vítreo, así como también una mayor propensión a la germinación y a enfermedades fungosas. Por lo anterior, la producción ha estado históricamente concentrada en regiones mediterráneas, como el Norte de África, Suroeste de Europa, Turquía y Siria, extendiéndose sin embargo hacia América del Norte (Canadá y USA). Canadá se ha convertido en el mayor oferente mundial de trigo candeal. Este ha sido el resultado de una estrategia de largo plazo impulsada por el Canadian Wheat Board (CWB), que ha abordado aspectos de producción, financieros y de marketing.

La producción mundial promedio de trigo candeal en los últimos diez años fue de 27 millones de toneladas, lo que representa entre 4 - 5% de la producción anual de trigo, que es de 620 millones de toneladas.

Las características climáticas necesarias para la producción de trigo candeal de óptima calidad restringen la diversidad de potenciales regiones y países productores a aquellos que cuentan con características propias del clima mediterráneo o similar. Lo anterior implica que existe una concentración de la producción. La producción de trigo candeal se concentra en los países mediterráneos de la Unión Europea (Italia, España, Francia y Turquía) con 33% de la producción, países de Norteamérica (Canadá y USA) con 23% y países del Norte de África y alrededores (Marruecos, Argelia, Túnez y Siria) cuya producción representa un 21% del total mundial. Hay también productores emergentes, como son países de Europa del Este (Rusia, Kazajistán y otros), que aprovechan economías de escala derivadas de grandes extensiones de terreno y que les permiten producir a bajo costo, tornándose altamente competitivos en los mercados internacionales de commodities.

La alta importancia relativa de Italia se asocia a la industria elaboradora de pastas. De la misma manera, la importante producción que tienen países como Turquía, Siria y Argelia se explica por la utilización de este producto en la elaboración de couscous.

La producción de trigo candeal en el año 2004 llegó a 33 millones de toneladas (Figura 1) disminuyendo en el 2005 a 26 millones de toneladas, es decir una contracción del 21% que terminó con una tendencia al alza que había mostrado la producción de este cereal entre 2001 y 2004. La sequía registrada en la Unión Europea y el Noroeste de África, que satisfacen más de la mitad de la demanda de las importaciones, contribuyó a disminuir la oferta mundial. Además, el crecimiento de los stocks, en Europa y Norteamérica y menor precio del producto en la temporada anterior desincentivó la siembra.

La evolución errática en la producción mundial de trigo candeal es una situación habitual de este mercado. La intención de siembra está altamente relacionada a la experiencia comercial de la temporada anterior y los cambios climáticos impactan abruptamente la productividad del cultivo.

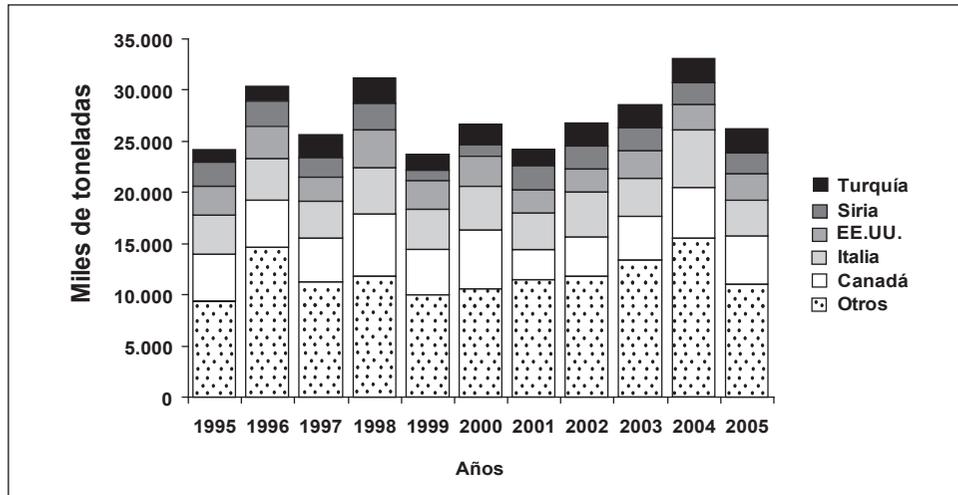


Figura 1: Evolución producción de trigo candeal – período 1995/05.

Fuente: United States Department of Agriculture. USDA.

Principales oferentes.

El comercio internacional de trigo candeal ha fluctuado en las últimas temporadas entre 6 y 7 millones de toneladas métricas al año, equivalentes al 20% de la producción mundial. El principal oferente internacional ha sido Canadá, concentrando en la temporada 2004/05 un 45% de las exportaciones, seguido por la Unión Europea con un 18% y Estados Unidos con un 11%. No obstante, Canadá ha ido perdiendo participación ante países exportadores emergentes. La Figura 2 muestra que en la temporada 1995/96 Canadá concentraba un 62% de la oferta exportadora, comparado al 45% que tuvo en la última temporada analizada. Lo anterior se repite en menor escala para USA.

Ambos países han debido ceder participación en favor de la Unión Europea, que durante 2004 integró a un importante número de países de Europa del Este (Estonia, Letonia, Lituania, Polonia y otros, miembros de la ex Unión Soviética), los cuales entraron activamente al mercado internacional de commodities agrícolas. De la misma manera, otros países europeos como Rusia y Kazajistán, también figuran como oferentes emergentes en el mercado, impactando la participación de los oferentes tradicionales.

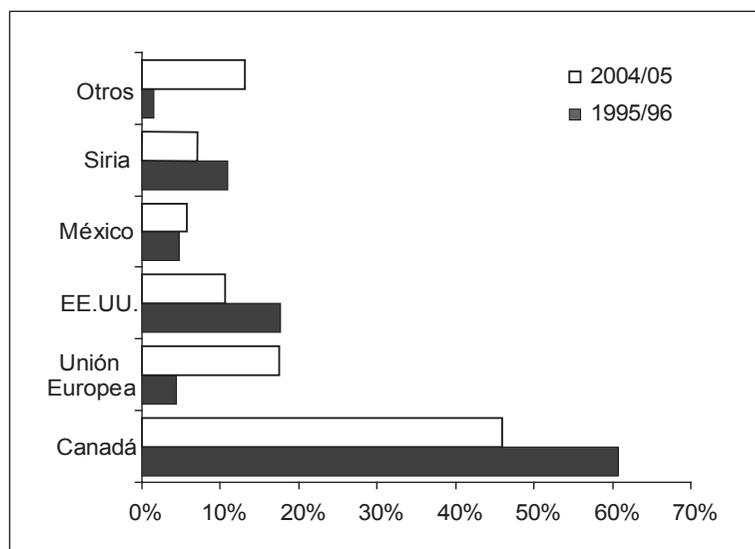


Figura 2: Principales exportadores de trigo candeal durante las temporadas 1995/96 y 2004/2005.

Fuente: Agri Food Canada.

Canadá. Los principales compradores de trigo candeal valoran la oferta canadiense por la seguridad de tener alta calidad de grano y homogeneidad en el tiempo. En los últimos diez años, Canadá ha producido en promedio 24,5 millones de toneladas anuales de trigo (incluidas las dos especies), de las cuales 4,7 millones corresponden a trigo candeal, equivalente a un 19% del total, siendo el mayor productor y oferente de trigo candeal a nivel mundial.

Como consecuencia de la entrada de nuevos actores al mercado internacional, Canadá optó por diversificar su mercado de exportación. En la temporada 95/96, Argelia e Italia absorbieron en conjunto 44% de los envíos canadienses de trigo candeal, lo que en la temporada 2004/05 disminuyó a 30%. En esta última temporada, otros destinos como Japón, Marruecos, USA y Venezuela tuvieron una participación relativa mayor (Figura 3).

Canadá ha realizado un importante trabajo de marketing (con énfasis en la generación de marcas) en distintas regiones del mundo, promocionando su producto con base en la calidad y la homogeneidad de éste, como atributos relevantes para el comprador.

El Canadian Wheat Board, en alianza con el Gobierno de Canadá, realiza todos los años un programa de fidelización de sus compradores de trigo candeal, invitando a sus representantes a plantas piloto de pasta en Canadá, de modo de conocer la calidad del producto final derivado del trigo candeal canadiense (Cuadro 1).

Se plantea que el producto ofrecido por Canadá es una suma de tres conceptos; alto contenido de proteína, calidad óptima de la proteína y una distribución pareja de calidad y cantidad de la proteína en todo el volumen transado bajo una denominación o grado específico. Todo esto es posible sólo en base a una estricta

separación por características físico-químicas comunes, desde el predio hasta el puerto de salida del producto, lo que constituye uno de los ejes centrales de la política hacia la calidad del CWB.

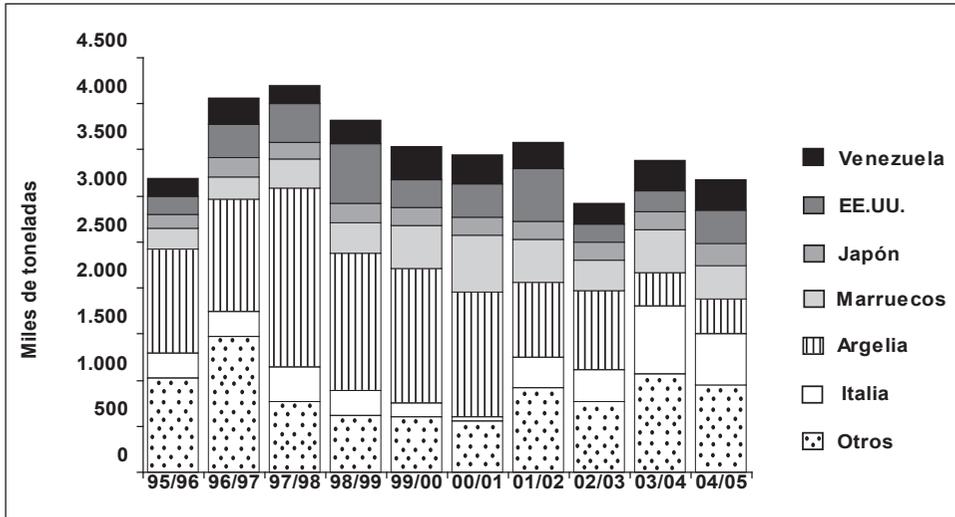


Figura 3. Canadá: Evolución exportaciones trigo candeal por destino.

Fuente: Canadian Wheat Board, 2005.

Características de la clase Canada Western Amber Durum Wheat (CWAD):

- Los grados más altos del trigo candeal canadiense, poseen altos niveles de granos vítreos, lo que asegura una semolina de mayor calidad.
- Las variedades de CWAD poseen el contenido de pigmento amarillo necesario para elaborar productos (pastas) con color amarillo brillante.
- Las variedades CWAD poseen un gluten fuerte y elástico, dos características que aseguran un adecuado comportamiento de las pastas a la cocción.
- Existe legislación que restringe el estándar varietal para las clases de CWAD, lo que asegura una mínima variabilidad del trigo candeal canadiense en cuanto a su comportamiento agronómico y atributos físico químicos finales.

Sistema de Control de Calidad:

El sistema de control de calidad de trigo en Canadá, es el valor agregado que el comprador está dispuesto a pagar por dicho trigo candeal. Este sistema se basa en cuatro pilares fundamentales:

- Registro varietal y rendimiento funcional. Implica que antes de ser registrada, una variedad debe ser evaluada a nivel agronómico e industrial, para no alterar significativamente las características de la clase (CWAD) en cuanto a calidad y comportamiento agrícola.
- Sistema de Graduación. Consiste en segregar -dentro de la clase (CWAD)- trigos de distintas características, maximizando la homogeneidad de cada grado y la calidad del producto final comercializado.
- Uniformidad. A partir del mismo sistema de graduación, se minimiza la

variabilidad que se puede producir por trigos de distinto origen, para lo cual existe un exhaustivo sistema de muestreo y análisis en puerto de exportación, que deriva en un certificado de la Canadian Grain Commission (laboratorio de referencia).

- Limpieza y Seguridad Alimentaria. A través de inspecciones exhaustivas, la Canadian Grain Commission monitorea que el CWAD presente mínimos niveles de enfermedades e impurezas que lo convierten en el más limpio del mundo, permitiendo a los procesadores reducir costos de acondicionamiento de materia prima.

Cuadro 1. Canadá: Ejemplo parámetros de calidad para trigo candeal.

Parámetro de calidad	N°1 CWAD*			N°2 CWAD		
	2003	2002	1993-02 Promedio	2003	2002	1993-02 Promedio
Trigo						
Peso hectolitro, kg/hL	82,3	81,8	82,3	81,5	80,6	82,0
Peso de 1000 grano, g	40,0	44,4	42,5	40,3	43,4	42,6
Granos vitreos, %	90	86	88	84	76	78
Contenido de proteína, % (base materia seca)	13,6	14,2	12,8	13,5	13,4	12,3
SDS sedimentación, mL	43	33	36	42	29	33
Contenido de cenizas, %	1,48	1,60	1,56	1,64	1,65	1,62
Contenido de pigmentos amarillos, ppm	9,1	7,8	8,4	8,8	7,7	8,3
Falling number, s	420	330	405	400	280	375
Rendimiento de molienda, %	74,1	75,8	74,4	74,0	75,9	74,5
Rendimiento de semolina, %	65,4	66,3	66,1	66,0	66,4	65,7
PSI, %	37	38	38	38	38	38
Semolina						
Contenido de proteína, %	12,5	13,1	11,8	12,4	12,1	11,3
Contenido de gluten húmedo, %	32,4	34,8	32,3	31,3	33,0	30,8
Contenido de gluten seco, %	11,6	12,1	11,7	10,5	11,5	11,4
Gluten index, %	21	26	28	37	30	26
Contenido de cenizas, %	0,62	0,67	0,65	0,66	0,67	0,66
Contenido de pigmentos amarillos, ppm	8,7	7,6	7,8	8,4	7,1	7,6
Color AGTRON, %	86	76	80	83	76	79
Color Minolta:						
Brillo, L*	87,8	87,3	88,0	87,4	87,4	87,9
Intensidad de rojo, a*	-2,8	-3,0	-3,1	-2,8	-2,9	-3,2
Intensidad de amarillo, b*	34,2	31,6	33,0	33,6	30,1	32,4
Número de manchas por 50 cm ²	18	30	25	22	38	30
Falling number, s	530	370	480	490	355	450
Alveograma						
Largo, mm	106	81	86	108	81	87
P (Altura x 1,1), mm	47	61	49	45	59	47
P/L	0,4	0,8	0,6	0,4	0,7	0,5
Wx10 ⁻⁴ Joules	122	131	113	117	125	106
Espaguetei secado a70°C						
Color Minolta:						
Brillo, L*	77,8	75,6	78,3	77,2	75,3	78,0
Intensidad de rojo, a*	2,5	2,9	2,0	2,7	3,5	2,2
Intensidad de amarillo, b*	68,6	60,8	66,6	67,7	60,5	67,4
Firmeza, g-cm	1012	1086	929	930	983	879

*Canada Western Amber Durum Wheat

Fuente: Canadian Wheat Board.

Estados Unidos (USA). Es el segundo mayor productor y oferente mundial de trigo candeal, después de Canadá, sin considerar al bloque de la UE. La producción total de trigo es de alrededor de 60 millones de toneladas métricas, de las cuales el trigo candeal representa el 4%. Para enfrentar la entrada de nuevos competidores, USA ha realizado una diferenciación por calidad, basada en atributos específicos demandados por los consumidores, que se relaciona con un producto homogéneo dentro de ciertas clases y grados.

A diferencia de Canadá, USA se ha orientado hacia una mayor concentración, tratando de aumentar su presencia en mercados prioritarios como Italia, Argelia, México y Venezuela (Figura 4).

La propuesta de valor de USA se basa en la oferta de un producto de calidad integral, intentando disminuir al máximo la variabilidad en aspectos físico-químicos, para lo cual se definen por temporada hasta 5 grados dentro de la clase "candeal". Al cabo de cada cosecha se establecen valores asociados a cada parámetro de calidad en función de un análisis a nivel nacional que define la oferta de calidad de la temporada, con mínimas variaciones al interior de cada grado (Cuadro 2).

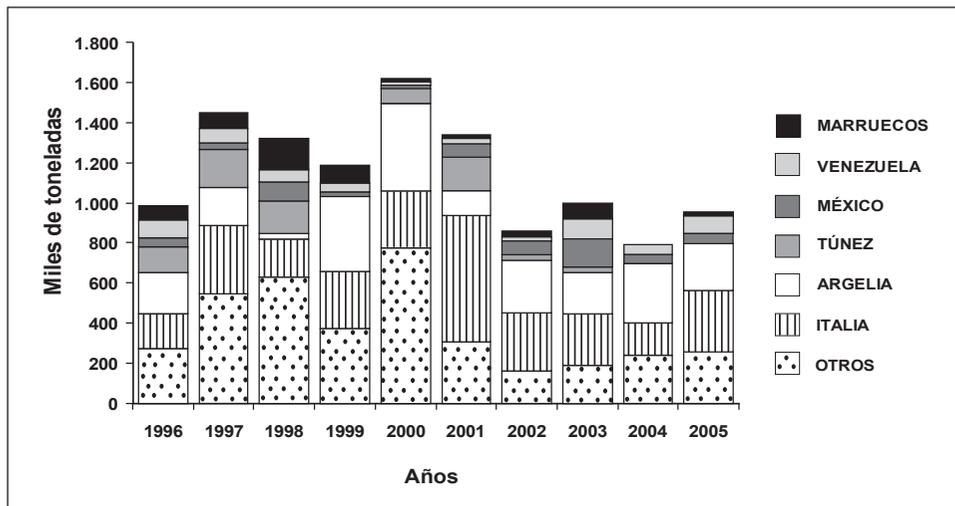


Figura 4: USA: Evolución Exportaciones Trigo Candeal por Destino.

Fuente: FAS USDA.

Cuadro 2. USA: Ejemplo Parámetros de Calidad para Trigo Candeal.

Durum	Datos de cosecha				Datos de Exportación			
	Grandes Planicies		Pacífico Sudoste		Grandes Planicies		Pacífico Sudoste	
	2005	2004	Promedio 5 años	2005	2004	2003	2004	2003
Wheat Grade Data								
Peso hectolitro (lb/bu)	60.8	61.7	60.0	62.2	62.2	60.8	62.5	62.9
Peso hectolitro(kg/hL)	79.2	80.3	78.2	81.0	81.0	79.2	81.4	81.9
Granos dañados (%)	0.8	0.3	2.0	0.2	0.2	2.5	0.8	0.7
Material extraño (%)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2
Chupados y partidos (%)	1.4	0.9	1.5	1.5	0.4	1.2	0.6	0.6
Defectos totales (%)	2.2	1.2	3.6	3.6	1.0	3.6	1.5	1.5
Clases contrastantes (%)	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.9	0.3	0.3
Granos vitreos (%)	91.0	89.0	85.8	85.8	97.8	84.0	96.0	93.0
Clase	1 HAD	1HAD	2 HAD	1 HAD	1 HAD	2 HAD	1 HAD	1 HAD
Wheat Non-Grade Data								
Capotillo (%)	1.5	1.2	1.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5
Humedad (%)	12.5	12.5	11.5	7.1	6.6	11.1	7.6	7.6
Proteína (%) base 12%/0% Hum.	13.4/15.2	13.4/15.2	1.41/16.0	14.3/16.2	14.0/15.9	14.4/16.3	13.8/15.7	13.3/15.1
Cenizas (%) base 14%/0% Hum.	1.67/1.94	1.50/1.75	1.62/1.89	1.73/2.00	1.75/2.04	1.52/1.77	1.62/1.88	1.6/1.86
Peso 1.000 granos (g)	35.5	40.2	36.2	48.9	48	35.4	49.4	48.9
Tamaño del grano (%) lg/md/ism	51/40/9	60/36/4	52/41/7	92/8/0	93/7/0	44/49/9	88/10/2	82/15/3
Falling Number (sec)	378	356	322			376	1511	876
Sedimentación (cc)	45	49	46					
Datos de Semolina								
Extracción total (%)	73.1	71.2	69.9	78.0	74.0	69.1	73.7	71.8
Extracción de semolina (%)	66.4	64.3	63.5	65.9	62.2	64.6	66.4	64.9
Cenizas (%) base 14%/0% Hum.	0.71/0.83	0.64/0.74	0.69/0.8	0.84/0.98	0.80/0.93	0.67/0.78	0.69/0.8	0.66/0.77
Manchas (n°/10 sq in)	19	20	22	17	14	17	17	19
Proteína (%) base 12%/0% Hum	12.6/14.6	12.4/14.5	13.1/15.2	13.1/15.2	12.7/14.7	13.4/15.6	12.6/14.7	12.1/14.1
Gluten húmedo (%)	35.0	35.0	36.6	34.8	36.2			
Gluten index	45.0	43.7	37.3			37.8	80.8	76.6
Mixograph Classification	6.0	6.0	5.8			5.3	7.1	6.7
Alveograma: P (mm)	39	44	37					
L (mm)	64	90	100					
W (10 ⁻⁴ Joules)	69	96	83	170	164			
Color: L*	85.0	84.9	84.4			84.9	84.6	84.9
A*	-2.9	-2.9	-2.8			-2.6	-2.6	-2.7
B*	26.1	25.9	27.3	26.1	27.0	25.9	26.2	25.7
Datos de espagueti procesado								
Puntaje color	9.4	8.9	9.0	8.9	9.0	9.0	9.0	9.2
Peso después de cocido (m)	30.8	30.5	31.1	29.9	29.9	30.8	31.1	31.1
Pérdida al cocer (%)	6.1	5.9	5.8	7.6	7.2	5.5	6.0	5.8
Firmeza de cocción (g cm)	5.6	5.4	6.0	7.6	7.9	5.9	5.8	5.4
N° de muestras						23	16	26

Fuente: U.S. Wheat Associates.

Argentina. La producción argentina de trigo candeal es baja en comparación con la de trigo harinero, no superando el 1% de la producción de trigo pan, el cual correspondió a 128.580 toneladas en la temporada 2005/2006.

Más allá de la superficie o la escala productiva argentina para el trigo candeal, destaca el hecho que este país no tiene clima adecuado para la producción de este tipo de trigo de alta calidad. La alta humedad ambiental que provoca el “amarengamiento” del grano genera un grano opaco. Esto es contrario a lo que exige el mercado, que es un grano de color amarillo intenso, translúcido, sin materias extrañas, residuos de afrecho o puntas negras que originan manchas en la pasta.

Demanda por trigo candeal

El trigo candeal es el más duro de los trigos, tiene alto contenido de gluten y un color ámbar altamente demandado, que lo ubica dentro del “estándar de oro” para la elaboración de pastas, couscous y algunos tipos de pan mediterráneos.

La aparición de nuevas tecnologías de proceso ha permitido aumentar gradualmente la tasa de inclusión de trigo de panificación en la elaboración de productos tradicionalmente derivados del trigo candeal, sin embargo, la creciente valoración del consumidor por atributos o características sensoriales de calidad, como el sabor, el color y la consistencia del producto, han llevado a que en la actualidad exista una diferenciación importante de los productos elaborados con un 100% de trigo candeal.

Demanda a nivel mundial

Las importaciones globales de trigo candeal fluctúan anualmente entre 6 y 7 millones de toneladas. Los principales importadores durante la temporada 2004/2005 fueron el Norte de África (Argelia, Marruecos, Túnez y Libia) con un 35% y la Unión Europea (Italia, España, Bélgica y Alemania) con un 25%, USA con un 11%, Venezuela con un 6% y Japón con un 3%.

El volumen importado por la Unión Europea se asocia a un consumo creciente de pastas y una oferta acotada de materia prima, dada la escasa superficie cultivable.

La producción de trigo candeal del Norte de África está supeditada a la presencia de inviernos lluviosos generando alta variabilidad de la oferta, la cual es insuficiente para satisfacer su demanda. El volumen de importación alcanza 3 millones de toneladas anuales (promedio últimos 5 años) (Figura 5), lo que representa el 45% del consumo interno anual.

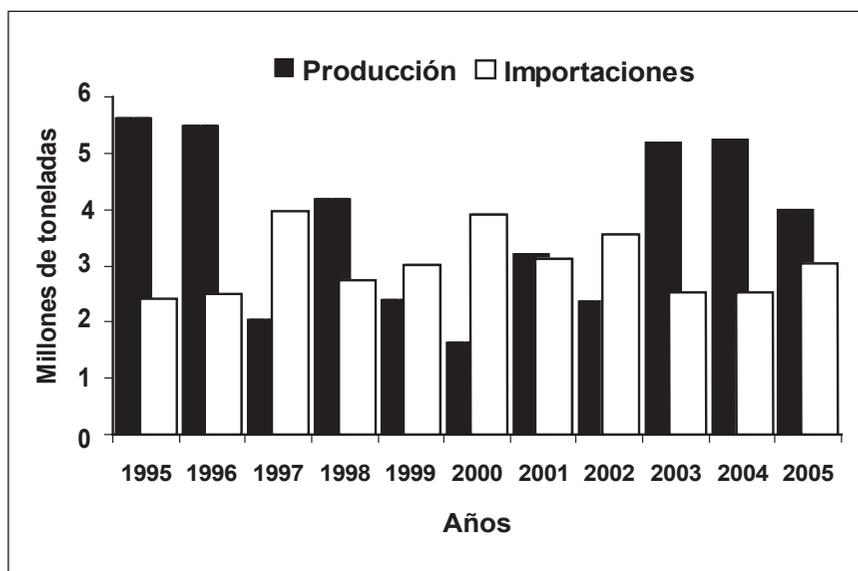


Figura 5: Norte de África (Marruecos, Argelia, Túnez y Libia): Producción v/s Importaciones.

Fuente: Agriculture and AgriFood Canada.

Otros países que muestran volúmenes interesantes de importación de trigo candeal son USA, Venezuela, Japón, Irán y Perú. Se proyecta que en los próximos cinco años, la demanda por importación de candeal crecerá fuertemente en los países sudamericanos, como Brasil, Venezuela, México y Chile, asociado a un aumento en los ingresos y una mayor discriminación por parte del consumidor en estos mercados, exigiendo pastas elaboradas en un 100% con trigo candeal.

Demanda en América Latina.

Los principales importadores latinoamericanos de trigo candeal son Venezuela y Perú, los que podrían ser potenciales clientes del trigo candeal chileno. La demanda anual es de 350.000 toneladas para Venezuela y 120.000 toneladas para Perú (Figura 6). Es de interés prospectar estos mercados con el fin de definir su potencial como nichos de exportación, pudiendo llegar a complementar la demanda ya existente por trigo candeal a nivel nacional.

El principal proveedor de Venezuela es Canadá, con un 82% de sus compras, alcanzando el año 2004 a las 330.000 toneladas. Para igual período, Canadá suplió un 57% de la demanda de Perú, lo que equivale a 57.000 toneladas.

La posibilidad de acceso a estos mercados implica llegar a un precio competitivo con la calidad adecuada, en cuanto a contenido y calidad de proteínas, pigmentación y por sobre todo a ofrecer un producto homogéneo respecto al estándar comprometido.

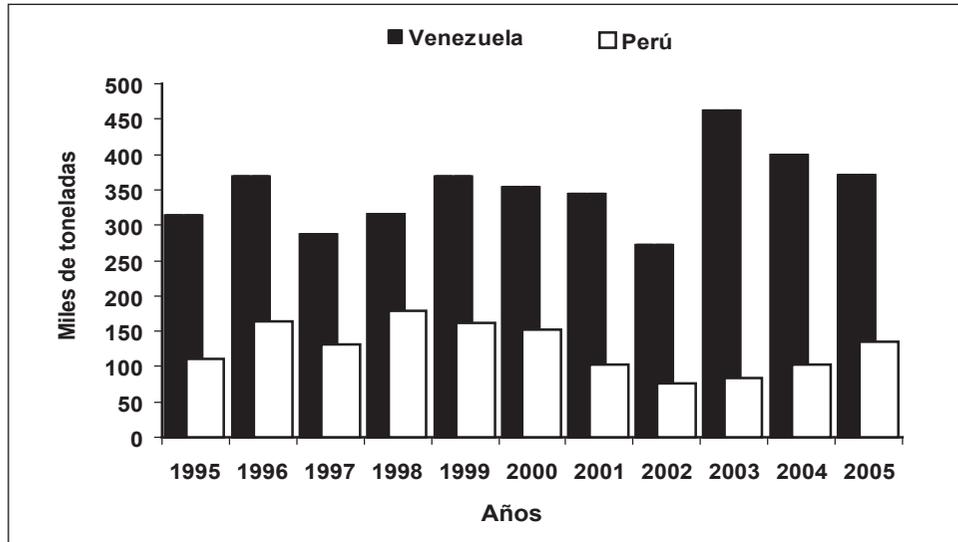


Figura 6: Evolución Importaciones: Perú y Venezuela.

Fuente: Canadian Wheat Board.

Mercado de productos derivados

El trigo candeal posee características únicas, que lo convierten en un producto premium o de “especialidad” dentro del mercado mundial del trigo. Los principales productos derivados corresponden a pastas y couscous (alimento granulado principalmente consumido en el Norte de África). Para la elaboración de estos productos se requiere un trigo candeal de alta calidad, lo que implica un grano muy duro y vítreo, además de un endospermo amarillo, a diferencia del trigo para panificación que en general es menos vítreo y con un endospermo blanca.

La pasta derivada de trigo candeal debe mantener una textura firme a la cocción y un color amarillo intenso, ambos atributos presentes en la materia prima utilizada para su elaboración y que el consumidor asocia a una pasta de buena calidad¹. Si bien en Europa y América del Norte las pastas son elaboradas exclusivamente a partir de semolina de trigo candeal, en otros países se utilizan habitualmente mezclas de candeal con trigo para panificación para producir los mismos productos. Esto ha sido consecuencia de la introducción de nuevas tecnologías de producción, tales como el secado a altas temperaturas, que mejora la calidad de la pasta que puede ser elaborada a partir de trigo para panificación. Sin embargo, los consumidores con poder de discriminación continúan prefiriendo pastas elaboradas en un 100% a partir de trigo candeal.

En el Norte de África, el trigo candeal es utilizado preferentemente para la producción de couscous, aun cuando es también destinado, en algunos países, a la producción de pan.

¹ Lo anterior excluye a los noodles, fideos blancos consumidos en Asia, cuya principal característica es su color blanco, a partir de lo cual para su elaboración son utilizados trigos blancos duros, categorizados como trigo no candeal.

La evolución y el potencial de ambos mercados –pastas y couscous– los hacen relevantes y sus proyecciones de crecimiento son aun mayores. La globalización ha implicado un intercambio cultural que ha llevado a la incorporación de alimentos “étnicos” en los principales mercados de consumo, Europa y USA, sumado a la tendencia hacia la dieta mediterránea, origen del trigo candeal.

Una gran proporción del consumo de pastas y couscous es abastecida por la producción interna de los mismos países, sin embargo, el comercio mundial para ambos productos ha comenzado a crecer a tasas importantes en los últimos años, en función de escalas de operación acotadas y de una oferta de materia prima restringida, con pocas posibilidades de sustitución.

Mercado mundial de las pastas.

La producción mundial de pastas está altamente concentrada en la región europea del Mediterráneo, destacándose Italia como principal productor, con un 29% del total. Sin embargo, la alta presencia de inmigrantes italianos en USA y la incorporación de esa comida en la dieta de dicho país ha generado que USA sea el segundo mayor productor (11%), seguido de Brasil (9%), con una evolución similar. Estos países concentran 50% de la producción mundial de pastas, que alcanza 11,4 millones de toneladas anuales.

El comercio mundial de pastas equivale a un 30% de la producción, con 3,4 millones de toneladas y evolución creciente en los últimos seis años, en torno al 12% anual, pasando de un monto total transado de US\$ 2.400 millones en el año 2000 a US\$ 3.950 millones en 2005. En el mercado mundial de pastas es posible destacar la existencia de al menos cuatro segmentos de mercado, asociados a tipos de productos como son pastas con y sin huevos, pastas rellenas (ravioles, tortellini, etc.) y las otras pastas que no pueden ser clasificadas en los anteriores grupos. Todos los segmentos muestran un comercio internacional altamente dinámico, con tasas anuales de crecimiento, que superan el 10% (indicado en paréntesis), en la mayoría de ellos.

Los principales oferentes de pastas son Italia y USA, que en conjunto concentran 45% del comercio total. En el caso de las importaciones, once países (USA, Alemania, Francia, España, Reino Unido, Japón, Canadá, Bélgica, China, Holanda, España) concentran 71% de la demanda, existiendo una alta atomización, con participaciones que oscilan entre el 3% - 15%.

Mercado mundial de couscous.

El couscous es un producto de la región de Túnez, Marruecos, Argelia, donde solía prepararse artesanalmente. En la actualidad, el couscous se vende preparado y en distintos tamaños de gránulos, según las demandas del consumidor. Se prepara a partir de una mezcla de un granulado de sémola de trigo candeal, harina de trigo común y agua, consumido preferentemente en el Norte de África, como un acompañamiento de carnes y verduras, similar a la función que cumple el arroz en Sudamérica.

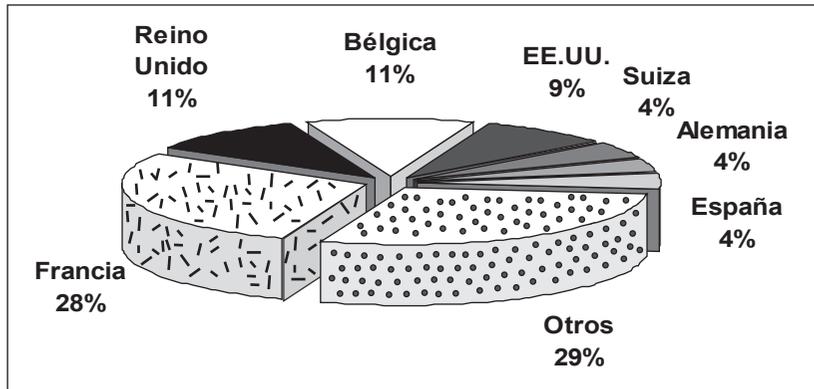


Figura 7: Principales importadores de couscous.

Fuente: División de Estadísticas Comercio Exterior Naciones Unidas (ComTrade).

El crecimiento del mercado del couscous ha sido importante (Figura 7), está asociado al crecimiento del segmento de alimentos “étnicos”, generado por la inmigración de población africana a USA y especialmente a Europa, que en estos momentos representa el mayor mercado para el producto, con una demanda concentrada en Francia, Reino Unido y Bélgica. Si bien existe poca información respecto a la producción mundial de couscous, los principales oferentes son los países del mediterráneo europeo con gran población inmigrante argelina, tunecina o marroquí, tales como Francia.

En los últimos años el comercio internacional de couscous ha pasado de US\$ 28 millones en el año 2000 a US\$ 50 millones en el año 2005, lo que equivale a un crecimiento promedio anual de 16%. Se comercializan cerca de 46.000 toneladas de producto a nivel internacional, las que han tenido un importante aumento en el precio unitario del producto, desde US\$ 0,8/kg a US\$ 1,1/kg entre los años 2000 y 2005.

Atributos Diferenciadores y Situación de Precios

Además de las condiciones agroclimáticas restrictivas para su producción, el trigo candeal tiene características únicas dentro del género, que limitan la posibilidad de sustitución para la industria. Como consecuencia, la demanda por esta especie es bastante inelástica, presentando fuertes variaciones en los precios frente a cambios moderados en la oferta.

El precio del grano está asociado a las características de calidad que demanda el mercado de pastas, existiendo diferenciales según los atributos físico-químicos verificables (proteínas, gluten y otros), y la capacidad de entregar una oferta homogénea, elementos que finalmente lo convierten en un producto premium respecto al trigo para panificación.

Investigaciones de mercados y paneles realizados en distintas partes del mundo han establecido que una pasta de buena calidad debe poseer los siguientes atributos:

- “Al dente” .
- Bajo nivel de “pegajosidad”.
- Color Amarillo.
- Calidad integral.

La calidad del trigo candeal incide directamente en la calidad de la semolina, que es el producto intermedio de la producción de pastas de calidad. Así, el concepto de calidad del trigo involucra la aptitud del grano para la elaboración de productos finales con atributos específicos demandados por el consumidor (Cuadro 3).

La producción de pastas de calidad requiere de un trigo candeal de alta proteína y de buena calidad (pasta al dente y no pegajosa), de un endospermo vítreo y amarilla (pasta de color amarillo) y de una calidad integral asociada a condiciones de sanidad y seguridad alimentaria, además de homogeneidad de la oferta.

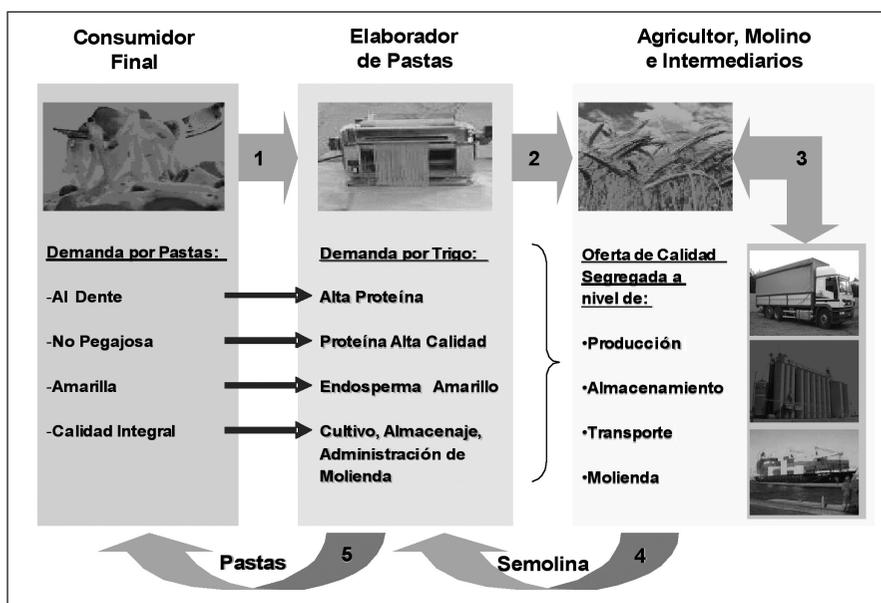
De acuerdo a las características físico-químicas del producto, el mercado del trigo candeal tiene la siguiente clasificación:

- Trigo Hard Amber Durum: al menos 75% de los granos duros y vitreos.
- Trigo Amber Durum: Entre 60% y 75% de los granos duros y vitreos.
- Trigo Durum: Menos del 60% de los granos es duro y vítreo.

De esta manera, debiera esperarse que el precio de la categoría Hard Amber Durum registre los mayores valores, ya que equivale a un trigo de mejor calidad, entendida como una oferta más homogénea y consistente respecto a lo que está demandando el consumidor inmediato. El precio de Hard Amber Durum se traduce en un premio por calidad de al menos un 12% si se comparan los US\$208 / ton que registra esta categoría con los \$185/ton del Amber Durum (Figura 8).

Cabe señalar que los mayores precios dentro del período 1993/95 se relacionan con el período de menor producción mundial, hay una clara persistencia de mayor precio del trigo candeal en relación al trigo para panificación, asociada a un mayor contenido de proteínas, vitreosidad del grano y color amarillo intenso del endospermo, como principales atributos diferenciadores.

Cuadro 3: Traspaso de exigencias de calidad en la cadena.



Fuente: Centro Internacional de Estudios Agronómicos Avanzados .

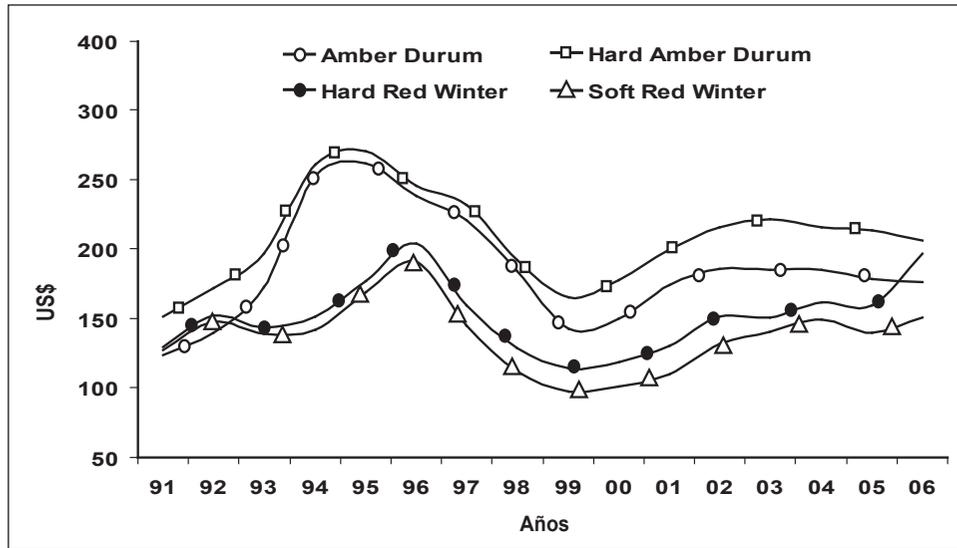


Figura 8: Evolución de precios internacionales de trigo candeal y para panificación.

Fuente: Oficina de Estudio y Políticas Agrarias (ODEPA).

SITUACIÓN DEL MERCADO NACIONAL

Flujo de productos en la cadena del trigo candeal.

A diferencia del trigo para panificación, en este sector existe una integración vertical desde la molienda de grano para la elaboración de semolina a la producción de pastas como producto final. Existe también la contratación de siembras por parte de la industria, para asegurar el abastecimiento de materia prima con la calidad que se requiere, siendo Lucchetti y Carozzi, las dos principales empresas elaboradoras de pastas a nivel nacional.

El consumo de trigo candeal en Chile se satisface en un 55% por la producción nacional y en un 45% por importaciones, totalizando 167.000 toneladas en el año 2005 (Cuadro 4).

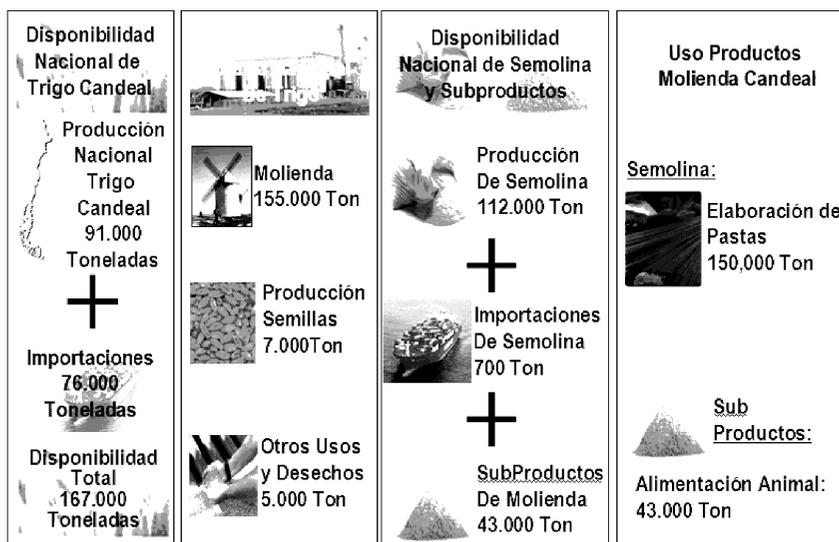
Un 93% de la oferta de trigo candeal (155.000 toneladas), se destina a molienda para extracción de semolina, utilizada en la elaboración de pastas. El 7% restante se destina principalmente a producción de semillas y otros usos. A partir de la molienda de trigo candeal se extraen poco más 110.000 toneladas de semolina, las que derivan en aproximadamente 150.000 toneladas de pastas. Se estima que como subproductos de la molienda se generan 43.000 toneladas de desechos, cuyo principal destino es la alimentación animal.

Históricamente, los principales proveedores de Chile de trigo candeal han sido los principales productores y exportadores a nivel mundial. Es así como Canadá

concentró en el año 2005 un 86% (65.000 ton) de las importaciones totales, seguido por USA con un 13% de participación y un 1% de Argentina.

La relevancia de USA y Canadá como proveedores de trigo candeal en Chile se asocia a la calidad del producto ofrecido, en cuanto al cumplimiento de las características físico-químicas requeridas para este tipo de trigo y la homogeneidad de las partidas, lo que le permite a la industria complementar, mejorar y homogeneizar la oferta nacional.

Cuadro 4: Chile: Flujo de productos en la cadena de valor del trigo candeal (2005).



Fuente: INE, Servicio Nacional de Aduanas, ODEPA.

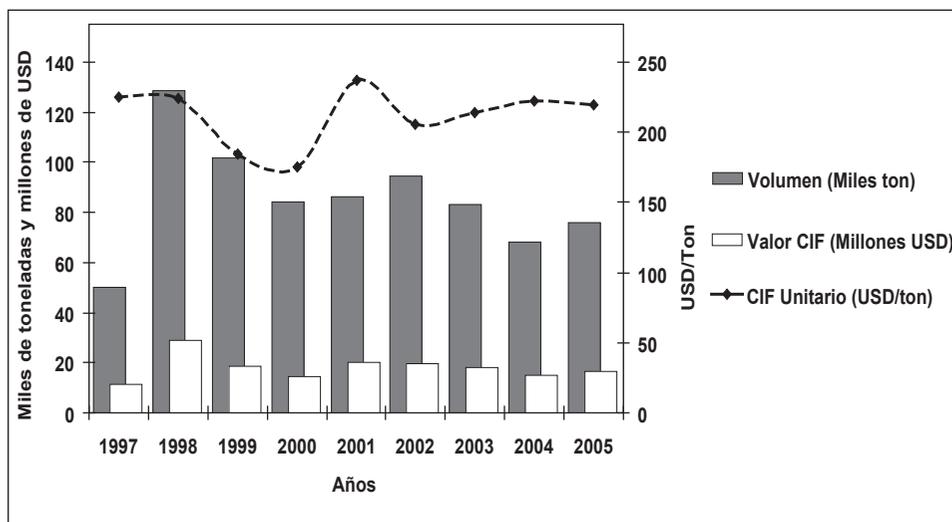


Figura 9: Chile: Importaciones de trigo candeal.

Fuente: Servicio Nacional de Aduanas.

Si bien se aprecia una evolución errática de las importaciones chilenas de trigo candeal, en respuesta a variaciones de la producción interna, cabe destacar el nivel récord alcanzado en el año 1998, como consecuencia del TLC firmado entre Chile y Canadá, lo cual derivó en menores aranceles, y consecuentemente en mayores importaciones a partir de dicho período (Figura 9).

Producción nacional de trigo candeal

El trigo candeal se introdujo en Chile a comienzos del siglo XX, concentrándose en la zona central del país. En la década de 1950 se cultivaron variedades introducidas desde Italia y entre 1956 y 1958 se liberaron las primeras variedades nacionales, proceso que ha seguido hasta la actualidad. Las características agroclimáticas de la zona centro norte y centro sur de Chile (IV a la VIII región) proporcionan un hábitat óptimo para el cultivo, cumpliendo con los requerimientos de la especie, en cuanto a días calurosos y noches frías, propias de la regiones del Mar Mediterráneo.

La superficie sembrada representa un 4% de la superficie anual destinada al trigo, lo que equivale a cerca de 15.000 ha, aun cuando se llegó a una superficie de 35.300 ha en la temporada 1996/97 (Figura 10).

La brusca disminución de la superficie de trigo candeal experimentada en el período 1997/2001 se asocia fundamentalmente al adverso resultado que para el sector significó la firma del Tratado de Libre Comercio con Canadá en 1997. Dicho acuerdo, desincentivó la siembra no obstante, se mantuvo el rendimiento en torno a 50 - 60 qq/ha, superior a los 45 qq/ha que se obtiene con trigo para pan.

Por otra parte, la adopción de la modalidad de compra bajo contrato derivó en un aumento sostenido de la superficie sembrada y la producción nacional a partir de la temporada 2001/02, pasando de 34.000 toneladas en la temporada 2000/01 a 91.000 toneladas en la temporada 2004/05. Lo anterior permite establecer un potencial crecimiento para el sector en un contexto de mayor vinculación con la industria procesadora.

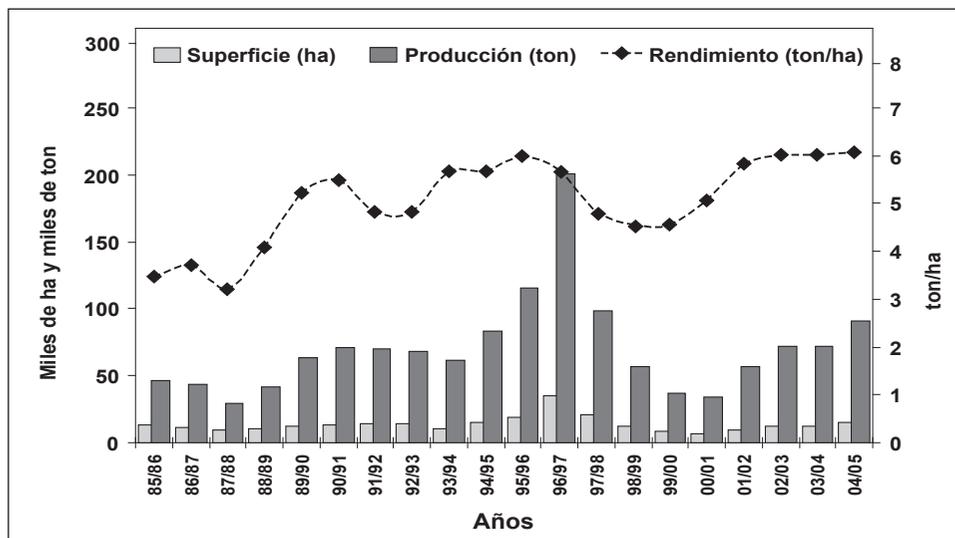


Figura 10: Chile: Evolución, producción y rendimientos trigo candeal.

Fuente: Oficina de Estudio y Políticas Agrarias (ODEPA).

Brecha tecnológica y oportunidades de crecimiento.

El tamaño de las 3.200² explotaciones existente a nivel nacional se concentra en nivel inferior a 100 ha (55%). Sin embargo, los rendimientos son relativamente estables, en torno a 50 y 60 qq/ha, independiente del tamaño de explotación (Figura 11). Esto permite inferir que el paquete tecnológico es conocido y adecuadamente difundido. La economía de contratos ha permitido una vinculación de la industria con agricultores pequeños, medianos y grandes, y ha derivado –a través de la asistencia técnica– en la incorporación de mejores prácticas de manejo. El hecho que las zonas aptas para la producción de este cultivo sean más restringidas en relación al trigo para panificación, constituye otro factor que explica que los rendimientos de trigo candeal en Chile registren una menor variación.

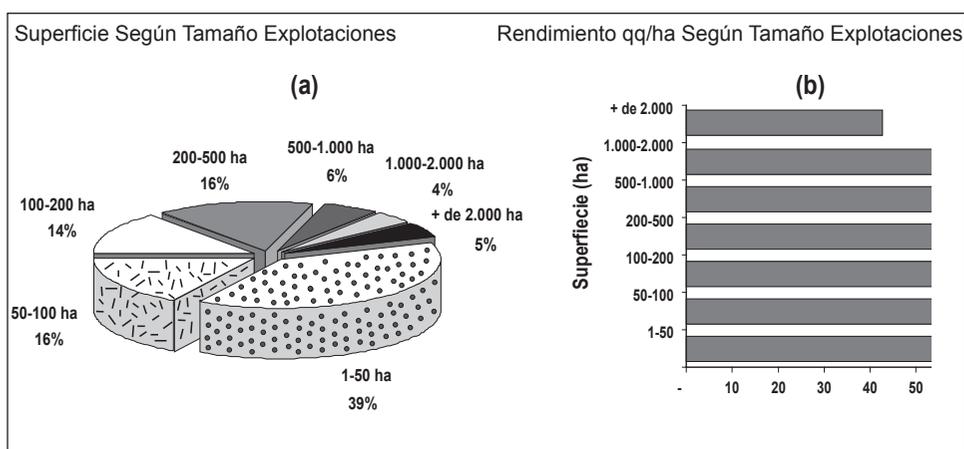


Figura 11: Chile: Tamaño de explotaciones (a) y rendimiento promedio de trigo candeal por tamaño de explotación (b).

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Localización de la producción.

La producción de trigo candeal en Chile está concentrada en la zona central, con una clara ventaja respecto al trigo para panificación, cuya zona productiva (centro sur) se encuentra más alejada de la zona de procesamiento o molienda (centro), lo que implica mayores costos de flete y menor la competitividad del cultivo.

Chile posee uno de los cinco ecosistemas de clima mediterráneo existentes en el mundo, que se extiende desde los 33° hasta los 37° Latitud Sur, hoya hidrográfica del Aconcagua por el Norte hasta el Itata por el Sur, ocupando el espacio entre el borde costero y el límite con la cordillera de los Andes. En la actualidad, las regiones Metropolitana, VI y VII concentran el 85% de la superficie nacional.

Hace una década, se planteaba la inconveniencia de cultivar trigo candeal de Linares al Sur, por el problema de amarengamiento o blanqueado del grano. Sin embargo, este problema ha sido superado en parte a través del mejoramiento genético. Es

² Según Censo Nacional Agropecuario 1997 – INE.

así como el cultivo de trigo candeal ha llegado hasta la zona de Los Ángeles (VIII Región) con buenos resultados de rendimiento agrícola y calidad, principalmente en zonas bajo riego.

La Figura 12 muestra la evolución de la localización de la producción de este cultivo entre las temporadas 1997/98, 2004/05 y 2006/2007. Diez temporadas atrás la zona de cultivo se extendía desde la IV a la VII Regiones, mientras que en la actualidad las principales zonas productoras están comprendidas entre las regiones Metropolitana y IX, con un claro desplazamiento hacia la zona sur.

Este desplazamiento es consecuencia de al menos dos factores; el mayor costo alternativo que ha alcanzado la tierra en la zona centro norte del país por expansión de la actividad frutícola de exportación y en segundo lugar, por la factibilidad técnica de producir trigo candeal en la VIII Región, como resultado del trabajo de mejoramiento genético.

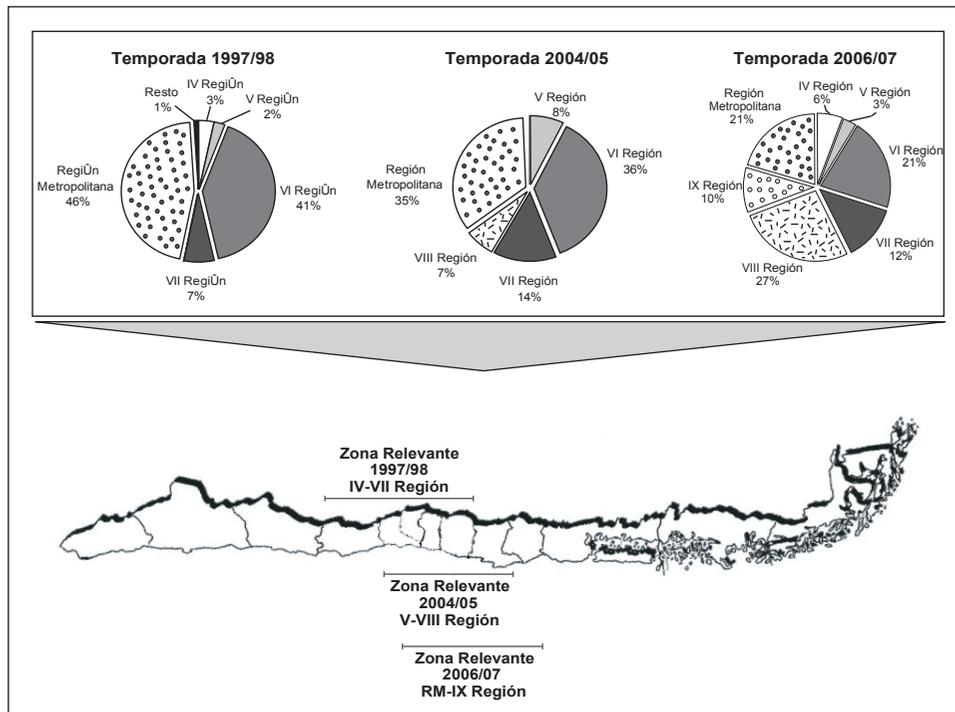


Figura 12: Chile: Cambio en las zonas relevantes de cultivo del trigo candeal.

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Otros factores relevantes para la producción primaria.

Si bien en Chile es posible producir trigo candeal con las características que demanda la industria, el eslabón primario de la cadena productiva requiere mejorar factores de competitividad transversal, entre las que se destacan:

- Infraestructura de acopio segregado a nivel predial que permita homogeneizar la oferta de trigo, previo a su llegada a la planta procesadora.

- Sistema de comercialización orientado a la clasificación y graduación de trigo que sea certificado por un laboratorio de referencia nacional que permita hacer transparente el intercambio y generar confianza.
- Un mayor desarrollo de la economía de contratos, aprovechando y perfeccionando la experiencia que ya existe entre algunas plantas procesadoras y agricultores.
- Sistemas de información y trabajo en redes que permitan vincular el sector con las tendencias mundiales en producción y consumo de este cereal.
- Mayor y mejor oferta de medios de transporte de granos, de manera segregada a nivel nacional, que disminuyan los costos de flete (ej. ferrocarril).
- Diversificación de los poderes de compra alternativos y prospección de opciones de exportación a nivel latinoamericano.

Mercado de productos derivados

La elaboración de pastas (secas, rellenas, con o sin huevo) constituye el principal uso del trigo candeal en Chile. Esta industria es una de las más concentradas en el rubro de alimentos. En efecto, las tres principales marcas ostentan el 84% de las ventas, lo que se mantiene casi invariable en los últimos años.

Mercado de las pastas.

Según la Asociación de Elaboradores de Pasta de la Comunidad Europea, Chile ocupa el octavo lugar a nivel mundial en consumo per cápita de pasta con una cifra que oscila entre 8 y 9 kg/persona al año, después de Italia (26 kg per cápita), Venezuela, Túnez, Suiza, USA, Grecia y Perú. Además, se estima que las pastas tienen una periodicidad de consumo de 1,6 veces por semana por persona al año, lo que posiciona este mercado con alto atractivo.

En Chile se producen cerca de 150.000 toneladas de pasta al año, de las que aproximadamente 90% se destinan al consumo nacional. Sin embargo, la tasa de crecimiento de este mercado es de sólo 2% al año, determinado principalmente por el crecimiento de la población.

Según la consultora internacional AC Nielsen (Diario Estrategia, 2003) en todos los hogares de Santiago se consumen pastas (penetración de 100% hace más de diez años), y los segmentos medio y bajo concentran más del 90% del volumen de compra total. Los supermercados constituyen el mayor canal de distribución, con un 80% de las ventas totales, con una tendencia al consumo de fideos largos, por menores precios.

La introducción de pastas premium ha sido costosa en el mercado nacional, pues si bien el consumidor discrimina en términos del color de las pastas, no está dispuesto a pagar precios ostensiblemente mayores por pastas de mayor calidad. Los supermercados han intentado vender productos genéricos bajo su propia marca, pero la industria no se ha visto mayormente afectada por esta estrategia, dado que los consumidores aun asignan un alto valor a las marcas líderes.

Información de la industria indica que Carozzi posee 44% del mercado y Lucchetti tiene un 33%. En tanto, Parma –que ahora pertenece a Carozzi– concentra un 7% del mercado, seguida por Matarazzo y Alicorp, con 3% cada una y Suazo con 2%.

Lucchetti posee las marcas Talliani, Napoli, Remo y Lucchetti, mientras Carozzi, además de Parma, posee las marcas Tratoría, Carozzi, San Remo y Aconcagua.

Cabe destacar la introducción de Bada con su marca Campo Lindo, que importa anualmente cerca de 5.000 toneladas de pastas secas desde Italia, tendencia que ha afectado la participación de mercado de las empresas nacionales y principalmente a aquellas más pequeñas.

La industria chilena exporta anualmente entre 15.000 y 18.000 toneladas de pasta, principalmente a USA, Perú, Haití, Guatemala y Cuba (Figura 13). El desarrollo de productos adecuados a los cambios en los hábitos de consumo de la población chilena y la apertura de nuevos mercados para la exportación de pastas constituyen los principales desafíos futuros para esta industria.

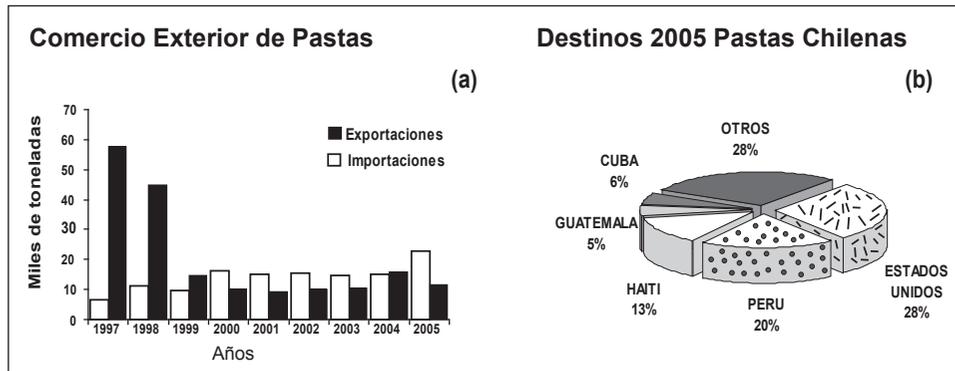


Figura 13: Chile: Comercio exterior pastas (a) y principales destinos de exportación (b).

Fuente: Servicio Nacional de Aduanas.

Mercado del couscous.

El mercado del couscous en Chile se asocia principalmente a la importación de este producto por parte de las colonias del Norte de África y restaurantes especializados en comida étnica. Si bien el valor de las importaciones de couscous es aún reducido, con cifras que no superan los US\$ 80.000 anuales, su crecimiento ha sido explosivo. En efecto, es posible apreciar que entre 1997 y 2005, las importaciones han aumentado desde US\$4.300 (2.500 kg) a US\$ 78.600 (46.000 kg) (Figura 14).

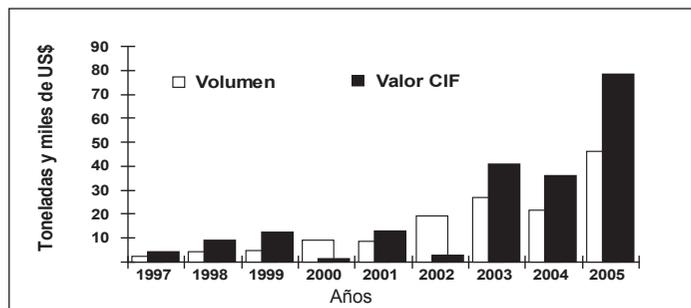


Figura 14: Chile: Evolución Importaciones couscous Período 1997-2005.

Fuente: Servicio Nacional de Aduanas.

Los principales proveedores son aquellos países que se han especializado en producción de couscous, para su exportación a los grandes centros de consumo del Norte de África o bien para satisfacer su demanda interna derivada de una alta inmigración desde dichos países (Figura 15).

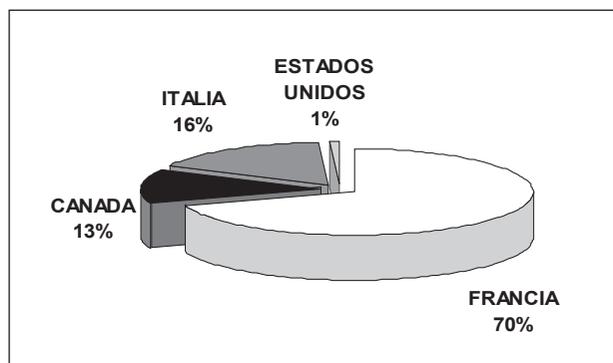


Figura 15: Chile: Principales proveedores de couscous. Año 2005.

Fuente: Servicio Nacional de Aduanas.

SÍNTESIS

- En un contexto de mercado globalizado, la competitividad del trigo candeal nacional pasa por aprovechar el camino ya recorrido, fortaleciendo iniciativas que han tenido éxito en su implementación y a su vez superando elementos claves de competitividad que podrían interferir con la posibilidad de generar un cultivo “World Class”.
- Es indispensable fortalecer la economía de contratos en el sector de trigo candeal, lo que permite mayor transparencia en la cadena, con flujos de información claros, que permiten satisfacer de mejor manera las demandas de la industria y por ende de los clientes finales. Lo anterior debe ser complementado con una oferta de trigo candeal que cuente con atributos físico-químicos deseados, pero principalmente con una calidad homogénea que permita disminuir los costos de acondicionamiento del grano previo a su procesamiento.
- El dinamismo de los mercados de productos finales asociados al cultivo (pastas y couscous) prevén un futuro promisorio para el candeal a nivel nacional, en la medida que la producción se oriente a usos finales, pues en Chile no se detectan grandes brechas tecnológicas en la producción primaria y existe una alta eficiencia productiva, aunque con una baja escala.
- La cercanía geográfica de mercados como Perú y Venezuela podría generar una oportunidad de nicho, que debería ser prospectada en mayor profundidad, considerando que se trata de un trigo premium y en América Latina existen muy pocos proveedores. No obstante, cualquier esfuerzo exportador requiere de bases sólidas, lo que se asocia a un producto de calidad “global” que satisfaga homogéneamente los requerimientos del cliente. En este sentido, la satisfacción de los requerimientos de la industria nacional por parte de los productores primarios constituiría un gran avance en esta materia.

LITERATURA CITADA

- Canadian Wheat Board, 2004 - 05 STATISTICAL TABLES. Disponible en: www.cwb.ca
- Censo Agropecuario 1997. Instituto Nacional de Estadísticas. Disponible en: www.ine.cl
- Union of Organizations of Manufactures of Pasta Products of de E.U. Web site: <http://www.pasta-unafpa.org/test.HTM>
- División de Estadísticas de Comercio Exterior de las Naciones Unidas (Comtrade Database) Website: <http://unstats.un.org/unsd/comtrade>
- Diario Estrategia: "Gigantes de la Pasta Local se Defienden con Alta Eficiencia de Amenaza Externa", 21 de abril de 2003. Disponible en: <http://www.estrategia.cl/histo/200304/21/ambito/pasa.htm>
- Foreign Agricultura Service - United States Department of Agriculture. Comercio Exterior EE.UU. Disponible en: <http://www.fas.usda.gov/>
- Nachit, Miloudi. ICARDA (Internacional Center for Agricultura Research in the Dry Areas) "El Trigo Candeal en el Mundo". Seminario "Cultivo, Calidad, Mercado e Industria del Trigo Candeal", 21 de noviembre de 2006. INIA Quilamapu.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Base de Datos Estadísticas. Disponible en: www.odepa.gob.cl
- R. Ranieri, Durum wheat quality management. CIHEAM - Options Mediterraneennes. (Centro Internacional de Estudios Agronómicos Avanzados Mediterráneos) Disponible en: <http://www.ciheam.org/>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de Argentina – SAGPyA. Base de datos Campañas Agrícolas en Cereales de Argentina. Disponible en: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>
- Servicio Nacional de Aduanas y Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2007. Estadísticas de Comercio Exterior. Disponible en: www.odepa.gob.cl
- Urrutia, Graciela. Fundación Chile, 2005. "Una Nueva Visión para el Sector Triguero en Chile". Disponible en: <http://www.agrogestion.cl/publicaciones.cfm>
- US Wheat Associates. Crop Quality reports. Disponible en: <http://www.uswheat.org/cropQualityReports#2004>

5

Desarrollo del mercado para el trigo candeal chileno

M. Mora

Departamento de Economía Agraria. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. mmorag@uchile.cl

INTRODUCCIÓN

El desarrollo productivo de la industria triguera chilena, en general, se ha basado en aumento de los rendimientos (Fundación Chile, 2005), aspecto que, según algunos especialistas, va aparejado generalmente de una disminución de la calidad, esta última requisito básico para participar de mercados altamente cambiantes y exigentes. Por tal motivo se debe tener presente que la calidad, tanto técnica como percibida³ debería constituir el norte de nuestra industria triguera. Sin embargo, es importante precisar que, de la disponibilidad total de trigo⁴ existente en el país, más del 74% se utiliza para pan (trigo blanco), en tanto el resto es utilizado para pastas (trigo candeal), alimentación animal, producción de semillas y otros usos, los cuales constituyen segmentos de mercados en los cuales se puede incursionar (Rojas, 2006). Ahora bien, de estos segmentos, el trigo duro puede ser una opción de desarrollo interesante, máxime si se considera que los recursos edafoclimáticos de un país “pequeño” como Chile son escasos y se les debe dar el mejor uso, de tal manera que dicha utilización esté indexada con promisorios resultados económicos y posibilidades reales de agregación de valor. En este sentido este tipo de producto reúne ambas condiciones, por lo que: *“el trigo candeal chileno puede llegar a niveles de calidad, vinculado a las condiciones de suelo y clima, similares a los de los países de la cuenca del Mediterráneo que son los que producen los trigos candeales de mayor calidad en el mundo, los cuales tienen un reconocimiento explícito en la demanda, situación que genera su sustentación económica”*. Asimismo, la mejor calidad de trigo duro se produce en regiones que tienen clima relativamente seco, con días calurosos y noches frías durante el periodo de crecimiento (Turner, 1982), requerimientos climáticos que se pueden encontrar en la zona centro sur

³ En el concepto de calidad señalado confluyen la calidad como propósito de uso y la calidad como lo que demanda el cliente.

⁴ Según ODEPA 2006, en el año 2005 la disponibilidad aparente se constituyó de 1.851.940 toneladas de producción a más 119.606 toneladas importadas de trigo panadero y más 76.062 toneladas importadas de trigo candeal, representando las importaciones en su conjunto un 11% del total producido en Chile.

de Chile, la cual posee un clima mediterráneo, único en Latinoamérica, similar a las mejores zonas de la cuenca del Mediterráneo⁵. Adicionalmente, se presentan condiciones que permiten mirar favorablemente el desarrollo de este rubro, por ejemplo, la mayoría de los productores de trigo candeal realizan una agricultura de contrato con empresas elaboradoras de pastas y por tanto están familiarizados con las exigencias que se plantean en la cadena productiva; además, los niveles de manejo agronómico del cultivo son más homogéneos que en productores de trigo blando, lo cual constituye una interesante plataforma productiva de innovación. En consecuencia, existiría un interesante potencial de desarrollo para este tipo de trigo en Chile dado por las condiciones climáticas, el cual habría que respaldar mediante genética, una zonificación geográfica para las variedades más adecuadas, un manejo agronómico de vanguardia, articulación de un clúster estratégico con visión de agregación de valor e inteligencia de mercado para asegurar la viabilidad económica y comercial de este promisorio rubro.

Precios internacionales de trigo candeal: una señal clara para su desarrollo.

En todo negocio, una de las variables más relevantes la constituye el precio. En este sentido, los precios internacionales de trigo duro mantienen un comportamiento relativamente estable desde el año 1999 por encima de US\$ 135 por tonelada. En los últimos tres años hay una leve tendencia al alza, a un piso de US\$ 150 por tonelada. El trigo mejor cotizado a través del tiempo es el Hard Amber Durum N° 2 Atlántico, Canadá, que en los últimos 4 años no ha bajado de 200 dólares la tonelada (Figura 1). Sin embargo, es importante destacar que en el caso de este trigo, su precio es reflejo de los esfuerzos de diferenciación que ha realizado el "*Canadian Wheat Board*". Es así, que en este escenario, el rumbo a seguir estaría determinado fuertemente por la búsqueda constante de costos bajos y rendimientos altos, lo cual constituye una válida e interesante opción para aquellos países productores que disponen de recursos naturales que les permitan desarrollar este negocio bajo un enfoque de economía de escala. Al parecer, este no sería el caso del trigo candeal chileno, que desde el año 2003 se ha caracterizado por:

1. Baja en sus exportaciones,
2. Estancamiento en sus rendimientos en torno a las 6 toneladas por hectárea y,
3. Dependencia de las importaciones del orden de las 75 mil toneladas/año.

La situación descrita refleja en gran parte lo poco competitivo de este rubro⁶ en Chile. En consecuencia, Chile debería buscar otro camino para su trigo duro, considerando las ventajas comparativas asociadas a sus recursos naturales que podrían permitir la producción de trigos duros de alta calidad y la elaboración de pastas finas, lo que en lenguaje de marketing significa buscar su sello de diferenciación y lo más importante que dicho sello tenga un reconocimiento explícito en los clientes/consumidores⁷.

⁵ Dr. Miloudi Nachit en visita al Centro Regional de INIA Quilamapu, 2006.

⁶ Nótese que con este rendimiento se estaría cercano al punto de equilibrio.

⁷ Diferenciación se entiende como un producto que se presenta como único en el mercado, en el cual, si bien es cierto pueden existir competidores éstos los debe percibir la demanda como lejanos. Esta condición de único es semejando a una especie de monopolio, por tanto, es dable conectar esta condición con los beneficios económicos que se pueden obtener en una estructura de mercado de carácter monopolística.

Un ejemplo, los precios internacionales del Hard Amber Durum presentados en la Figura 1 corresponden a un trigo duro de alta calidad, la cual justifica su mayor precio. No obstante, también es el reflejo de un esfuerzo por diferenciarse y que se ha logrado transmitir a aquellos agentes que participan del canal de comercialización y que sustentan este agronegocio, tal y como lo ha realizado el “*Canadian Wheat Board*”.

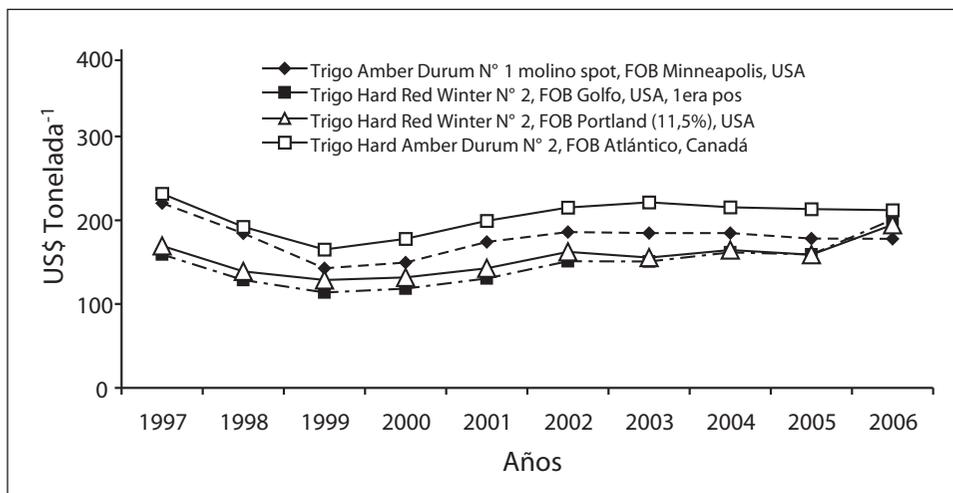


Figura 1: Precios internacionales de trigo candeal.

Fuente: ODEPA, 2006.

Los precios internacionales han presentado una estacionalidad relativamente marcada en los últimos 4 años, siendo más altos en el último cuatrimestre de cada año, más enero del año siguiente. En tanto en el cuatrimestre (mayo a agosto) los precios son los más bajos del año (Figura 2). La situación descrita permite tener una visión de los precios que se pueden obtener en función de la época del año en la que este cereal se puede cosechar, la cual habría que contrastar con la zona de producción, de manera de conectar con períodos del año de precios altos. Al respecto, existen dos formas de lograr esta conexión, la primera, planificar agrónomicamente el cultivo de manera que la cosecha se pueda realizar en época de precios altos y segunda, contemplar períodos de almacenamiento en función de las expectativas de precios mejores. Esta segunda situación es compleja, ya que implica costos adicionales asociados al almacenamiento que pueden desembocar en un negocio económicamente no viable. En consecuencia, los esfuerzos agronómicos deberían enmarcarse en la planificación agronómica del cultivo y en la conexión temporal lo más directa posible entre cosecha y agente comercializador. Nótese que los precios son más bajos entre abril y julio que entre septiembre y enero, lo cual le puede conceder al trigo candeal chileno una importante ventaja, ya que éste se cosecha fundamentalmente entre diciembre y enero.

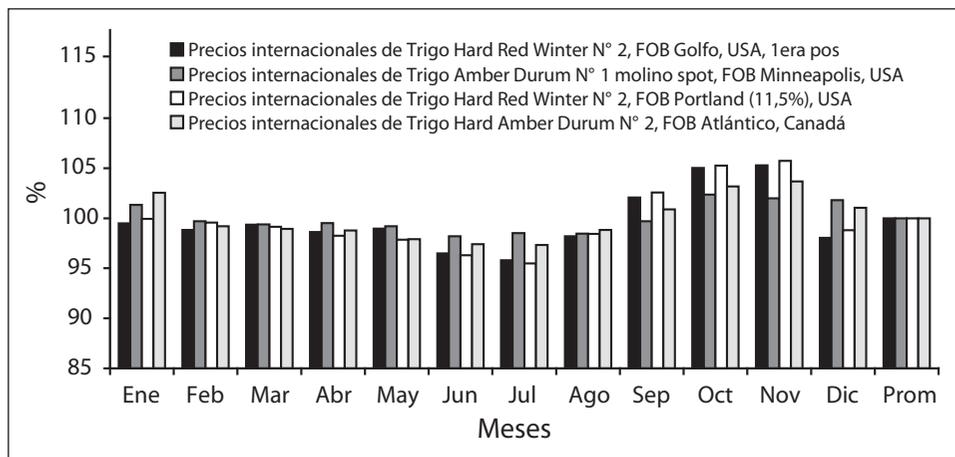


Figura 2: Estacionalidad de precios internacionales de trigo candeal.

Fuente: ODEPA, 2006. Basado en promedios de las temporadas 2001/2002 a 2004/2005.

El trigo candeal en Chile.

El trigo candeal utilizado en Chile tiene dos orígenes, producción nacional e importaciones (Canadá, fundamentalmente). Las importaciones en los últimos tres años han aportado casi el 50% de los requerimientos del país (Cuadro 1). Por otra parte, si existiese trigo candeal de alta calidad en Chile y a precio competitivo, que podría ser factible, es probable que aumente la producción nacional, la cual se podría canalizar al mercado interno como internacional. En el caso del mercado doméstico, la producción de trigo candeal es una interesante opción de desarrollo para la cadena productiva del trigo candeal, que en conjunto puede constituirse en un clúster estratégico altamente diferenciado en sus productos primarios (trigo candeal de alta calidad) como transformados (pastas), tanto para abastecer la demanda local como la internacional, debido fundamentalmente a que existen recursos naturales de primer nivel.

Cuadro 1: Trigo candeal en Chile: producción nacional e importaciones.

Año	Producción Nacional (Ton)	Importaciones (Ton)	Total (Ton)
2003	71.791	83.413	155.204
2004	71.907	68.102	140.009
2005	90.875	76.062	166.937
Promedio (2003-2005)	78.191	75.859	154.050
% promedio (2003-2005)	50,76	49,24	100,00

Fuente: INE, 2006.

Costo de producción y margen de trigo candeal en Chile: un dato fundamental para incursionar en este agronegocio.

El punto de partida de cualquier negocio agrícola corresponde a una rigurosa estimación de costos, la cual da la señal de precio mínimo al cual se puede aspirar. En este sentido, el costo directo⁸ de producción de trigo candeal bajo riego, en general, es cercano a los 50 qq/ha. A partir de este rendimiento el cultivo comienza a arrojar rentabilidad positiva. Sin embargo, de acuerdo a la estimación realizada, éste estaría más próximo a los 60 qq/ha (Cuadro 6). El Cuadro 2 presenta una estructura de costos para trigo candeal en la zona central de Chile, el que es de US\$ 1.189 por hectárea, siendo los ítems más relevantes los agroquímicos y aspectos asociados a la siembra (maquinaria y semilla). Asimismo, con un costo como el señalado, que puede sustentar un rendimiento mínimo de 50 qq/ha, sólo 10 toneladas inferior al rendimiento nacional, o bien según nuestra estimación 60 qq/ha, es importante trabajar en la búsqueda de:

1. Homogeneizar rendimientos más altos.
2. Forma de transmitir las bondades diferenciadoras de los trigos candeales chilenos que sean reconocidas explícitamente por la demanda y permitan aspirar a precios más altos. En este punto, es básico destacar el papel que tenga el Estado como ente promotor de este rubro.
3. Levantamiento de centros de responsabilidad⁹ (costos) que permitan tener una visión más completa y optimizada de la aplicación de los costos.
4. Zonas de mejor potencial agronómico.

⁸ Es importante resaltar que el costo directo no es el indicador completo de decisión, pero es el más utilizado por los productores, fundamentalmente debido a que se tiene un mayor conocimiento y permite establecer comparaciones. Por otra parte, si se quiere obtener un indicador completo, a este costo habría que sumarle los costos indirectos, que son los que no se pueden imputar con claridad a un cultivo u otro (por ejemplo, costos de energía, pago de contribuciones, administración general del predio, entre otras). Ahora bien, también es relevante precisar que uno de los problemas en una parte significativa de la producción agrícola primaria, especialmente de cultivos anuales, es la ausencia o mal manejo de sistemas de registros administrativos, que de existir éstos lo más probable es que se disponga de indicadores económicos más completos.

⁹ Los centros de responsabilidad son unidades de seguimiento de las principales variables que permiten mejorar la gestión de una unidad de negocio, son herramientas de control de gestión. Dichos centros pueden ser de costos, ingresos, utilidades e inversión. Su levantamiento estará asociado a los costos que ello significa y al tipo de información que desea obtener para su seguimiento y control.

Cuadro 2: Costos directos de producción de trigo candeal.

Labores e Insumos	Costo/ha (dólares)	Participación del costo total (%)
Preparación de suelo	110,0	9,3
Aradura	60,0	5,0
Rastraje	50,0	4,2
Manejo del Cultivo y venta	1.022,4	86,0
Siembra	78,5	6,6
Aplicación Fertilización	18,8	1,6
Fertilizantes	252,3	21,2
Semilla	69,3	5,8
Plaguicidas	220,5	18,5
Aplicación Plaguicidas	18,8	1,6
Maquinaria plaguicidas	55,0	4,6
Riego	75,1	6,3
Labores complementarias	18,8	1,6
Cosecha automotriz	90,0	7,6
Mano de obra cosecha	42,3	3,6
Flete	58,0	4,9
Venta	25,0	2,1
Subtotal	1.132,4	95,2
Imprevistos (5%)	56,6	4,8
TOTAL COSTOS DIRECTOS	1.189,0	100,0

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de productores de trigo candeal en la VI Región. Tipo de cambio 532,39 pesos por dólar (02/01/2007). Estimación de costos para una siembra de aproximadamente 10 hectáreas.

En el Cuadro 3 se presenta una simulación de la evolución del margen bruto del cultivo asociado a diferentes niveles de rendimiento y considerando un precio de US\$ 18,5 por quintal, que podría ser un buen reflejo e incluso optimista de la realidad actual de este subsector de la agricultura chilena. En este escenario es difícil considerar un desarrollo adecuado del rubro, ya que con rendimientos del orden de los 90 qq/ha, que es considerado un rendimiento alto, sólo se pueden obtener poco más de 476 dólares/ha (poco más de 200 mil pesos/ha).

Cuadro 3: Margen bruto por hectárea con diferentes rendimientos por hectárea.

Rendimiento por hectárea (qqm)	65,0	70,0	80,0	90,0
Precio por quintal (dólares/qqm)	18,5	18,5	18,5	18,5
Ingresos totales (dólares)	1.202,5	1.295,0	1.480,0	1.665,0
Margen por hectárea (dólares)	13,5	106,0	291,0	476,0

Fuente: Elaboración propia. Margen es igual a los ingresos totales menos los costos directos de producción).

Por otra parte, en un enfoque de diferenciación, que necesariamente involucra mejorar la calidad del trigo actual, logrando variedades de mayor rendimiento y calidad, es factible plantear escenarios de rentabilidad, medida a través de márgenes (Cuadro 4) y considerando precios más altos, bastante atractivos y que pueden motivar en los productores su implantación. Nótese que los precios utilizados corresponden a un precio de 220 dólares/tonelada, cifra bastante factible de obtener en el período del año de precios altos. Por otra parte, con un rendimiento del orden de 90 qq/ha y un precio de 22 dólares/qq se produciría un incremento del orden del 66% con respecto al margen presentado en el Cuadro 3, cifra que puede resultar interesante para algunos productores que quieran incursionar en este rubro.

Cuadro 4: Margen bruto por hectárea con diferentes rendimientos por hectárea y niveles de precio.

Rendimiento por hectárea (qqm)	65	70	80	90
Precio por quintal (dólares/qq)	22	22	22	22
Ingresos totales (dólares)	1430	1540	1760	1980
Margen por hectárea (dólares)	241	351	571	791

Fuente: Elaboración propia. Margen es igual a los ingresos totales menos los costos directos de producción.

Incursión del trigo candeal chileno en los mercados internacionales.

Las exportaciones de trigo candeal en el último tiempo han tenido un comportamiento bastante claro, por un lado los montos exportados son marginales (fluctúan entre 45 mil y 23 mil dólares) y por otra muestran una tendencia a la baja (Figura 3). Por lo tanto, el desarrollo exportador de este rubro se puede considerar en un nivel básico y en consecuencia constituye un aspecto a ser mejorado. En este sentido, antes de iniciar cualquier acción de penetración o posicionamiento en el exterior es fundamental contar con una oferta de trigo candeal homogénea y de calidad, por tal motivo las acciones de desarrollo deberían estar centradas en primera instancia en la parte productiva, lo cual no significa necesariamente postergar acciones que permitan desarrollar canales de comercialización en el extranjero, también se pueden realizar, sobre todo aquellas que permitan a posteriori un mejor y más oportuno ensamble con los clientes. Por ejemplo, en la medida que se vayan desarrollando las mejoras en el producto final, éstas se pueden ir “testeando” y de esta forma, “sobre la marcha”, ir retroalimentado de señales a la oferta para mejorar el producto esencial y su agregación de valor, de manera que dicho ensamble sea lo más rápido posible.

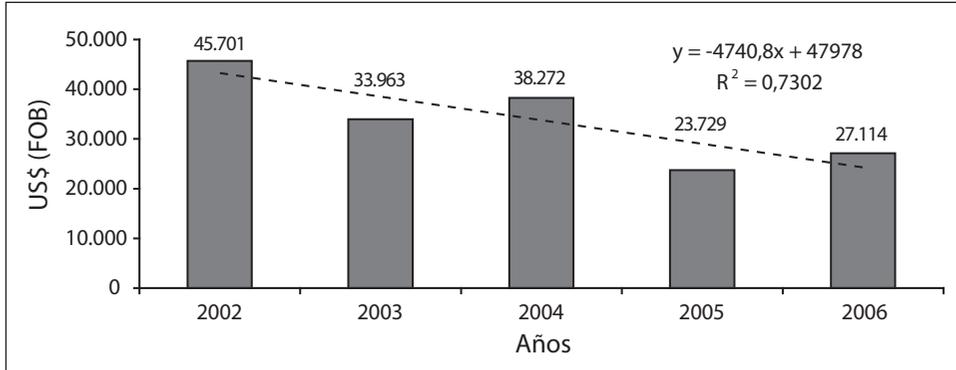


Figura 3: Exportaciones nacionales de trigo candeal. Período 2002-2006.

Fuente: Aduana de Chile, 2006.

El principal destino de las exportaciones chilenas en las temporadas 2005 y 2006 fue Holanda (Figura 4a) que representa el 63% del total durante el período. El siguiente país en importancia es Suecia. En cuanto al monto que representan estas exportaciones, éstas han aumentado desde los 23 mil a 27 mil dólares en las últimas temporadas. El grueso de estas exportaciones se ha concentrado en el verano (febrero principalmente). Sin embargo, según datos de ProChile, en la temporada 2007 (Figura 4b) no se registraron exportaciones de trigo candeal a Holanda, produciéndose una fuerte caída de las exportaciones. Por otra parte, Italia en esta última temporada ha pasado a ser el principal destino de las exportaciones de trigo candeal (aproximadamente 5.000 dólares, en enero de 2007). Aun cuando el monto es bastante marginal, se le reconocen a este mercado niveles altos de exigencia respecto a la calidad del trigo candeal.

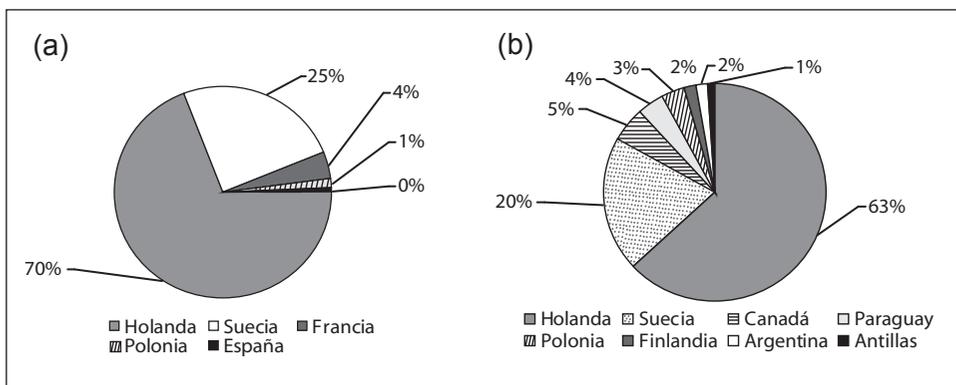


Figura 4a: Destino de exportaciones nacionales de trigo candeal en el año 2005.

Fuente: Aduana de Chile, 2006.

Figura 4b: Destino de exportaciones nacionales de trigo candeal en el año 2006.

Fuente: Aduana de Chile, 2007.

Con relación a las compras de materia prima provenientes del exterior, es posible observar en la Figura 5 que es el mes de julio donde se concentran las mayores importaciones, lo que es coherente con la oferta nacional en esta época del año. Contrario a esto, es en el mes de febrero cuando las importaciones son bajas debido a la mayor oferta disponible de trigo candeal en el mercado nacional. Por otra parte estas importaciones provienen en su mayoría desde Canadá (16,2 millones de dólares CIF en 2006). En este sentido si se contrastan las exportaciones versus las importaciones la balanza comercial es altamente negativa. Sin embargo, esto no es un impedimento para que Chile vea en este agronegocio un potencial exportador, ya que es el enfoque de su estrategia comercial la que sustenta dicho potencial. En este sentido es importante reconocer, por lo menos en el corto y mediano plazo, que el desarrollo de la oferta chilena de trigo candeal debería estar orientado hacia los productos diferenciados y no hacia los commodities, que es el negocio de los países grandes productores y exportadores.

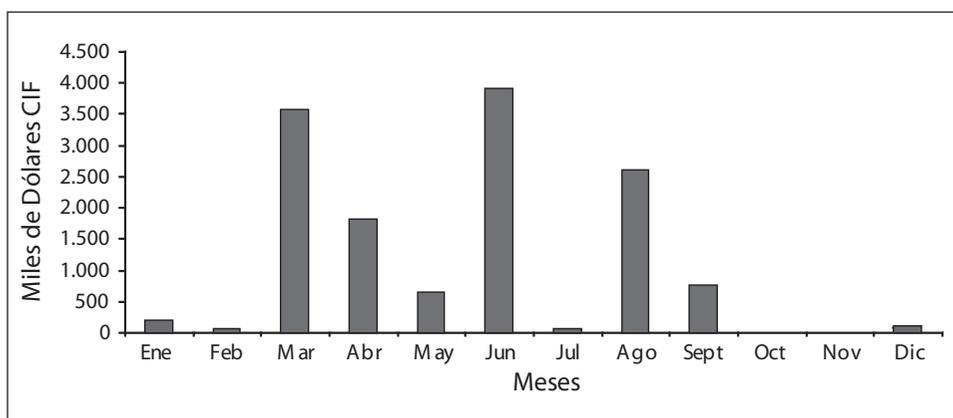


Figura 5: Estacionalidad de las importaciones nacionales de trigo candeal. Año 2006.

Fuente: ProChile; Aduana de Chile, 2007.

Un sistema de inteligencia de mercado para el trigo candeal chileno y sus derivados.

Resulta básico a la hora de plantear acciones de desarrollo para cualquier producto, conocer los requerimientos de los clientes/consumidores. En este sentido, el trigo candeal chileno tiene posibilidades reales de desarrollar características que estén en sintonía con las tendencias del consumo agroalimentario mundial, en términos de calidad y de preferencias de consumidores. En el hemisferio norte se observa una tendencia positiva hacia el consumo de productos del nuevo mundo.

En el contexto descrito, la implantación de sistemas de inteligencia de mercado se refuerza aún más, si se tiene presente el escenario mundial del mercado de los granos, en el cual cada vez se le da un papel más relevante al mercado como asignador de recursos que a las medidas de intervención estatal (precios de sustentación, sistemas de comercialización y sistemas de cuotas) (Troughton, 1989;

Wu y McErlean, 2003; Kherallah *et al.*, 2003; Rashid *et al.*, 2006). Asimismo, en la perspectiva descrita el rol que le compete al conocimiento de los mercados para mantenerse competitivamente en los distintos mercados se transforma en un requerimiento necesario. Una prueba de ello se consigna en un artículo de Lee *et al.* (2000), quienes investigan las preferencias hacia diferentes atributos (visuales y no visuales) de trigo duro canadiense por parte de clientes estadounidenses. En mercados saturados (oferta superior a la demanda), como el de las pastas secas y en alguna medida el de las pastas frescas, es relevante estar constantemente "reencantando" al consumidor, de manera que éste fije preferencias hacia el producto. Por otro lado, es altamente probable que esta situación de saturación se repita en forma masiva en productos primarios (trigo candeal diferenciado) y de transformación intermedia (semolina). En este contexto, sobre todo si se considera la generación de nuevas opciones productivas para la industria triguera como investigar el desarrollo de fideos a partir de trigo duro estadounidense en los mercados de Taiwan, Tailandia y Malasia realizando pruebas de evaluación sensorial (Janto *et al.*, 1998). Asimismo, se investigan preferencias hacia diferentes formulaciones de fideos de trigo (Tang *et al.*, 2000). La identificación, caracterización y dimensionamiento detallado de los segmentos de mercado asociado a las preferencias que se tienen que satisfacer, tanto en el mercado doméstico como internacional, se transforma en un requerimiento básico, que puede tener su respuesta en un sistema de inteligencia de mercados.

Hoy se habla, por ejemplo, del segmento de alimentos funcionales, como también se habla del segmento de las pastas frescas y de las secas, denominaciones que no dejan de ser genéricas y por tanto poco eficientes para que la oferta se ajuste a la demanda. Por tal motivo, dichos segmentos requieren de una segmentación más específica (Sarabia, 1996); en síntesis, explorar nichos de mercado y evaluar preferencias hacia atributos específicos, un ejemplo es preferencia hacia fideos instantáneos fortificados (Le *et al.*, 2007). En esta misma perspectiva, dentro de las pastas funcionales, un segmento de mercado puede buscar altos contenidos proteicos, otro puede buscar pastas aptas para el consumo de personas celiacas, otro segmento, dentro de este mismo concepto de funcionalidad, puede buscar la fraccionabilidad del producto, e incluso otro puede buscar un método de producción orgánico o ecológico y así se pueden encontrar varios segmentos más. Sin embargo, actualmente estas segmentaciones finas no están claras y es necesario generarlas, para lo que se requiere del diseño adecuado de estrategias de marketing, que permitan asegurar mercado a los productores, transformadores y comercializadores.

Para plantear adecuadamente estas estrategias de marketing es recomendable considerar aquellos atributos que agreguen valor al producto que se pretende comercializar (Mora *et al.*, 2003; Mora, 2007) y definirse hacia algún tipo de estrategia comercial, de preferencia diferenciadora (Porter, 1982). En cuanto a la agregación de valor, es importante considerar atributos intrínsecos del producto, que en la pasta puede ser el contenido proteico, color, sabor, entre otros y también los atributos extrínsecos, asociados al marketing (diseño del envase, formato de venta, canal de distribución, precio, promoción y/o publicidad, etiquetado, denominación de origen calificada, entre otras). También, para un adecuado diseño de estrategias de marketing, es necesario considerar otro tipo de variables

más complejas y que despiertan intereses afectivos en los consumidores, por ejemplo estilos de vida, actitudes y motivaciones hacia el producto, como también las clásicas variables sociodemográficas (Grande y Abascal, 2003; Santesmases, 2004). En síntesis, es fundamental contar con información de mercado de calidad y oportuna que oriente adecuadamente a la oferta, en contexto estratégico, es decir, bajo una mirada de mediano y largo plazo.

La cadena productiva del trigo candeal y la innovación.

Si se le concede al mercado el papel de orientador de la oferta, es válido que un sistema de inteligencia de mercados debería dar señales claras a toda la cadena productiva y comercial. Sin embargo, para la materialización de dichas señales en respuestas concretas, la innovación ¿"cambio que crea valor reconocido por el consumidor o usuario o mercado"- tiene un papel relevante. Al respecto Rothwell (1994) plantea que la generación de procesos de innovación debería desarrollarse en un contexto de integración de sistemas y redes, en los cuales son básicos los siguientes elementos:

- Focalizado en el cliente, este agente es fundamental en el corto plazo, ya que es el que compra. También lo son los consumidores, ya que son los que generan las tendencias en el consumo.
- Estrategia basada en el tiempo (más rápido, más eficiente el desarrollo de productos).
- Centrarse en la calidad y otros factores distintos de los precios, por ejemplo una denominación de origen para trigo candeal de carácter nacional.
- Énfasis en la flexibilidad y capacidad de respuesta empresarial.
- Integración estratégica con los principales proveedores de la industria de trigo candeal.
- Estrategias para la colaboración tecnológica horizontales.
- Estrategias de procesamiento electrónico de datos.
- Enfoque hacia la calidad total en la industria de trigo candeal, harina y pastas.

En estos elementos subyacen otros como la optimización y la eficiencia, condiciones básicas para participar competitivamente en los diferentes mercados.

Finalmente, en un intento de darle un enfoque sistémico y orgánico al desarrollo del trigo candeal en Chile, se plantea a continuación una propuesta de modelo de desarrollo para la industria del trigo candeal en el que convergen agregación de valor, inteligencia de mercados e innovación.

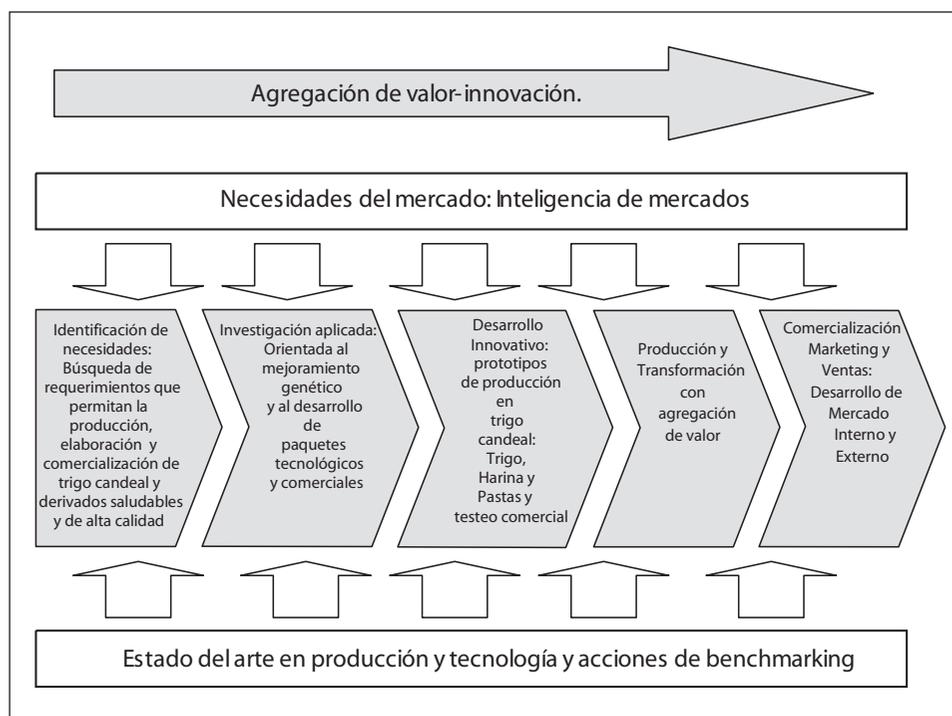


Figura 6: Propuesta de modelo de desarrollo para el trigo candeal chileno, innovación e inteligencia de mercados.

Fuente: Adaptado por el autor a partir de Galanakis (2006).

SÍNTESIS

- Es importante seguir esquemas similares a los utilizados por USA, Canadá, Australia y la Unión Europea, que desde hace tiempo han ido mejorando su calidad y con ello las expectativas de rentabilidad de los productores.
- La existencia de una agricultura de contrato en la industria del trigo candeal plantea un nivel de formalidad mayor en la relación agroindustria – productor, lo que es un buen punto de partida para desarrollar innovación. También lo son productores de trigos blandos que realizan una buena gestión predial y que pueden reconvertirse a un cultivo de similares características y mayores beneficios económicos.
- El trigo, en general y especialmente el candeal, ya no puede entenderse como un producto genérico o commodity, ya que las exigencias de los diferentes mercados de destino, incluso el chileno, van en una dirección que privilegia la calidad y la diferenciación. Hay que satisfacer necesidades específicas y no genéricas.
- La forma de desarrollar la calidad debe ser en un ámbito multidimensional que considere la calidad técnica asociada al uso y la percibida asociada a los consumidores.
- Es necesario trabajar en varios ámbitos, desarrollo de nuevas variedades, zonificación geográfica para la búsqueda de las mejores condiciones edafoclimáticas, homogeneización y estandarización del producto primario, conocimiento de nichos de mercados específicos, incorporación de los cambios en la demanda alimentaria, identificación y desarrollo de clúster estratégicos con visión de agregación de valor y de mercado en toda la cadena alimentaria, desarrollo de sistemas de clasificación y segregación en el mercado del trigo, desarrollo de un sistema de inteligencia de mercado que permita retroalimentar a la oferta con información de calidad y oportuna nacional e internacional que permita una eficiente y redituable toma de decisiones, entre otras.
- También existen otros desafíos que si se cumplen le podrían permitir a este rubro un mayor nivel de competitividad. Uno de ellos es desarrollar asociatividad, para disminuir costos y mejorar capacidad de negociación. El otro, la exportación comenzando por Latinoamérica.
- Finalmente, resaltar el énfasis, en entender la inteligencia de mercados como un elemento necesario para conocer los requerimientos de los mercados, pero también para proyectar la demanda futura. La valoración de la calidad hacia la configuración de productos Premium es un aspecto que también puede ser incorporado en propiedad a la cadena del trigo candeal en sus diferentes fases, están las condiciones agronómicas para su desarrollo, lo que falta está en el campo de los paquetes tecnológicos, en la comercialización y el marketing.

LITERATURA CITADA

- Aduana de Chile. 2007. Estadísticas interactivas. Disponible en www.aduana.cl
- Galanakis, K. 2006. Innovation process. Make sense using systems thinking. *Technovation* 26: 1222-1232
- Grande I. y Abascal, F. 2003. Fundamentos y Técnicas de Investigación Comercial. Ed. ESIC. Madrid.
- Fundación Chile. 2005. Una nueva visión para el sector triguero en Chile. Área Agroindustrial de Fundación Chile. 99 p.p.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 1997. Censo Agrícola.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2006. Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2004-2005.
- Janto, J., Pipatsattayanuwong, P., Kruk, M., Hou, G. y McDaniel, M. 1998. Developing noodles from US wheat varieties for the Far East market: sensory perspective. *Food Quality and Preference* 9 (6): 403-412.
- Kherallah, M., Minot N. and Gruhn, P. 2003. Adjustment of wheat production to market reform in Egypt. *Research in Middle East Economics* 5: 133-159.
- Le, H., Joosten, M., Van der Bijl, J., Brouwer, I., De Graaf, J. and Kok, F. 2007. The effect of NaFeEDTA on sensory perception and long term acceptance of instant noodles by Vietnamese school children. *Food Quality and Preference* 18(4): 619-626.
- Lee, M., Lerohl, M. and Unterschultz, J. 2000. Buyer preferences for durum wheat: a stated preference approach. *The International Food and Agribusiness Management Review*, 3(3):353-366.
- Mora, M., Espinoza, J., Bruna G., Kern, W. and Marchant, R. 2003. Comercialización de Productos de Origen Agropecuario y Agroindustrial. Programa de Gestión Agropecuaria. Ministerio Agricultura de Chile- Fundación Chile- Universidad de Chile. 76 p.
- Mora, M. 2007. Inteligencia de Mercados: Un Requerimiento Necesario para el Desarrollo de la Industria Agroalimentaria. *Revista Antumapu* 5 (1): 31-35.
- ODEPA. 2006. El Mercado del trigo. Agricultura y Mercados. Disponible en www.odepa.cl
- Porter, M.E. 1982. *Estrategia Competitiva*, CECSA, México. 384 p.p. ProChile. 2007. Estadísticas on line. Disponible en www.prochile.cl
- Rashid, S., Cummings, R. and Gulati, A. 2007. Grain Marketing Parastatals in Asia: Results from Six Case Studies. *World Development* 35 (11): 1872-1888.
- Rothwell, R. 1994. "Towards the Fifth-generation Innovation Process", *International Marketing Review* 11(1): 7-31.
- Santesmases, M. 2004. Marketing. Conceptos y Estrategias. Ed. Pirámide, S.A. Madrid 1117 p.p.
- Sarabia, F.J. 1996. Model for market segments evaluation an selection. *European journal of Marketing* 30 (4): 58-74.
- Tang, C.; Heymann, H. and Hsieh, F. 2000. Alternatives to data averaging of consumer preference data. *Food Quality and Preference* 11(1-2):99-104
- Troughton, M. 1989. The role of marketing boards in the industrialization of the Canadian agricultural system. *Journal of Rural Studies* 5(4): 367-383.
- Turner, N.C. 1982. The role of shoot characteristic in drought resistance in crop plants *In*. Principles and methods for crop improvement for drought resistance with emphasis on rice IRRI. Los Baños. The Philippines. 115-134 pp.
- Wu, Z. and McErlean, S. 2003. Market efficiency in the reformed Chinese marketing system China. *Economic Review* 14: 115-130.

6

*Calidad de trigo candeal, fisiología y manejo agronómico***P. Silva, J. Kolopp y E. Acevedo.**

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. psilva@uchile.cl; juliette.Kolopp@hotmail.fr; eacevedo@uchile.cl

INTRODUCCIÓN

La calidad del grano es un concepto determinado por un conjunto de parámetros, cuya combinación da como resultado un producto de cualidades específicas. El alto contenido de proteína y dureza del grano de trigo candeal le otorga características específicas para la fabricación de pastas, couscous, burghul y mote, entre otros. La comprensión del proceso de crecimiento del grano por acumulación de hidratos de carbono y proteína permite entender cómo la calidad del grano de trigo candeal puede ser afectada por el medio ambiente y cómo puede ser manipulada a través del manejo agronómico.

CALIDAD INDUSTRIAL DE TRIGO

El rendimiento industrial del trigo panadero se mide por el rendimiento en harina (granulometría entre 100 y 180 micras), mientras que el rendimiento industrial del trigo candeal se mide por el rendimiento en sémola (granulometría entre 200 y 850 micras). Los principales parámetros de calidad industrial para trigo panadero y candeal se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Parámetros de calidad en trigo.

Trigo Panadero	Trigo Candeal
Porcentaje de proteína	Porcentaje de proteína
Peso del hectolitro	Peso del hectolitro
Índice de dureza	Índice de dureza
Sedimentación (Zeleny)	Sedimentación (SDS)
Absorción de agua	Gluten húmedo
Volumen de pan	Gluten seco
Desarrollo de la masa	Gluten index
Color de miga	Color de gluten
Textura de miga	Extracción de sémola
Valor W (Farinografo)	Contenido de cenizas
Valor W (Alveografo)	Manchado de sémola
	Peso luego de cocción
	Pérdida de cocción
	Firmeza de cocción
	Amarengamiento
	Punta Negra

La calidad industrial de trigo candeal se rige por la Norma Oficial Chilena (NCh 1319 Of1977) que se basa en la metodología y normas internacionales de la ICC (Internacional Cereal Chemistry) y de la AACC (American Association of Cereal Science and Tecnology). La Norma Oficial Chilena y los valores que se aceptan en la industria nacional se presentan en el Capítulo 6 de este volumen. Las empresas europeas tienen estándares de calidad superiores en cuanto a contenido de proteína y vitrosidad de grano. Así, la empresa Productos Alimenticios Gallo, exige a los productores españoles un mínimo de 12% de proteína, comenzando a bonificar sobre 14%. Mientras que el mínimo de granos vítreos es de 75%. Además, esta empresa bonifica por peso del hectolitro por sobre 78 kg/hl, humedad de grano menor a 8% e impurezas menores a 10%. Las exigencias de compra aumentan cuando se importa el producto (Comunicación personal con Ignacio Solís Martel, gerente de Agrovegetal S.A., España).

El grano de trigo candeal es mejor que el grano de trigo panadero para la fabricación de pastas, debido a que la pasta de trigo candeal soporta mejor la ebullición dado que en el endosperma hay menos gránulos de almidón, y por lo tanto la matriz de proteína es más continua y resistente que la de trigo panadero. Con arroz, maíz, o mandioca se necesita agregar aditivos para la fabricación de pastas (ITCF, 1996).

Para trigo candeal, los parámetros de calidad más importantes son calidad y cantidad de proteínas, que definen la fuerza de maza de la pasta y la estabilidad de la pasta durante la cocción (firmeza de cocción), el color de gluten (índice de amarillo y marrón) y la punta negra (Nachit *et al.*, 1993; ITCF, 1996).

CRECIMIENTO DEL GRANO DE TRIGO

El grano de trigo contiene principalmente almidón, proteína, agua, y en menor proporción grasas, minerales, celulosa y vitaminas. En el endosperma se encuentra el almidón que constituye el 70-80% del peso seco del grano. El grano de trigo posee alrededor de 10% de proteína en trigo panadero y 12% en trigo candeal (Nachit *et al.*, 1993). El 85% de la proteína está constituida por el gluten que representa la porción de proteínas insoluble en agua, constituida por las proteínas de reserva del grano que se ubican en el endosperma. El gluten está compuesto principalmente por dos grupos de proteínas: gliadinas y gluteninas (Hoseney, 1991). El 15% de la proteína restante es soluble en agua y se encuentran en el embrión y en la capa de aleurona del grano (Figura 1).

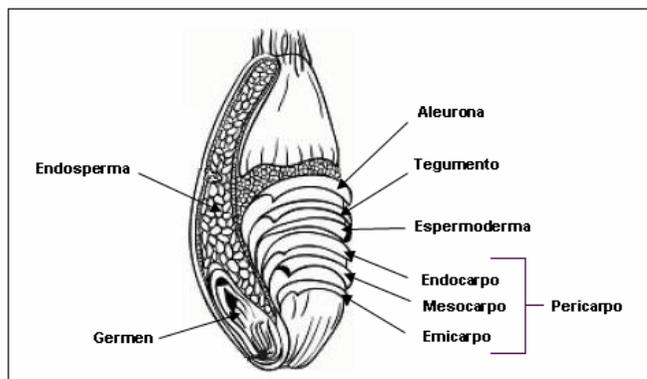


Figura 1: Esquema de un grano de trigo.

Acumulación de carbohidratos.

Los carbohidratos corresponden al 70% de la masa del grano, el 97% de éstos corresponden a almidón. La acumulación de almidón provoca el crecimiento del grano.

La curva de crecimiento del grano tiene forma sigmoidea. Hay una fase corta de lento crecimiento seguida por una fase de rápido crecimiento lineal, al final la tasa de acumulación de materia seca disminuye para llegar a cero en madurez fisiológica (Figura 2).

Jener *et al.* (1991) describen el crecimiento de granos en dos procesos, alargamiento del grano y llenado de grano. El alargamiento del grano es el proceso de construcción de estructuras en las que el almidón y otros constituyentes se almacenarán durante el llenado de grano. El alargamiento celular comienza con la fertilización, generalmente dura 20 días y es el proceso dominante durante la fase de lento crecimiento en términos de masa. Luego de la fertilización hay una rápida división mitótica cuya tasa disminuye al 25% después de 2 a 4 días. En los siguientes 15 días se alcanza un total de aproximadamente 100.000 células en el endospermo. Durante este período cada célula se alarga en respuesta a una presión hidrostática (turgor) y el grano crece en volumen. En este punto el endospermo es una gran bolsa llena con 100.000 de estas células pequeñas. Durante el período de lento crecimiento (masa) ocurre una depositación de gránulos de almidón en los amiloplastos tipo A. La depositación continúa con los amiloplastos tipo B que se inicia alrededor de los 15 días después de antesis y continúa hasta cerca de la madurez fisiológica. Poco se sabe de los gránulos de almidón tipo C, sólo que su depositación comienza a los 25 días después de antesis. Los granos de almidón se acumulan dentro de amiloplastos que están dentro de las células del endospermo.

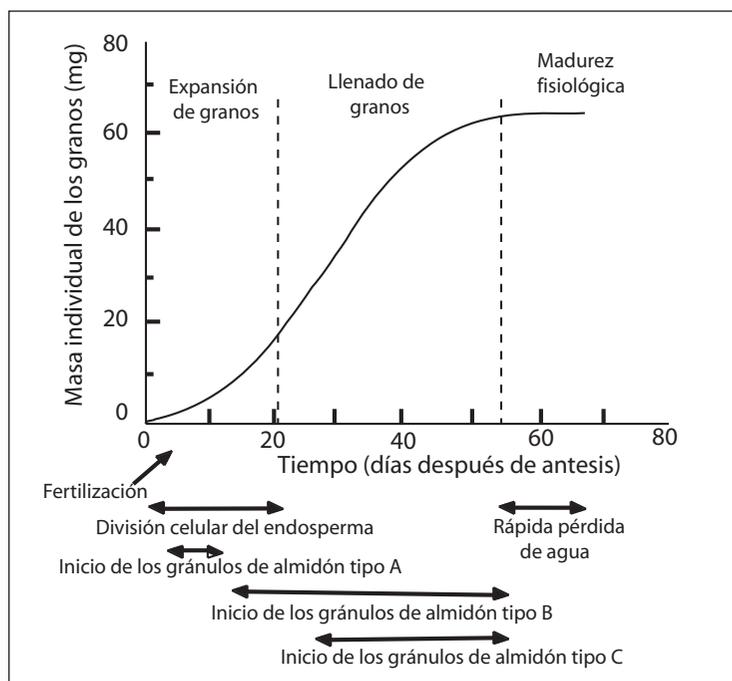


Figura 2: Crecimiento de un grano de trigo, con los eventos claves de acumulación de almidón (Stone y Savin, 1999).

Acumulación de proteína.

Las proteínas se depositan en cuerpos membranosos discretos del endospermo durante el llenado de grano. Dentro de cada cuerpo proteico, la proteína es sintetizada por el ribosoma y es depositada en la vacuola. Los cuerpos proteicos no permanecen como cuerpos discretos, el cuerpo proteico pierde su integridad, de forma tal que en el grano maduro las proteínas forman una matriz continua a través del endospermo. El porcentaje de proteína es en sí mismo un producto secundario de la interacción de proteínas del grano con otros constituyentes, principalmente almidón. Un cambio en el contenido de proteína o almidón afecta el porcentaje de proteína.

La acumulación de proteína es generalmente sigmoidea y la tasa de depositación es alrededor de 0,15 a 0,20 mg / día, con variaciones en la tasa de depositación asociadas a los factores genotipo, fertilización y temperatura. Es difícil decir cuánta proteína tiene un grano, pero fluctúa entre 4 y 10 mg (Figura 3).

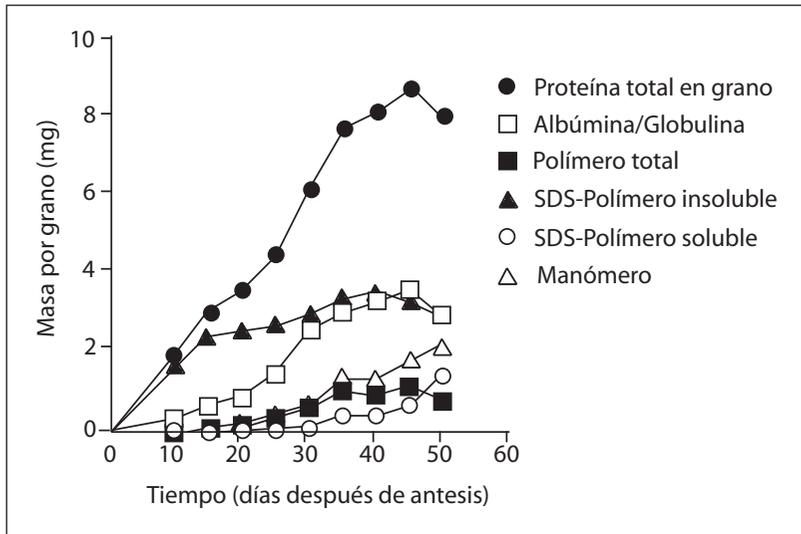


Figura 3: Acumulación de fracciones de proteína en el desarrollo del grano de trigo (Stone y Savin, 1999).

La tasa y duración de la acumulación de las distintas proteínas difiere (albúmina, globulina, gliadina y glutenina). Las proteínas metabólicas (albúminas y globulinas) son las primeras en acumularse en cantidades importantes. Albúminas y globulinas juntas constituyen aproximadamente el 90% de la proteína total del grano en los primeros 10 días de su crecimiento. La proporción de albúmina y globulina desciende durante el crecimiento del grano llegando a madurez con valores de 20 a 30%. Esta disminución se produce debido a que la síntesis de proteínas de almacenaje (70 a 80% de la masa de proteína a madurez) ocurre más tarde en el llenado de grano. La gliadina es la primera proteína de almacenaje y su acumulación comienza entre el día 5 y 10 después de antesis. En este punto ésta corresponde al 10% de la proteína total. Alcanzando un 30 a 40% de la masa de proteína a la cosecha del grano.

Las gluteninas son frecuentemente las últimas proteínas en aparecer en el grano y no están presentes en cantidades significativas hasta después de 20 días después de antesis. La glutenina se acumula linealmente hasta la madurez. Alcanza un 30 a 40% de la masa de proteína a la cosecha del grano.

El promedio del peso molecular de las proteínas aumenta con el llenado de grano, la proporción de proteínas de bajo peso molecular (albúminas y globulinas) disminuye con el llenado de grano y disminuye la razón gliadina: glutenina. En el caso de trigo harinero las variedades con harinas fuertes tienen una mayor proporción de glutenina insoluble que las variedades con harinas débiles (Stone y Savin, 1999).

La máxima tasa de síntesis de proteína ocurre a los 21 días después antesis, para gliadina es a los 21,4 días, y para glutenina es a los 27,6 días después antesis (Panozzo y Eagles, 2000). Estos mismos autores señalan que en el caso de trigo candeal, existen dos formas para aumentar la tasa de proteínas en el grano. A través de un estrés térmico en la fase final de madurez, que influirá en una nueva distribución de las proteínas en la planta, ya que las proteínas de las hojas y del tallo pasan hacia el grano. Otra forma es una sequía en llenado de grano, que puede influir en una senescencia temprana de las hojas y más proteínas van al grano (Campbell *et al.*, 1981, citado por Rharrabti *et al.*, 2000).

El clima mediterráneo se caracteriza por sequía y calor después de antesis. Eso significa que la fotosíntesis está limitada después de esta fecha. Entonces para llenar los granos, la planta va a usar principalmente los asimilados presentes en su parte vegetativa. Por lo tanto, el rendimiento depende mucho de la translocación hacia el grano (Papakosta y Gagianas, 1991). Las nuevas líneas de trigo candeal pueden translocar entre 40-44% de su biomasa total al grano (Pfeiffer *et al.*, 2000). El máximo contenido de N en la planta ocurre en espigadura (Denmead *et al.*, 1974). Dos tercios o más de la proteína que es almacenada en los granos está presente en la planta a antesis (Austin *et al.*, 1977); la diferencia es absorbida desde el suelo durante el período de desarrollo del grano (Krammer, 1979).

PARÁMETROS QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL TRIGO

La calidad de trigo candeal no sólo está determinada por el genotipo, sino que depende fuertemente del medioambiente y del manejo agronómico (Autran *et al.*, 1993, Nachit *et al.*, 1993, Kling *et al.*, 2000, Souza *et al.*, 2004; Amri *et al.*, 2000; Miyan y Anderson, 2003).

Temperatura. El período de llenado del grano es muy dependiente de la temperatura después de antesis. Los granos chicos son el resultado de altas temperaturas debido al acortamiento del período de llenado de grano (Smith y Gooding, 1999). El rendimiento en grano disminuye aproximadamente en 3 a 4% por cada °C de aumento en temperatura media sobre 15 °C durante el llenado de grano. Esto ocurre primeramente porque la acumulación de almidón se reduce. Cuando la temperatura media sube sobre 15 °C durante el llenado de grano, el aumento de la tasa de depositación de almidón no compensa adecuadamente la reducción del periodo de acumulación de almidón y consecuentemente el tamaño del grano y el rendimiento disminuye.

La acumulación de proteína en el grano también disminuye con el aumento de temperatura, sin embargo, es menos sensible a la temperatura que el almidón.

Como resultado del aumento de temperatura durante el llenado de grano aumenta el porcentaje de proteína.

La temperatura máxima del mes en que las variedades alcanzan la madurez de cosecha es importante en la obtención de un grano de calidad. La temperatura media para lograr el máximo peso de 1.000 granos está entre 15 y 18 °C (Maçãs *et al.*, 2000). Temperaturas de 18,5 °C a 20 °C durante llenado de grano provocaron una reducción de 29-35% del peso de 1000 granos y de 7-9% del peso hectolitro en Canadá (Gan *et al.*, 2003). En Portugal, se observó que un aumento de la temperatura máxima media durante el llenado del grano de 23 °C a 29 °C provocó una pérdida de 13% del peso de grano en trigo harinero y 12% en el trigo candeal (Maçãs *et al.*, 2000).

Existe una relación positiva entre proteína y fuerza de la masa hasta 30 °C, la cual se rompe sobre esta temperatura pudiendo llegar a ser una relación negativa. Este cambio en la relación "normal" entre porcentaje de proteína y fuerza de la masa es causado por cambios en la composición de proteínas. En muchas variedades de trigo la razón gliadina: glutenina aumenta con temperaturas sobre 30 °C (Panozzo y Eagles, 2000). Esta relación parece aumentar porque la acumulación de gliadina se reduce menos con alta temperatura que la acumulación de glutenina (Stone y Savin, 1999).

Por otra parte, Peña (2001) señala que la oscilación térmica día-noche en los meses de diciembre y enero debe ser inferior a 14 °C, ya que oscilaciones mayores hacen que los asimilados proteicos no se acumulen en su totalidad en el grano, disminuyendo el contenido de proteína.

Rharrabti *et al.* (2003a), por otra parte, encontraron una alta relación ($r=0,911$) entre la temperatura media de toda la estación de crecimiento (entre 10,5 y 15,5 °C) y el contenido de pigmento en el grano de trigo duro en España.

Precipitación. Constituye un factor trascendente en la obtención de granos de trigo sano. Si hay precipitaciones en etapas tempranas de espigadura o bien en proximidad de la cosecha, la sanidad y calidad industrial del grano se ve seriamente afectada (Peña, 2001). El grano, para tener calidad industrial debe, en primer lugar, estar libre de enfermedades fungosas y de granos brotados a la cosecha. La dureza del grano puede verse fuertemente afectada por exceso de lluvia durante el periodo de cosecha.

La lluvia durante el llenado de grano puede provocar pérdidas por lixiviación del nitrógeno aportado por fertilizante. Este último punto es un argumento para considerar aplicación de nitrógeno más tarde en la temporada (Smith y Gooding, 1999). Medioambientes donde cambia mucho el nivel de precipitación influyen sobre los parámetros de calidad como la calidad del gluten, el índice de sedimentación y no influye sobre el rendimiento, el contenido en gluten y el color amarillo del grano (Cseuz *et al.*, 2000).

Humedad atmosférica. La calidad industrial del grano se deteriora con valores de humedad superiores a 82%, especialmente cuando se están transportando los asimilados proteicos al grano, ya que en este caso la composición del grano queda definida por el transporte previo de glucosa acumulada como almidón. Además, una humedad superior al 82% dificulta la posibilidad de llegar a madurez de cosecha con un 13,5% de humedad en el grano y compromete su sanidad (Peña, 2001).

El problema de "Punta negra", que afecta la calidad del grano, se encuentra asociado a climas fríos, húmedos y con niebla durante el desarrollo del grano. Este problema es causado por *Alternaria spp.* y *Cochliobolus sativus*. La humedad influye sobre el porcentaje de punta negra y el trigo candeal es más sensible que el trigo harinero (Southwell *et al.*, 1980). En relación a esto, Fernández *et al.* (2000) señalan que, en algunos medioambientes, el mayor porcentaje de punta negra en trigo candeal que en trigo harinero se explica por una mayor decoloración del grano de trigo candeal que de trigo harinero. Por otra parte, punta negra se encuentra más en campos regados. En un trabajo realizado por Fernández *et al.* (2000) encontraron interacción genotipo-año-localidad para punta negra, indicando que la reacción del cultivar cambió con el año y la localidad. Por otra parte, Kling *et al.* (2000) muestran que punta negra está correlacionada con el medio ambiente y muy poco con el genotipo.

Desclaux (1999) mostró que de espigadura hasta floración, la varianza de la tasa de punta negra se correlacionó con la temperatura. Después de floración, la humedad es la causa de punta negra. Sin embargo, durante todo el crecimiento de la planta, la interacción humedad-temperatura tiene un efecto importante, alta humedad (80-90%) y bajas temperaturas (13-14 °C) provocan punta negra, mientras que alta humedad y alta temperatura provocan menos problema.

Fertilización nitrogenada. La fertilización nitrogenada puede aumentar el rendimiento, el porcentaje de proteína o ambos. El porcentaje de proteína responde diferencialmente ante la aplicación de fertilizante nitrogenado (Figura 4). Ante un bajo nivel de nitrógeno en el suelo, la fertilización aumenta el rendimiento y la proteína en el grano, pero la respuesta en almidón es usualmente mayor, por lo que se tiende a aumentar el rendimiento y disminuir el porcentaje de proteína en el grano. Posteriormente aparece una fase en que la aplicación de nitrógeno tiene un efecto reducido en rendimiento, aumentando proporcionalmente el impacto sobre la proteína acumulada. El efecto neto del N en esta segunda fase es un pequeño aumento en rendimiento, comparado con un gran efecto sobre el porcentaje de proteína. Cuando se aplica una alta dosis de N, el cultivo puede alcanzar una tercera fase de respuesta, en que la fertilización adicional no afecta el rendimiento sino que sube su contenido de proteína.

La aplicación de N adicional en la segunda etapa también cambia la composición de la proteína del grano, el porcentaje de proteína aumenta, la proporción de glutenina en el grano disminuye y esto ocurre porque la acumulación de gliadina en este período es mayor que el de glutenina. La fertilización N tiende a aumentar el porcentaje de proteína del grano (el cual tiende a incrementar la fuerza de la masa) y a aumentar la razón de gliadina: glutenina (que tiende a reducir la fuerza de la masa). En todo caso la fertilización N tiene un efecto tan positivo sobre la fuerza de la masa que compensa el efecto negativo del aumento de la relación gliadina: glutenina. En la práctica, los agricultores pueden aumentar el contenido de proteína del grano aplicando nitrógeno al trigo mientras la cariósida se encuentre en estado lechoso (Gooding y Davies, 1992).

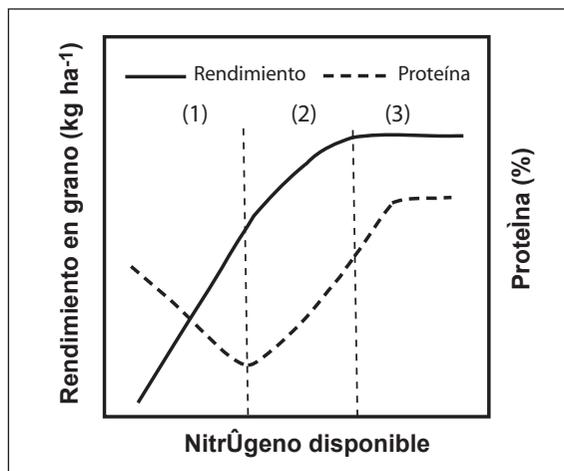


Figura 4: Diagrama de la respuesta de rendimiento y el porcentaje de proteína según la fertilización nitrogenada (Stone y Savin, 1999).

El nivel de nitrato del suelo al inicio del cultivo tiene un alto impacto en la eficiencia del fertilizante nitrogenado para aumentar el porcentaje de proteína del grano, así lo demuestra el trabajo de Abad *et al.* (2000) quienes en dos localidades, una con 35 kg N/ha en el suelo y otra con 348 kg N/ha, encontraron que en el sitio con menor contenido de nitrato, el contenido de proteína fue de 12,5% sin fertilización y, de 15,2% con una fertilización de 200 kg N/ha. En el sitio con mayor N, el contenido de proteína sin fertilización fue de 15% subiendo a 15,8% con la fertilización de 200 kg N/ha. Si el nivel de nitrato en el suelo es alto una fertilización nitrogenada tendrá un escaso efecto en el contenido de proteína del grano.

El momento de la aplicación del nitrógeno también influye en la calidad del grano. Aplicar dos o tres parcializaciones permite disminuir la cantidad de lixiviación y disminuye la contaminación del agua. Además, permite a la planta tener nitrógeno disponible durante más tiempo. Miyan y Anderson (2003) no encontraron diferencias en rendimiento ni en contenido de proteína entre una aplicación de fertilizante nitrogenado hecho a la siembra y parcializaciones hechas a la siembra y en segundo macollo.

El factor determinante en la dureza y vitriosidad del grano de trigo candeal es el nitrógeno asimilable presente antes y después de la espigadura, siendo muy importante el momento de absorción de este elemento. Existe un notorio y significativo efecto de N sobre el porcentaje de grano amarengado, donde sólo la presencia del elemento produce una disminución de este efecto (Parodi *et al.*, 1982). Cuando falta N en el suelo aumenta el porcentaje de grano amarengado (Riveros y Granger, 1992). Al suprimir la aplicación de N en cualquier estado de desarrollo del trigo, se produce un aumento del amarengamiento y reducción del contenido de este elemento en el grano (Sallans y Simmonds, 1954). La fertilización nitrogenada aplicada en tres parcializaciones (siembra, macolla y preespigadura) aumenta la proporción de grano vítreo (Riveros y Granger, 1992).

Rotación de cultivos. Hay pocos trabajos del efecto de la rotación sobre la calidad de trigo candeal. En un trabajo realizado en condiciones de secano en Marruecos

con un rendimiento de 1,5 t/ha se observó, en un promedio de 23 genotipos de trigo candeal, un porcentaje de proteína 12,2% en un monocultivo de trigo candeal, 14,4% en trigo candeal-barbecho y 16,2% en trigo candeal-lenteja. Tanto el índice de sedimentación y rendimiento son mejores en las rotaciones que en monocultivo, por otra parte, se observó una mayor resistencia a problemas bióticos. Las diferencias en la calidad y rendimiento de trigo candeal proveniente de barbecho y rotación con lenteja fueron menores (Amri *et al.*, 2000). Gan *et al.* (2003) mostraron que rotaciones de trigo candeal con arveja, lenteja, garbanzo, mostaza o canola tienen el mismo efecto sobre el contenido en proteína del grano de trigo candeal. Las rotaciones leguminosa-oleaginosa, oleaginosa-leguminosa y leguminosa-cereal previas a trigo candeal no mostraron diferencias significativas en rendimiento. La rotación con mostaza permitió subir de 6 a 8% el rendimiento. Los mismos autores encontraron un efecto en rendimiento y porcentaje de proteína de trigo candeal producto del cultivo realizado 1 y 2 años previos al trigo candeal. El contenido de proteína en el trigo candeal fue 16 a 19% superior cuando hubo previamente dos años de leguminosas o la secuencia alternada leguminosa-oleaginosa que de un monocultivo de trigo.

Riego. En un trabajo realizado en España se observó que el riego disminuyó la calidad del trigo candeal, redujo el contenido de proteína del grano, disminuyó la vitreosidad, disminuyó el peso del hectolitro, disminuyó la fuerza del gluten medida como sedimentación (Test SDS) y aumentó el contenido de ceniza del grano (Cuadro 2). Algo similar encontraron Nachit *et al.* (1993) al estudiar las diferencias en calidad de grano entre campos regados y no regados. Observaron un menor porcentaje de proteína y vitreosidad del grano bajo riego. Mientras que el peso de 1000 granos como el peso del hectolitro aumentó bajo riego. Tanto en riego como en seco el contenido de proteína y la vitreosidad fueron más influenciadas por medio ambiente que por genotipo o GxE. Mientras que el contenido de pigmentos es un parámetro con mayor efecto genético.

El riego también puede aumentar los problemas de punta negra en especial los riegos que se realizan durante los estados de grano lechoso y grano pastoso en trigo harinero (Conner, 1987). Este problema es mayor con riegos frecuentes (umbral de riego de 25%) que con riegos más distanciados (umbral de riego 50%) (Conner *et al.*, 1992).

Cuadro 2: Parámetros de calidad de 10 genotipos de trigo duro sembrados en 2 localidades de riego y 2 de seco durante dos años en España (Rharrabti *et al.*, 2003b).

Parámetros	Riego	Secano	LSD
Contenido de Proteína (%)	13,7	15,1	0,4
Vitreosidad (%)	94,0	96,0	0,3
Contenido de pigmentos (ppm)	4,2	4,2	0,1
Peso de 1.000 granos	46,5	45,3	0,5
Peso del hectolitro (Kg/hl)	80,6	82,2	0,8
Test SDS (ml)	5,7	6,2	0,2
Contenido de cenizas (%)	2,96	1,94	0,04

SÍNTESIS

- El alto contenido de proteína es uno de los principales parámetros exigidos por la industria de pastas.
- De los parámetros de calidad el contenido de pigmentos tiene un efecto genético mayor que el medioambiente o la interacción GxE.
- La calidad puede ser mejorada a través de rotaciones y fertilización parcializada.
- Las condiciones de secano debieran potenciar la calidad del grano de trigo candeal.

LITERATURA CITADA

- Abad, A., Lloveras, J., Michelena, A. and Ferrán, J. 2000. Nitrogen fertilization effects on yield and quality of durum wheat in the Ebro Valle (Spain). *In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region*, Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM, Options Méditerranéennes n°40: 95: 575-577.
- Amri, A., Borynah, M., Nsarellah, N., Targnuti, M. and Nachit, M.M. 2000. Genetic and agronomic approaches to improve durum wheat quality in Morocco. *In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region*, Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM, Options Méditerranéennes n° 40: 90: 543-547.
- Austin, R.B., Ford, M.A., Edrich, J.A. and Blackwell, W.T. 1977. The nitrogen economy of winter wheat. *J. Agric. Sci. Cam* 88:159-167.
- Autran, J.C., Pogna, N.E. and Kudryavtsev, A.M. 1993. Use of genetic variation in the improvement of quality in durum wheat. *In: Durum wheat quality in the Mediterranean Region*, Di Fonzo, N., Kaan, F., and Nachit, M. (eds.), CIHEAM/ICARDA/CIMMYT, Zaragoza (Spain), 17-19 November 1993. Options Méditerranéennes, Serie A, 22: 67-80.
- Conner, R.L. 1987. Influence of irrigation timing on black point incidence in soft white spring wheat. *Canadian Journal of Plant Pathology* 9:301-307.
- Conner, R.L., Carefoot, J.M., Bole, J.B. and Kozub, G.C. 1992. The effect of nitrogen fertilizer and irrigation on black point incidence in soft white spring wheat. *Plant and Soil* 140:41-47.
- Cseuz, L., Matuz, J. and Beke, B. 1999. Annual effect on grain quality of winter durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) in Szeged, Hungary, *In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region*, Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM, Options Méditerranéennes n° 40: 16: 133-135.
- Denmead, O.T., Simpson, J.R. and Freney, J.R. 1974. Ammonia flux into the atmosphere from a graze pasture. *Science* 185: 609-610.
- Desclaux, D. 2000. Environmental conditions inducing black point symptoms in durum wheat. *In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region*, Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM, Options Méditerranéennes n°40: 82: 501-503.
- Fernández, M.R., Clarke, J.M. and Knox, R.E. 2000. Black point reaction of durum and common wheat cultivars grown under irrigation in Southern Saskatchewan. *Plant Disease* 84(8): 892-894.

- Gan, Y.T., Miller, P.R., Mc Conkey, B.G., Zentner, R.P., Stevenson, F.C. and Mc Donald, C.L. 2003. Influence of diverse cropping sequences on durum wheat yield and protein in the semiarid Northern Great Plains. *Agronomy Journal* 95: 245-252.
- Gooding, M.J. and Davies, W.P. 1992. Foliar urea fertilization of cereals: a review. *Fertilizer Res.* 32: 209-222.
- Hoseney, R.1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Proteínas de los cereales. González Zaragoza. España. Editorial Acribia. S.A. 321 p.p.
- Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF). 1996. Blé Dur, Objectif Qualité. Ed ITCF, Paris, France, 52p.p.
- Jener, C.F. Ugalde, T.D. and Aspinall, D. 1991. The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 18:211-226.
- Kling, C.I., Utz, H.F. and Münzing, K. 2000. Variation of quality traits in durum wheat in relation to variety and environment. *In: Durum wheat, semolina and pasta quality*, Ed. INRA, Montpellier (France) 61-65.
- Kramer, T. 1979. Environmental and genetic variation for protein content in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) *Euphytica* 28:209-218.
- Maçãs, B., Gomes, M.C., Dias, A.S. and Coutinho, J. 2000. The tolerance of durum wheat to high temperatures during grain filling. *In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region*, Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM, Options Méditerranéennes n°40: 38: 257-261.
- Miyan, S. and Anderson, W. 2003. Durum Wheat - a profitable crop for western Australia, The Australian Society of Agronomy, disponible en: <http://www.regional.org.au/au/asa/2003/c/6/miyan.htm>, visto el 20/01/2007.
- Nachit, M.M., Baum, M., Impiglia, A. and Ketata, H. 1993. Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in mediterranean environments. *In: Durum wheat quality in the mediterranean region*, Di Fonzo, N., Kaan, F., and Nachit, M. (eds.), CIHEAM/ICARDA/CIMMYT, Zaragoza (Spain), 17-19 November 1993. Options Méditerranéennes, Serie A, 22: 181-187.
- Panozzo, J.F. and Eagles, H.A. 2000. Cultivar and environment effects on quality characters in wheat II Protein. *Australian Journal Agricultural Research* 51: 629-636.
- Papakosta, D.K. and Gagianas, A.A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilisation, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Agronomy Journal* 83: 864-870.
- Parodi, P .C., I.M Nebrera y A. Cosmelli. 1982. Amarengamiento de los granos del cultivar de trigo Quilafén (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*), en respuesta al nitrógeno y densidad poblacional. *Ciencia e Investigación Agraria*. 9:89-93.
- Peña, R.J. 2001. Contribución de gluteninas (alto y bajo peso molecular) y las gliadinas al mejoramiento de la calidad en trigo. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo: un enfoque multidisciplinario. Ed. Kohli M. 397 p.p.
- Pfeiffer, W.H., Sayre, K.D. and Reymolds, M.P. 1999. Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region*. Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM Options Méditerranéennes n°40: 8:83-93.
- Rharrabti, Y., Elhani, S., Martos Nuñez, V. and García del Moral, L.F. 2000. Relationship between some quality traits and yield of Durum Wheat under Southern Spain conditions. *In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region*, Royo

- C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM, Options Méditerranéennes n°40: 88: 529-531.
- Rharrabti, Y., Villegas, D., Royo, C., Martos-Nuñez, V. and García del Moral, L.F. 2003a. Durum wheat quality in Mediterranean environments II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Research* 80:133-140.
- Rharrabti, Y., Royo, C., Villegas, D., Aparicio, N. and García del Moral, L.F. 2003b. Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research* 80:123-131.
- Riveros, F. y Granger, D. 1992. Trigo candeal: Granos blanqueados oscurecen el horizonte. *Revista Tattersall* N° 83: 10-11.
- Sallans, B.J. and Simmonds, P.M. 1954. The influence of variety and predisposing factors on the occurrence of yellowberry (starchiness) in wheat. *Canadian Journal of Agricultural Science* 34:353-405.
- Smith, G.P. and Gooding, M.J. 1999. Models of wheat grain quality considering climate, cultivar and nitrogen effects. *Agricultural and Forest Meteorology* 94: 159-170.
- Southwell, R.J., Wong, P.T. and Brown, J.F. 1980. Resistance of Durum Wheat cvs. To black point caused by *Alternaria Alternata*. *Australian Journal of Agricultural Research* 31: 1097-1101.
- Souza, E.J., Martin, J.M., Guttieri, M.J., O'Brien, K.M., Habernicht, D.K., Lanning, S.P., Mc Lean, R., Carlson, G.R. and Talbert, L.E. 2004. Influence of genotype, environment and nitrogen management on spring wheat quality. *Crop Science* 44: 425-432.
- Stone, P. and Savin, R. 1999. Grain Quality and its Physiological Determinants. *In: Satorre, E. and Slafer, G. (Ed.) Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination*. The Haworth Press, Inc. NY. 85-120 p.p.

7

Trigo candeal: ¿Dónde cultivar para tener una mejor calidad?

P. Silva, J. Kolopp y E. Acevedo.

Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Casilla 1004. Santiago. Chile. psilva@uchile.cl; juliette.Kolopp@hotmail.fr; eacevedo@uchile.cl

INTRODUCCIÓN

El trigo candeal sirve para hacer pastas, bourghul, couscous y en algunos países pan. Estos productos tienen bajo nivel de transformación por lo que su calidad depende mucho de la calidad del grano de trigo. Las pastas, bourghul y couscous necesitan la misma calidad de grano (Peña y Wolfgang, 2006) por lo que es fácil establecer normas comunes de calidad.

La calidad del trigo candeal es un parámetro de gran importancia para su utilización. Por lo tanto, para que Chile pueda exportar grano de trigo candeal, debe cumplir con normas de calidad más exigentes (Peña y Wolfgang, 2006). En el país, las dos empresas más grandes de producción de pastas son LUCCHETTI y CAROZZI. Ellas tienen exigencias comerciales que incluyen la calidad para aceptar una cosecha de trigo.

Por otra parte, el trigo candeal es más sensible que el trigo harinero a fusariosis, brotación del grano en pie, frío, exceso de agua, sequía temprana y enfermedades de las raíces, pero es más resistente a la sequía tardía (comunicación personal con ARVALIS, www.arvalisinstitutduvegetal.fr). El trigo candeal, tiene un rendimiento potencial mayor (Marque *et al.*, 2004) o igual que el trigo harinero (Sayre, 1996).

El objetivo de este estudio fue realizar una zonificación de Chile que identifique zonas favorables para la obtención de trigo candeal de alta calidad y asociar los parámetros del medioambiente con la calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de sitios.

En este trabajo se utilizaron datos de calidad de siembras comerciales de trigo proporcionados por la empresa LUCCHETTI, 100 sitios a lo largo de Chile desde el año 2003 hasta 2006 (Cuadros 1, 2 y 3). No todos los sitios se repitieron todos

los años. No había información sobre el o los genotipos cultivados, sin embargo, la variedad Llaretta ocupa alrededor de 90% de la superficie de trigo candeal en Chile (estimación hecha por Iván Matus Director Nacional del programa de fitomejoramiento en trigo candeal de Chile), por lo que se supuso que todo el trigo candeal era de dicha variedad.

Cuadro 1: Número de sitios por temporada.

Temporada	Número de sitios
2005-06	52
2004-05	61
2003-04	52
2002-03	59

Cuadro 2: Número de años por sitio.

Años	Número de sitios
1	35
2	26
3	21
4	18
Total	100

Cuadro 3: Número de sitios por región.

Región	Número de sitios
III	3
IV	1
V	6
RM	25
VI	22
VII	15
VIII	21
IX	6
X	1
Total	100

El primer paso, antes de realizar el análisis, fue homogeneizar la información. Eso se realizó con los siguientes dos criterios:

- Se consideraron sitios que tuviesen datos por más de 2 años.
- Se eligieron sitios sin interacción con el factor año, así en el análisis se pudo utilizar los años como repeticiones (Annicchiarico, 2002). Para evaluar si existía una evidente interacción año x sitio se hizo un análisis de componentes principales con los sitios y los años, utilizando todos los parámetros de calidad. Si los distintos años de un mismo sitio se encontraron juntos en el biplot de los dos primeros componentes principales, se consideró que dicho sitio no presentaba interacción con los años, es decir, para cualquier año la calidad de ese sitio era similar. Si los puntos estaban alejados, dicho sitio tenía interacción con los años es decir, el año influía sobre la calidad y ese tipo de sitio no se consideró en los análisis posteriores.

Con estos criterios se seleccionaron 26 sitios que abarcaron de la Quinta hasta la Octava Región, en que la mayor parte del trigo candeal es producido bajo riego.

Parámetros de calidad.

Se trabajó con ocho parámetros de calidad, peso específico (peso del hectolitro de grano), proteínas, vitreosidad, humedad del grano, punta negra, granos helados e inmaduros, granos partidos y chupados y granos brotados. En la zonificación por calidad los tres primeros parámetros deben maximizarse y los cuatro siguientes deben minimizarse.

Análisis.

Se calculó el promedio y desviación estándar de cada parámetro por sitio y por año. Para obtener una clasificación de las localidades por calidad, se usaron los siguientes criterios:

- **Índice de calidad** para cada localidad. Para hacer este índice, las localidades se ordenaron en un ranking para cada parámetro. Para los parámetros que se maximizaron, como peso específico, proteína y vitreosidad, el mejor valor tuvo nota 1 y la calidad fue decreciendo en la medida que aumentaba el valor. Para los parámetros que se minimizaron, como punta negra, granos chupados, helados e inmaduros y granos brotados, la inexistencia de estos problemas tuvo nota 1. Posteriormente se obtuvo un promedio de las notas para cada localidad. También se usó coeficientes para dar más peso a los parámetros más importantes como la proteína, la punta negra, la vitreosidad. Los sitios con el menor valor de índice ambiental fueron los mejores.

- **Análisis de componentes principales (ACP)**. Esta es una técnica estadística de síntesis de la información, o reducción de la dimensión (número de variables). Es decir, en un grupo de datos con muchas variables, el objetivo es reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible a través de la generación de componentes principales. Los componentes principales o factores son una combinación lineal de las variables originales (Crossa, 1990). Este análisis permitió observar las variaciones de calidad entre las localidades, la asociación entre parámetros, e identificar grupos de calidad para hacer una zonificación.

- **Partial least square regression**. Este análisis asocia sitios con los parámetros de calidad y de medioambiente. Este análisis extrae la variación principal entre dos planillas de datos de los mismos sitios, una con los parámetros de calidad del grano y otra con los parámetros de clima de cada sitio (Reynolds *et al.*, 2004).

Los datos fueron analizados con el programa INFOSTAT y para el análisis de partial least square regression se usó el programa SAS System.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En Chile la norma del Instituto Nacional de Normalización (INN), ordena la calidad del trigo en 6 grados (Cuadro 4), además, cada empresa tiene criterios propios de aceptación (Cuadro 5).

Cuadro 4: Normas de calidad del trigo candeal del INN (NCh 1319 f1977) (INN, 1977).

Requisito	Grados					
	1	2	3	4	5	6
Peso del hectolitro, kg/hL, mínimo	81	80	80	79	79	78
Granos blanqueados	5	10	20	30	40	50
Suma de: granos con germen roído, granos dañados por hongos y/o bacterias, granos picados	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3
Suma de: granos helados, granos inmaduros o verdes	0,5	1,0	3,0	5,0	7,0	9,0
Punta negra	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Granos brotados	0,0	0,5	1	1,5	2	3
Granos partidos y/o quebrados	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
Granos chupados y delgados	0,5	1,0	2,0	4,0	7,0	14,0
Granos dañados por calor	0,0	0,1	0,2	0,5	1,0	3,0
Materias extrañas, % m/m, máximo	0,5	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Granos extraños, % m/m, máximo	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
Trigo de otra especie, % m/m, máximo	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
Humedad, %, máximo	14,0					

Cuadro 5: Requerimientos de calidad de trigo candeal para pasta de la empresa LUCCHETTI, año 2006.

Parámetros		
Peso Hectolitro (kg / hL)	Mínimo	78
Vitreosidad (%)	Mínimo	50
Impurezas (%)	Máximo	5
G. Partidos y Chupados (%)	Máximo	10
Humedad del grano (%)	Máximo	14,5
Punta Negra (%)	Máximo	4-8
G. Brotados (%)	Máximo	3,5
Helados e Inmaduros (%)	Máximo	2
G. otras especies (%)	Máximo	8
Gluten húmedo (%)	Mínimo	27
Gluten seco (%)	Mínimo	9
Gluten Index (%)	Entre	45-80
Proteínas (%)	Mínimo	10
Color L	Mínimo	88
Color a	Máximo	-2,6
Color b	Mínimo	19
Falling number (s)	Mínimo	350
Peso 1000 granos (kg)	Mínimo	52

A partir de la información analizada (Cuadro 6) se observa que el peso específico es siempre alto y además muy estable por lo que no es útil para expresar variación, en calidad. La vitreosidad también fue un parámetro alto y muy estable.

Cuadro 6: Medias y desviaciones estándares de los parámetros de calidad separados por año.

Temporada	Peso Hectolitro (kg/hL)	Proteína (%)	Vitreosidad (%)	Humedad (%)	Punta Negra (%)
2002-03 ¹	84,7 ± 0,8	10,2 ± 0,9	92,2 ± 1,6	12,1 ± 5,5	3,0 ± 0,6
2003-04 ²	85,2 ± 0,7	9,9 ± 0,9	94,1 ± 1,5	11,4 ± 5,5	3,3 ± 0,6
2004-05 ³	85,1 ± 1,0	10,5 ± 0,7	93,6 ± 1,2	11,5 ± 4,0	2,7 ± 0,6
2005-06 ⁴	84,9 ± 0,6	10,8 ± 0,7	91,1 ± 1,5	12,3 ± 4,0	2,8 ± 0,4

Cuadro 6: Continuación.

Temporada	G. Partidos Chupados (%)	Helados e Inmaduros (%)	Granos Brotados (%)	Gluten Húmedo (%)	Gluten Index	Gluten Seco (%)
2002-03 ¹	3,9 ± 1,8	0,3 ± 0,2	0,7 ± 0,4	sd	sd	sd
2003-04 ²	3,6 ± 1,5	0,3 ± 0,3	0,5 ± 0,4	sd	sd	sd
2004-05 ³	3,7 ± 1,2	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,2	23,5 ± 11,2	41,0 ± 19,5	7,8 ± 3,7
2005-06 ⁴	3,9 ± 1,4	0,3 ± 0,2	0,4 ± 0,2	28,3 ± 3,5	56,9 ± 17,2	9,6 ± 1,2

¹ promedios calculados sobre 59 sitios por la temporada 2002-03.

² promedios calculados sobre 52 sitios por la temporada 2003-04.

³ promedios calculados sobre 61 sitios por la temporada 2004-05.

⁴ promedios calculados sobre 52 sitios por la temporada 2005-06.

Del grano de trigo candeal se extrae sémola y harina. Una vitreosidad alta significa un buen rendimiento en sémola, ingrediente básico para hacer pastas. El promedio para trigo candeal es un rendimiento de 67-70% de sémola y 5-12% de harina (Peña y Wolfgang, 2006). El análisis muestra que vitreosidad y proteínas presentaron valores aceptados por la empresa. Sin embargo, el contenido de proteína está en el límite inferior de 10%. Este parámetro es uno de los más importantes para la elaboración de pastas (Panozzo y Eagles, 2000), por lo tanto, su valor debe aumentarse. En Europa, el mínimo aceptado es de 13-14% (ITCF, 1996), por lo tanto, si Chile quiere exportar su producción de grano de trigo tiene que aumentar el contenido de proteína en el grano. Para aumentar proteína y vitreosidad, a nivel nacional la recomendación ha sido utilizar altas dosis de fertilizante nitrogenado (Ramírez, 2001), sin embargo, también se recomienda usar variedades adecuadas (Elouafi *et al.*, 2000; Porceddu *et al.*, 1998) y rotaciones con leguminosas (Amri *et al.*, 1999).

Los valores de humedad son inferiores a 14%, lo que es positivo, pero una humedad del grano demasiado baja es también un problema porque los granos son más débiles y se rompen durante la cosecha, aumentando el porcentaje de granos partidos eso disminuye el rendimiento de semolina. Por tal motivo en Europa, la humedad exigida es mayor a 13% y menor a 14,5% (ITCF, 1996).

Los parámetros granos partidos, chupados y punta negra están dentro de los valores de calidad de la empresa, como así mismo granos helados e inmaduros y granos brotados, pero sus valores tienen una variación demasiado alta dentro de cada año. No son parámetros estables. Incluso, la variación puede ser mayor a la media. Una debilidad de este conjunto de datos es que falta información de gluten húmedo, gluten seco y gluten index. Estos parámetros son muy importantes porque entregan información sobre la textura que va a tener la masa de la pasta. En este trabajo no se pudieron considerar estos parámetros porque no se dispuso de suficiente información, sin embargo la limitada información disponible mostró valores aparentemente poco estables con el año.

Índice de calidad.

En el Cuadro 7 aparecen tres tablas con los resultados de los índices de calidad para cada localidad. Las localidades están ordenadas de mejor a peor índice. La primera tabla presenta los índices sin coeficientes y la segunda y tercera tabla presentan índices con distintos coeficientes para los parámetros.

Las tres clasificaciones tuvieron un ranking similar. En negrita se destacan los mejores sitios, con un simple promedio o con diferentes coeficientes. Los sitios con buena calidad fueron Pudahuel, siempre primero, Talagante, Peñaflor, Maipú, Melipilla y Curacaví, de la Región Metropolitana, El Carmen, Yungay, San Carlos, Bulnes y; Chillán, de la Octava Región.

Los peores sitios fueron Codegua en la Sexta Región, siempre último, San Antonio en la Quinta Región, Teno y San Clemente de la Séptima Región, El Monte de la Región Metropolitana, Chimbarongo, San Fernando y Nancagua de la Sexta Región.

Los sitios con calidad neutra fueron Hospital, Paine y María Pinto, de la Región Metropolitana, San Vicente de Tagua Tagua, Palmilla y Pichidegua, de la Sexta Región y Calle Larga de la Quinta Región.

Cuadro 7: Índice de calidad de los 26 sitios sin coeficiente, o con dos coeficientes.

Sin coeficientes	Índice calidad	Con coeficientes ¹	Índice calidad	Con coeficientes ²	Índice calidad
Pudahuel	6,57	Pudahuel	4,10	Pudahuel	4,85
El Carmen	6,86	Bulnes	6,80	Maipú	6,30
Talagante	7,29	Peñaflor	7,35	Peñaflor	6,80
Yungay	7,71	Maipú	7,45	Yungay	7,60
Peñaflor	8,86	Yungay	8,15	Bulnes	8,00
San Carlos	9,29	El Carmen	8,15	El Carmen	8,60
Bulnes	9,71	Melipilla	8,50	Talagante	8,85
Chillán	10,57	Talagante	8,60	Melipilla	9,80
Maipú	10,86	Paine	10,65	Curacaví	10,00
Melipilla	11,43	Curacaví	10,65	Chillán	10,65
Curacaví	12,71	Chillán	10,90	Paine	10,80
Paine	12,86	Hospital	11,90	Calle Larga	11,70
Hospital	13,00	Calle Larga	12,75	Hospital	12,40
Sn Vte T-Tagua	13,57	María Pinto	13,10	San Carlos	12,80
Palmilla	13,86	San Carlos	13,65	María Pinto	14,55
Pichidegua	14,43	Pichidegua	14,45	Pichidegua	15,00
María Pinto	14,57	Nancagua	16,85	Palmilla	15,25
Calle Larga	16,00	Palmilla	17,25	Nancagua	16,25
El Monte	17,43	Sn Vte T-Tagua	17,70	Sn Vte T-Tagua	18,30
San Clemente	18,00	Teno	17,80	Teno	18,80
San Fernando	18,43	Chimbarongo	19,70	San Clemente	19,55
Teno	18,71	San Antonio	19,75	Chimbarongo	20,05
Nancagua	19,00	San Clemente	20,10	San Antonio	20,05
Chimbarongo	19,00	El Monte	20,45	El Monte	20,45
San Antonio	19,00	San Fernando	21,60	San Fernando	21,00
Codegua	21,29	Codegua	22,65	Codegua	22,60

¹ Peso Específico=15%, Proteínas=35%, Punta Negra=10%, Vitreosidad=25%, Granos Chupados=5%, Helados e Inmaduros=5%, Granos Brotados=5%.

² Peso Específico=10%, Proteínas=35%, Punta Negra=20%, Vitreosidad=20%, Granos Chupados=5%, Helados e Inmaduros=5%, Granos Brotados=5%.

Análisis de componentes principales.

El análisis de componentes principales permitió visualizar, en un biplot, la asociación de los parámetros de calidad con los sitios (Figura 1). En la Figura 1 aparecen dos ejes de calidad, el primero explica 32,9% de la variación y el segundo explica

27,3%. En el cuadrante inferior izquierdo, hay dos parámetros, granos helados e inmaduros y granos brotados que se desean minimizar y en el sentido contrario están los parámetros proteínas y vitreosidad, que se desean maximizar. Los sitios que están en el sentido de proteínas y vitreosidad tienen una mejor calidad que los otros sitios. Una situación similar se observa con el eje perpendicular a este primer eje. En el cuadrante inferior derecho está el parámetro peso específico que se desea maximizar y en el sentido contrario está punta negra y granos partidos que hay que minimizar.

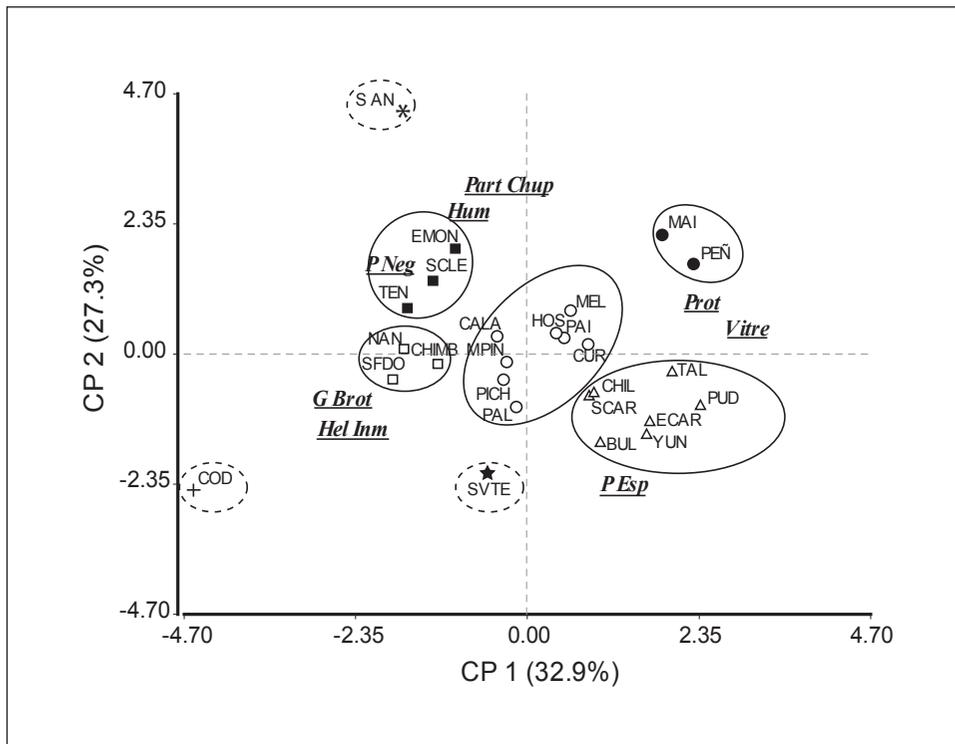


Figura 1: Análisis de componentes principales de calidad con los promedios por localidad.

Parámetros de calidad: G Brot: granos brotados, Part Chup: granos partidos y chupados, Hel Inn: helados e inmaduros, Hum: humedad, P Esp: peso específico, Prot: proteínas, P Neg: punta negra, Vitre: vitreosidad. Localidades: BUL: Bulnes, CALA: Calle Larga, CHIL: Chillán, CHIMB: Chimbarongo, COD: Codegua, CUR: Curacaví, ECAR: El Carmen, EMON: El Monte, HOS: Hospital, MAI: Maipú, MEL: Melipilla, MPIN: María Pinto, NAN: Nancagua, PAI: Paine, PAL: Palmilla, PEÑ: Peñaflo, PICH: Pichidegua, PUD: Pudahuel, SAN: San Antonio, SCAR: San Carlos, SCLE: San Clemente, SFDO: San Fernando, SVTE: San Vicente de Tagua Tagua, TAL: Talagante, TEN: Teno, YUN: Yungay.

San Antonio se asocia a un menor peso específico, sin embargo su valor es aceptable. El promedio general de este parámetro es de 84,96 kg/hL, con una variación muy baja ($DE = \pm 0,57$). Se observa una mayor variación producto del primer eje, que del segundo. Esta clasificación de calidad es relativa porque los puntos que pueden

parecer de mala calidad están también dentro de las exigencias de la empresa. La calidad cambia entre estos sitios, pero siempre dentro de valores aceptables por la empresa.

Dentro de los 26 sitios hay tres sitios que aparecen aislados: San Antonio, Codegua y San Vicente de Tagua Tagua. San Antonio tiene una humedad de grano alta, Codegua tiene baja proteína y vitreosidad, pero al mismo tiempo más granos brotados y granos helados e inmaduros. Con los otros sitios se pueden hacer grupos de calidad homogénea, destacando los siguientes cinco grupos:

- Yungay, Bulnes, El Carmen, Chillán, San Carlos, en la Octava Región; con Talagante y Pudahuel de la Región Metropolitana, con alto peso específico, alta proteína y alta vitreosidad,
- Maipú y Peñaflor con mayor porcentaje de proteínas y vitreosidad, posiblemente debido a que es un área regada con el agua del Río Mapocho (rica en nitratos),
- Nancagua, San Fernando y Chimbarongo, de menor calidad,
- Hospital, Paine, Melipilla, Curacaví, Calle Larga, María Pinto, Pichidegua, Palmilla forma el grupo del centro del biplot, sin características particulares,
- El Monte, San Clemente y Teno tienen mucha humedad y punta negra,
- San Antonio corresponde al único sitio en la costa.

Los análisis con el índice de calidad y el análisis de componentes principales entregaron los mismos grupos de calidad.

Influencia del clima.

El clima, el suelo (Smith y Gooding, 1999), el nivel tecnológico, la fertilización y el riego influyen en la calidad del grano de trigo candeal. Los datos de LUCCHETTI no tienen información sobre el clima, por lo que se trabajó con datos climáticos obtenidos para los mismos sitios de otro estudio (Universidad de Chile, 2005).

En la Figura 2, los símbolos corresponden a los grupos de calidad de la Figura 1. San Antonio nuevamente aparece como un sitio aislado, dada su ubicación costera. Al contrario, las otras localidades aisladas en el análisis de componentes principales para calidad (Figura 1), Codegua y San Vicente de Tagua Tagua, aparecen con otras localidades como Paine o Pudahuel. La calidad homogénea determinada en la Figura 1 no se agrupó en la Figura 2, por lo que el clima y la ubicación geográfica explican solamente una parte de la variación en calidad. Este análisis no asoció los parámetros de clima utilizados con los grupos de calidad, probablemente debido a que la información de clima no fue lo suficientemente específica.

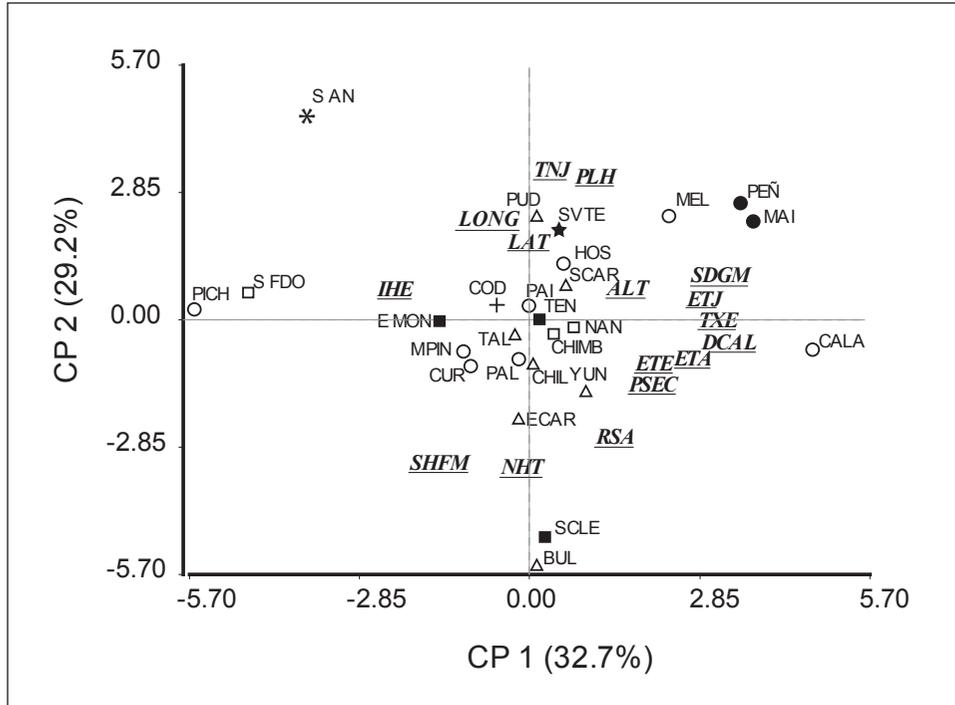


Figura 2: Análisis de componentes principales para calidad, sitios, clima y ubicación.

Localidades: BUL: Bulnes, CALA: Calle Larga, CHIL: Chillán, CHIMB: Chimbarongo, COD: Codegua, CUR: Curacaví, ECAR: El Carmen, EMON: El Monte, HOS: Hospital, MAI: Maipú, MEL: Melipilla, MPIN: María Pinto, NAN: Nancagua, PAI: Paine, PAL: Palmilla, PEÑ: Peñaflor, PICH: Pichidegua, PUD: Pudahuel, SAN: San Antonio, SCAR: San Carlos, SCLE: San Clemente, SFDO: San Fernando, SVTE: San Vicente de Tagua Tagua, TAL: Talagante, TEN: Teno, YUN: Yungay. Parámetros climáticos y ubicación geográfica: ALT: altitud (m), DCAL: número de días de calor, DEFH: déficit hídrico, ETA: evapotranspiración anual, ETE: evapotranspiración en enero, ETJ: evapotranspiración en julio, EXCH: excedente hídrico, IHE índice de humedad estival (media (lluvia)/ET durante los tres meses más calidos del año), LAT: latitud, LONG: longitud, NHT: número de heladas total, PHUM: número de meses húmedos ($P_m/E_{tm} > 0,5$), PLH: periodo libre de helado, PPA: precipitación anual, PSEC: número de meses secos ($P_m/E_{tm} < 0,5$), RSA: radiación sola anual, SDGM: suma diaria de grados por mes ($T > 10^\circ\text{C}$), SHFM: suma de horas de frío mensual ($T < 7^\circ\text{C}$), TNJ: temperatura mínima del mes el más frío (julio), TXE: temperatura máxima del mes más cálido (enero).

Relaciones entre los parámetros de calidad, los parámetros de clima y ubicación geográfica.

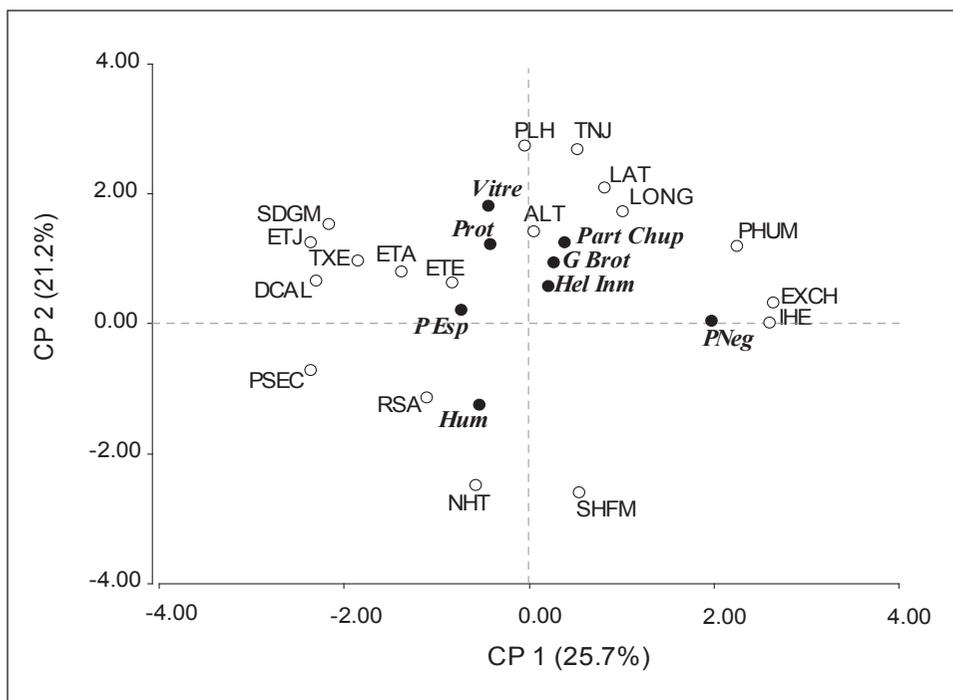


Figura 3: Análisis de componentes principales de los parámetros de calidad, clima y ubicación geográfica. Parámetros de calidad (●) y parámetros del medio ambiente (○).

Parámetros de calidad: G Brot: granos brotados, Part Chup: granos partidos y chupados, Hel Inm: helados e inmaduros, Hum: humedad, P Esp: peso específico, Prot: proteínas, P Neg: punta negra, Vitre: vitreosidad.

Parámetros del medio ambiente: ALT: altitud (m), DCAL: número de días de calor, DEFH: déficit hídrico, ETA: evapotranspiración anual, ETE: evapotranspiración en enero, ETJ: evapotranspiración en julio, EXCH: excedente hídrico, IHE índice de humedad estival (media (lluvia)/ET durante los tres meses más calidos del año), LAT: latitud, LONG: longitud, NHT: número de heladas total, PHUM: número de meses húmedos (Pm/Etm >0,5), PLH: período libre de helado, PPA: precipitación anual, PSEC: número de meses secos (Pm/Etm < 0,5), RSA: radiación solar anual, SDGM: suma diaria de grados por mes (T>10°C), SHFM: suma de horas de frío mensual (T<7°C), TNJ: temperatura mínima del mes más frío (julio), TXE: temperatura máxima del mes más cálido (enero).

En la Figura 3 aparecen los parámetros de calidad correlacionados con los parámetros de descripción del clima y de ubicación geográfica. El eje del componente principal 1 aparece como el eje de humedad del medioambiente, con la sequía en el lado de los valores negativos y la humedad en el lado de los valores positivos. El eje del componente principal 2 corresponde al calor. Las temperaturas altas como valores positivos y las temperaturas bajas como los valores negativos. Los sitios del cuadrante superior izquierdo tienen la mejor calidad porque es el cuadrante

de los parámetros que se quieren maximizar. Este cuadrante corresponde a medio ambientes secos y más cálidos.

El parámetro punta negra está correlacionado al parámetro índice de humedad estival. En efecto, punta negra, asociado con *Alternaria spp* y *Cochliobolus sativus*, se encuentra en los medioambientes más fríos y húmedos, que tienen heladas durante el desarrollo del grano (Fernández *et al.*, 2000).

Los parámetros de proteínas y vitreosidad aparecen correlacionados con las altas temperaturas, lo que coincide con lo señalado por Panozzo y Eagles (2000), donde las altas temperaturas y el estrés terminal durante el período de llenado de grano mejoran el contenido de proteína y la vitreosidad del grano.

Partial Least Square Regression.

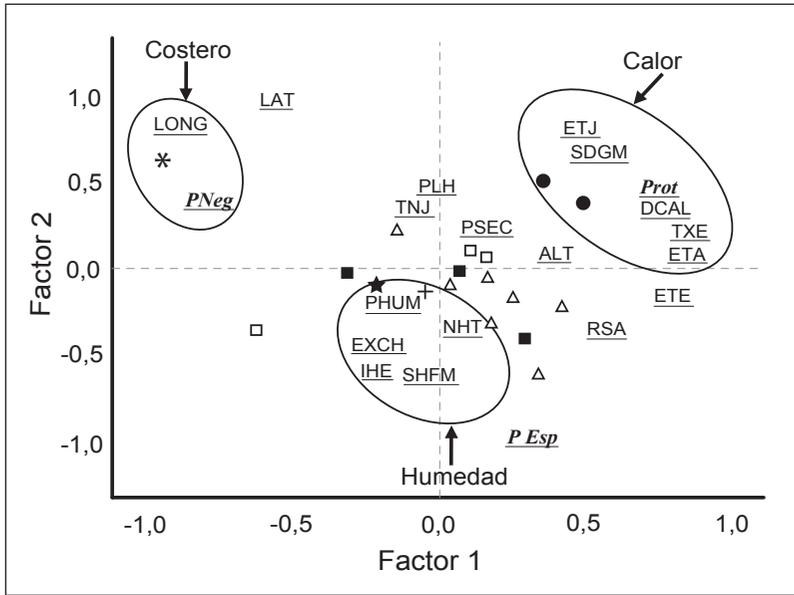


Figura 4: Asociación de los sitios de calidad homogénea con parámetros de calidad y parámetros del medioambiente.

Sitio con granos brotados y helados (□), sitio con alto porcentaje de punta negra y humedad de grano (■), sitio de alta proteína (★), sitio de alta proteína, alto peso específico y alta vitreosidad (△), San Antonio (*), San Vicente de Tagua Tagua (⊕) y Codegua (+).

Parámetros de calidad: Pesp: Peso específico (kg/hL), Prot: Proteínas(%), Pneg: Punta negra.

Parámetros del medioambiente: ALT: altitud (m), DCAL: número de días de calor, ETA: evapotranspiración anual, ETE: evapotranspiración en enero, ETJ: evapotranspiración en julio, EXCH: excedente hídrico, IHE índice de humedad estival (media (lluvia)/ET durante los tres meses más cálidos del año), LAT: latitud, LONG: longitud, NHT: número de heladas total, PHUM: número de meses húmedos (Pm/Etm >0,5), PLH: período libre de helado, PSEC: número de meses secos (Pm/Etm < 0,5), RSA: radiación solar anual, SDGM: suma diaria de grados por mes (T>10°C), SHFM: suma de horas de frío mensual (T<7°C), TNJ: temperatura mínima del mes el más frío (julio), TXE: temperatura máxima del mes el más cálido (enero).

Este análisis se realizó con los sitios agrupados por calidad homogénea, según Figura 1, más tres parámetros de calidad para visualizar mejor la información. Los parámetros considerados fueron proteína, peso específico y punta negra. Cada parámetro se ubicó en un cuadrante diferente del biplot, por lo que permitieron ver las diferencias de calidad entre los sitios. Hay también parámetros de descripción del medioambiente que pueden juntarse en dos grupos, los de humedad y los de calor (Figura 4). La proteína está correlacionada con calor, peso específico con humedad y punta negra con longitud (cercanía a la costa). Así un mejor contenido en proteína se puede obtener en los sitios más cálidos. En un estudio realizado por Smith y Gooding (1999), el efecto de genotipo, nitrógeno, lluvia y temperatura explicó el 90% de la variación del contenido en proteínas. El nitrógeno tuvo un efecto positivo, la lluvia en invierno y en primavera un efecto negativo, y la temperatura del verano, particularmente después de antesis, tuvo un efecto positivo de un 20% en la variación total. Sin embargo, las altas temperaturas durante el período de llenado de grano limitan el rendimiento (Randall y Moss, 1990). Por lo tanto, es importante poner en una balanza estos dos objetivos, considerando que la aplicación de nitrógeno en el momento correcto puede aumentar el rendimiento y al mismo tiempo aumentar el contenido de proteína (Smith y Gooding, 1999).

CONCLUSIONES

Chile tiene un clima particularmente adaptado al cultivo de trigo candeal. Este clima mediterráneo permite obtener una buena calidad. En este trabajo se identificaron sitios en que se produce trigo candeal de muy buena calidad. Parte de este efecto se debió a clima, en particular a través de alta temperatura y humedad. La Región Metropolitana y Octava Región destacan por su buena calidad y parecen ser las mejores para el cultivo de trigo candeal. El calor está asociado con alta proteína, vitreosidad y peso específico, mientras que la humedad y cercanía al mar favorecen la aparición de punta negra.

SÍNTESIS

- La calidad en trigo candeal es muy importante, por lo que mejorarla es un criterio prioritario.
- La calidad se evalúa a través de una combinación de parámetros. Los más importantes son el peso específico, proteína, vitreosidad y punta negra. El gobierno y las empresas tienen normas para aceptar o no una cosecha, para garantizar una buena calidad del producto final.
- Entre la V y VIII Regiones se produce trigo candeal de buena calidad, sin embargo hay localidades que destacan sobre otras, como la Región Metropolitana y la Octava Región.
- El medioambiente influye sobre la calidad, el calor se asocia con el porcentaje de proteínas, peso específico y vitreosidad, mientras que la humedad se asocia con punta negra.

LITERATURA CITADA

- Annicchiarico, P. 2002. Genotype X Environment, challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. Ed FAO, Roma, Italia, 115 p.p.
- Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Advances in Agronomy* 44: 55-85.
- Elouafi, I., Nachit, M.M., Elsaleh, A., Asbati, A. and Mather, D.E. 2000. QTL-mapping of genomic regions controlling gluten strength in durum (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). In: Durum wheat improvement in the Mediterranean region, Royo C., Nachit M.M., Di Fonzo N., Araus J.L. (eds.). Zaragoza (Spain). CIHEAM, Options Méditerranéennes n°40: 83: 505-509.
- Fernández, M.R., Clarke, J.M. and Knox, R.E. 2000. Black Point reaction of durum and common wheat cultivars grown under irrigation in Southern Saskatchewan. *Plant Disease* 84(8): 892-894.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1977. Norma Chilena Oficial NCh1319 Of1977, Trigo Durum (Candeal)-Especificaciones, 7 p.p.
- Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF). 1996. Blé Dur, Objectif Qualité. Ed ITCF, Paris, France, 52 p.p.
- Marque, V., Fritz, A.K., Martin, T.J. and Paulsen, G.M. 2004. Agronomic and quality attributes of winter durum wheat in the Central Great Plain. *Crop Science* 44: 878-883
- Novoa, S-A R., Villaseca, C. S. Del Canto, S. P., Rouanet, M. J.L., Sierra, B. C. and Del Pozo, L. A. 1989. Mapa agroclimatico de Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Novoa, R., Villaseca, S., (eds). Santiago, Chile, 221 p.p.
- Panozzo, J.F. and Eagles, H.A. 2000. Cultivar and environmental effects on quality characters in wheat. II. Protein. *Australian Journal of Agricultural Research*. 51: 629-36
- Peña, R.J. and Wolfgang, H. 2006. Breeding methodologies and strategies for Durum Wheat quality improvement, *Durum Wheat Breeding* 22: 663-702
- Porceddu, E., Turchetta, T., Masci, S., D'vidi, R., Lafiandra, D., Kasarda, D.D., Impliglia, A., and Nachit, M.M. 1998. Variation in endosperm protein composition and technological quality properties in durum wheat. *Euphytica* 100: 197-205.
- Ramírez, I. 2001. Trigo Candeal- Recomendación Temporada 2001-2002. Convenio de Investigación INIA-LUCCHETTI, Información La Platina n° 15. Ed Ramírez, I. Santiago, Chile, 4 p.p.
- Randall, P.J. and Moss, H.J. 1990. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 603-617.
- Reynolds, M.P., Trethowan, R., Crossa, J., Vargas, M., and Sayre, K.D. 2004. Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat. *Field Crop Research* 85(1-2): 253-274.
- Sayre, K.D., 1996, The role of crop management research at CIMMYT in addressing bread wheat yield potential issues. In: Increasing yield potential in wheat: Breaking the barriers. Reynolds, M.P., Rajaram, S., and McNab, A. (eds), Obregón, Sonora, Mexico, 203-207.
- Smith, G.P. and Gooding, M.J. 1999. Models of wheat grain quality considering climate, cultivar and nitrogen effect. *Agricultural and Forest Meteorology* 94: 159-170
- Universidad de Chile 2005. Análisis de las ventajas comparativas de los climas de Chile y del Mundo, Informe final Centro de Agricultura y Medioambiente. ODEPA, Chile. 239 p.p.

8

Trigo en Chile, rol actual del mejoramiento genético

C. Jobet.

Programa Nacional de Trigo, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca. Casilla 58-D. Temuco. Chile. cjobet@inia.cl

ANTECEDENTES GENERALES

Globalmente, durante el período 2001-2006 la superficie media sembrada con trigo fue de aproximadamente 217 millones de hectáreas anuales, la producción media mundial de trigo fue de 589 millones de toneladas anuales (Cuadro 1), siendo la demanda promedio, en este mismo lapso de tiempo, de 604 millones de toneladas, cifra significativamente superior a la producción. Esta situación, propia del último tiempo, ha afectado las reservas y el comercio del trigo en el mundo (ODEPA, 2006), generando una "incertidumbre alimenticia" ante una probable catástrofe regional, continental o global, ya que el grano de trigo, preparado e industrializado en diversas formas, es consumido por más de 2.000 millones de personas y su contribución en calorías y proteínas a la dieta diaria de éstas es mayor que la que aporta cualquier otro alimento.

El principal productor mundial de trigo, con más de 100 millones de toneladas anuales, es China, le siguen India y Estados Unidos, con alrededor de 70 y 65 millones de toneladas anuales, respectivamente. El 66,3% de la producción mundial proviene de Australia, Canadá, China, Francia, India, Pakistán, Federación Rusa, Turquía y Estados Unidos, de estos países, China produce alrededor del 23,3%, India el 18,0% y USA el 17,0%, respectivamente (FAO, 2004, 2006). Cerca del 80% del volumen de trigo comercializado globalmente proviene de los principales países exportadores, Estados Unidos, Canadá, Australia, Francia y Argentina. Por el contrario, los principales países importadores durante los últimos cinco años han sido Brasil, Italia, Egipto, Japón e Irán. Del total producido, un 90% corresponde a trigo de pan (*Triticum aestivum* L.) y un 10% a trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) (FIA, 2003a).

La disminución en la producción mundial, el aumento de la demanda global, la concentración geográfica de la producción y la disminución de suelos productivos aptos para la producción de cereales en general y trigo en particular, han afectado la evolución de los precios, aumentando para Hard Red Winter N°2, Soft Red Winter N°2 y Trigo Pan Argentino, el primero de ellos es el tipo de grano que principalmente se consume e importa en Chile. De acuerdo a ODEPA (2006), la producción mundial

continuará bajando, pero al mismo tiempo se proyecta una disminución en la demanda, aunque menor que en la oferta, lo que generará un déficit que debe ser abastecido por las existencias. Con ello, el stock final del año de comercialización 2006/2007 sería más de un 10% inferior al del año anterior y llegaría a 128,13 millones de toneladas, el nivel más bajo de los últimos 25 años (Cuadro 1).

Cuadro 1: Situación de oferta, demanda, comercio y existencias mundiales de trigo (2001-2006).

Años	Stock Inicial (Mt)	Producción (Mt)	Demanda (Mt)	Comercio (Mt)	Stock Final (Mt)	Stock final/ Demanda (%)
2001-02	205,73	581,57	586,34	108,12	200,96	33,4
2002-03	200,96	566,39	601,78	107,36	165,57	28,0
2003-04	165,57	551,77	591,40	103,62	125,95	21,0
2004-05	132,17	625,65	608,64	149,18	149,18	24,5
2005-06	149,16	610,58	620,23	109,29	139,53	22,5
2006-07	143,73	600,47	616,07	108,66	128,13	20,8

Fuente: ODEPA (2006).

SITUACIÓN NACIONAL

En Chile, el consumo de trigo tiene gran importancia preferentemente a través del pan, alimento base del chileno, siendo uno de los consumos mayores de Latinoamérica (Jobet, 1989). En el último decenio, el trigo ha contribuido entre 34% y 40% de la ingesta calórica y 50% de las proteínas que consume en promedio el habitante chileno (Jobet, 1989; Mellado, 1998). En la década del 1986 a 1996 estas calorías y proteínas fueron suministradas por una disponibilidad neta anual media de trigo por habitante de 145 kilos (CIMMYT, 1996). Es el cereal con mayor superficie de siembra en el país, considerado cultivo estratégico por: a) su rol en la alimentación humana, b) por los puestos de trabajo que genera y, c) por ser un cultivo esencial de la rotación (Mellado, 1998).

El área triguera chilena tiene gran diversidad de condiciones agro ecológicas que inciden sobre las dos especies de trigo que se cultivan, sus hábitos de crecimiento, las técnicas de manejo y su productividad. En la zona sur, desde la VIII Región hasta la isla grande de Chiloé se cultiva trigo harinero de hábito de desarrollo invernal, alternativo y primaveral, en condiciones de alta precipitación y prácticamente sin riego. Respecto al trigo candeal, históricamente se ha concentrado en las regiones del centro norte, sin embargo, lenta pero sostenidamente se ha ido desplazando a regiones de más al sur (hasta la IX Región).

Aspectos económicos.

En los últimos seis años se ha sembrado en Chile un promedio anual de aproximadamente 380.000 hectáreas (Cuadro 2). La tendencia de la superficie

sembrada en el tiempo ha sido a disminuir, a modo de ejemplo, en 1986 se sembraron 676.560 hectáreas y en la temporada 2006-2007 se registró un total de 282.400 hectáreas, siendo esta cifra una de las más bajas históricamente observadas (FIA, 2003b; ODEPA, 2006). A pesar de lo anterior, a nivel nacional, la superficie sembrada con trigo representa aproximadamente el 50% de la superficie dedicada a cultivos anuales, y ocupa el 60% de la superficie sembrada con cereales. El rendimiento promedio de los últimos seis años es de alrededor de 44,5 quintales métricos por hectárea, valor superior a la media nacional de muchos países desarrollados (INE, 2005). Las regiones con mayor superficie de trigo son la VIII y IX, concentrándose en éstas el 68,0% del total (INE, 2007), el 89,6% del trigo nacional se siembra entre la VII y X regiones.

El consumo anual de trigo-país ha fluctuado entre 1,8 y 2,0 millones de toneladas (FIA, 2003a), por lo que para satisfacer el consumo nacional se ha requerido importar trigo en aproximadamente un 20% anual.

Cuadro 2: Situación de siembra, rendimiento y producción de trigo en Chile (2002-2006).

	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	Promedio
Siembra (ha)	426.100	415.660	420.400	419.660	314.720	282.400	379.823
Rendimiento (qqm / ha)	42,7	43,2	45,7	44,1	44,6	46,8	44,5
Producción (Mt)	1,820	1,797	1,921	1,851	1,403	1,322	1,686

Fuente: ODEPA (2007).

Aspectos de mercado.

El trigo harinero corresponde aproximadamente al 90% del trigo comercializado en el país, el 10% restante corresponde a trigo candeal. Casi la mitad de la producción se comercializa en molinos del centro del país, cuyos productores tienen fundamentalmente dos opciones de comercialización: venta directa a molinos en la zona central y corretaje en la zona sur. Además, existe un poder comprador estatal, COTRISA, cuya función es la de permitir una regulación de los precios (FIA, 2003a, FIA 2003b). Otra demanda de trigo, que crece significativamente, dice relación con su uso como materia prima para la elaboración de alimento para salmones.

Por su parte, la calidad industrial del trigo es un aspecto importante en la fabricación de distintos tipos de harina y productos derivados. Los parámetros químicos de calidad más importantes considerados actualmente en la industria molinera del país son el porcentaje de gluten húmedo, el valor de sedimentación y "falling number" o índice de caída (INN, 2000), y últimamente el valor W del alveograma.

Aspectos sociales.

El trigo es cultivado en casi 100 mil explotaciones agrícolas chilenas, de las que más del 70% corresponde a medianos y pequeños agricultores (INE, 1997). Las realidades

son muy distintas, variando en cuanto al tipo de productores, uso de tecnología, calidad de suelos y rendimientos obtenidos (FIA, 2003b).

Factores relacionados con la innovación en trigo.

Los principales factores que inciden sobre la producción de trigo en el ámbito productivo dicen relación con la incorporación de tecnología, eficiencia en su uso y transferencia tecnológica. Al trabajar adecuadamente estos factores se obtienen buenos niveles de rendimiento y de rentabilidad. INIA, como institución de investigación, desde su creación ha reconocido la importancia que tiene el trigo para Chile, por lo que ha mantenido en forma ininterrumpida un Programa de Mejoramiento de Trigo. Este programa ha liberado a la fecha 125 variedades adaptadas a las diferentes condiciones ambientales, aportando de manera significativa a los avances que se han observado en el desarrollo histórico del cultivo en Chile, ejerciendo gran responsabilidad en su presente y su futuro, por lo que se ha propuesto fortalecer la investigación en trigo en forma dinámica, tecnológicamente innovadora y que responda a los problemas que tienen los agricultores, desarrollando, además, un plan de transferencia tecnológica que permita a los agricultores elevar los niveles productivos.

PROGRAMA NACIONAL DE TRIGO (PNT - INIA)

El cultivo de trigo se realiza en Chile desde la III a la X regiones. Debido a los diferentes climas y suelos de esta vasta zona se observa una adaptación diferencial para los diferentes tipos de trigo, incluyendo invernales, alternativos, primaverales, tanto de la especie panadera como de la especie de pastas. En INIA se realiza un trabajo sustentado en principios de genética mendeliana, genética cuantitativa, estadística y agronomía. La generación de variedades de trigo a través de los años se ha orientado a la necesidad de agricultores e industriales.

Historia.

El trabajo de mejoramiento genético en trigo, iniciado en el Ministerio de Agricultura en 1942, fue transferido a INIA junto a su creación en 1965. Se creó un Programa de Fitomejoramiento de Trigo que hoy está inserto en el Programa Nacional de Trigo (PNT). El objetivo primordial ha sido crear, introducir, seleccionar y liberar variedades mejoradas en forma sostenida y permanente que cumplan con características de alta productividad, adecuada fitosanidad, adaptación y calidad que les permita ser empleadas por los agricultores de cada una de las zonas de producción de trigo del país.

Los primeros trabajos en trigo en Chile se realizaron en la década de 1920, principalmente a través de la introducción de variedades, selección por parte de los agricultores, cultivares llegados al país y genotipos de uso local cuyo origen se pierde en la historia. En 1931 el Ministerio de Agricultura creó el Departamento de Genética y Fitotecnia cuyo primer director fue el científico alemán Beltrán Karl. A fines de 1939 se hizo cargo de dicho Departamento el Ingeniero Agrónomo Manuel Elgueta, quien comenzó un proceso sistemático de mejoramiento genético como también la investigación de los problemas que incidían en la producción del cereal. Se enfatizó

la formación de personal especializado, logrando que desde 1940 se perfeccionaran los profesionales que constituyeron el núcleo humano que permitió crear en 1947, el Programa de Genética de Trigo dentro del Departamento de Investigaciones Agrícolas, siendo el ingeniero Agrónomo PhD René Cortázar S., designado como primer encargado de este programa. En 1964 se creó el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), al cual se trasladó el trabajo de fitomejoramiento de trigo, donde éstos continúan realizándose hasta el día de hoy. El programa, bajo una Coordinación Nacional, aglutinó a un grupo de especialistas, la mayoría con grados de MS y PhD, de reconocimiento nacional e internacional, que han entregado a la agricultura nacional un número importante de variedades que destacaron por el rendimiento, calidad de su grano y por su resistencia a enfermedades de importancia comercial.

El Programa Nacional de Trigo del INIA ha liberando un número importante de variedades de trigos primaverales, alternativos e invernales, tanto panaderos como de pastas. Introdujo al país los genes de enanismo que permitieron crear variedades resistentes a la tendadura, de mejor tipo agronómico, haciendo posible intensificar el cultivo en las zonas de riego. La nueva arquitectura de las plantas de trigo permitió también aumentar la densidad de plantas y elevar las dosis de fertilizantes, especialmente de nitrógeno, subiendo significativamente el potencial de rendimiento. Otro resultado importante fue la creación de nuevos tipos de cultivares con cruzamientos de trigo de invierno con trigo primaveral. En estos cruzamientos amplios o divergentes se combinaron complejos genéticos distintos y no relacionados provenientes de trigo de primavera con genes de resistencia a enfermedades y buena calidad, con el potencial de rendimiento de los trigos invernales, de buen tipo agronómico y adaptación a las condiciones del país. Como resultado de este esfuerzo, desde 1967 un nuevo tipo de trigo, de hábito de desarrollo alternativo o facultativo, se incorporó a la agricultura nacional, los cuales tienen la ventaja de no requerir frío (vernalización) para florecer (Mellado, 2004), permitiendo diversificar y ampliar tanto las fechas de siembra como de cosecha. Por otro lado, y con la incorporación de variedades de ciclo corto de mejores bondades y adaptadas a condiciones más específicas para la zona sur, permitió que las siembras de primavera se consolidaran como una alternativa más para esta región (Hewstone, 2005, comunicación personal).

Del mismo modo, el avance realizado en fitomejoramiento genético para sanidad ha permitido entregar, en forma periódica, variedades resistentes a las principales enfermedades incluyendo royas, manchas de la hoja y oídio, permitiendo el cultivo sin la necesidad de aplicar fungicidas de forma sistemática. Asimismo, se desarrollaron variedades tolerantes a la virosis, virus del enanismo amarillo, un difícil problema que fue enfrentado en la década de 1970 con un exitoso programa de Manejo Integrado de Plagas, implementado mediante la introducción de enemigos naturales de los áfidos (pulgones). También se desarrollaron prácticas de manejo agronómico, como fecha de siembra y manejo de agroquímicos (Ramírez, 2005, comunicación personal).

Es importante destacar que, por muchos años, se ha mantenido un laboratorio de análisis y determinación de la calidad industrial, molinera, panadera y nutricional de grano de trigo, el que ha servido de referencia oficial para el Ministerio de Agricultura. Aportes del laboratorio han sido estudios para la adopción de nuevas

técnicas de análisis, formación de personal especializado y apoyo directo a la industria molinera. Hoy día, este laboratorio, como resultado de la nueva estructura del PNT, opera en el CRI Carillanca en Temuco, apoyando al Programa Nacional en la evaluación de material experimental, apoyando a otros programas del INIA, y a entregar servicios y asesoría a instituciones privadas, universidades y agricultores en general.

El aporte del PNT ha sido significativo. En el ciclo agrícola del año 1965, con 720.000 hectáreas sembradas se produjeron 1.400.000 toneladas de trigo, actualmente, con aproximadamente 314.000 hectáreas se ha llegado a producir 1.400.000 toneladas (ODEPA, 2006). En cuarenta años, los rendimientos promedios pasaron de 14 quintales a 45,7 quintales métricos por hectárea, de esta forma, la investigación en este cereal en Chile ha contribuido a abastecer las necesidades de trigo de nuestra población, cultivando solo el 58 % de la superficie que se cultivaba hace cuatro décadas y con un aumento de rendimiento cercano al 126%. Son varios los componentes que han aportado a esto, incluyendo un mayor empleo de fertilizantes, uso de prácticas de manejo más eficientes y una adecuada transferencia tecnológica, pero sin duda que la *variedad mejorada* ha sido clave en subir el potencial de rendimiento y con ello permitir la expresión de mejores prácticas agronómicas. Sin embargo, este avance no ha sido sólo tarea del INIA, en este sentido han existido instituciones públicas y privadas las cuales han aportado de forma importante al avance del mejoramiento genético del trigo en Chile, algunos ejemplos de ello son: la Universidad Católica de Chile, Campex BAER, SNA, Universidad Austral de Chile y la Universidad de Concepción, y últimamente ANASAC.

A partir del año 2003 se focalizó en el PNT-INIA, el mejoramiento de trigo de acuerdo a hábito de desarrollo (invernal, primaveral, alternativo) y a uso (panadero, pastas), con una visión de tipo nacional. Es así que se estableció como centro de mejoramiento genético de trigo de pan para el secano costero el CRI Rayentue (Choapinos); en el CRI Quilamapu (Chillán) se concentraron los trabajos relacionados al mejoramiento de trigo harinero de hábito primaveral y trigo candeal; en el CRI Carillanca (Temuco), se concentró el mejoramiento de trigo harinero de hábito invernal y facultativo.

Área de acción del programa de trigo INIA.

INIA tuvo inicialmente Mejoramiento de Trigo en la Zona Centro Norte de Chile (IV a VI Regiones, y Región Metropolitana), en la zona Centro Sur (VII y VIII Región), y en la zona Sur (IX a XI Regiones), dado que entre estas grandes áreas hay diferencias climáticas que originan cambios en la adaptación de las variedades. Las características climáticas más importantes de los Centros Regionales donde actualmente tienen su base los programas de mejoramiento, se indican en el Cuadro 3.

Es importante destacar que las condiciones de los tres Centros Experimentales donde se hace mejoramiento de trigo cubren los requerimientos edafoclimáticos de una parte importante de los tipos de trigo que se crean en el mundo, bajo un ambiente de alta y baja precipitación, de alta y moderadas temperaturas y de riego y secano, lo que da una evidente ventaja al Programa para relacionarse, intercambiar conocimiento y materiales, y realizar investigaciones conjuntas con otros centros creadores de variedades en regiones similares.

Cuadro 3: Características climáticas y ubicación geográfica de los Centros Regionales donde se realiza mejoramiento de trigo en INIA.

Parámetro	Centros Regionales		
	Rayentue	Quilamapu	Carillanca
Latitud	33°40'	36°31'	38°41'
Longitud	70°44'	71°54'	72°25'
Altitud (m.s.n.m)	304	217	200
Lluvia anual (mm)	897	1.227	1.394
Lluvia mayo a diciembre (mm)	855	1.087	1.169
Meses con más de 30 mm	7	8	12
Temp. máxima anual (°C)	18,9	20,8	15,4
Temp. media anual (°C)	13,6	13,0	10,0
Temp. mínima anual (°C)	3,4	5,1	4,7
Humedad relativa (%)	80,8	78,0	80,9

Fuente: Novoa y Villaseca, (1989).

Métodos de generación de variedades utilizados actualmente en el PNT.

Aproximaciones convencionales. Se han utilizado tres aproximaciones, que son tradicionales, en el Programa de Mejoramiento de Trigo. La primera consistió en la selección de los mejores tipos locales entre los materiales cultivados desde muy antiguo en el país. Esta aproximación se empleó en la década de 1930 y 1940, con resultados limitados. En la actualidad se mantienen colecciones zonales del material local con el objeto de preservar caracteres que pudiesen ser de utilidad en el futuro y que se incorporan periódicamente a los nuevos materiales creados por el programa.

Una segunda aproximación ha consistido en la introducción de líneas o variedades creadas en otras regiones del país u otros países, con el fin de evaluar su comportamiento bajo las condiciones de la zona en particular y utilizarlas directamente como variedades o indirectamente como progenitores. Este método se ha visto favorecido por intensa cooperación entre los programas de fitomejoramiento de diferentes países y por el desarrollo e impulso que les han prestado convenios y centros internacionales como CIMMYT e ICARDA.

La tercera aproximación ha consistido en el uso del método de fitomejoramiento tradicional, que incluye recombinación y selección. Se espera que los nuevos materiales recombinen características deseables de dos o más progenitores, seleccionando los materiales mas promisorios entre su descendencia y bajo las condiciones ambientales para las que se va a recomendar, hasta lograr líneas con características estables. El logro de la estabilidad de las características entre los descendientes demora normalmente cinco a seis generaciones. Este plazo, más el necesario para comprobar la bondad de los materiales, hacen que el período que transcurre entre que se realiza la cruce y un descendiente llega como variedad comercial al productor sea del orden de los 10 a 12 años. La efectividad de esta metodología recompensa el tiempo utilizado siendo uno de los métodos más utilizados internacionalmente y eficientes en cuanto a resultado (Figura 1).

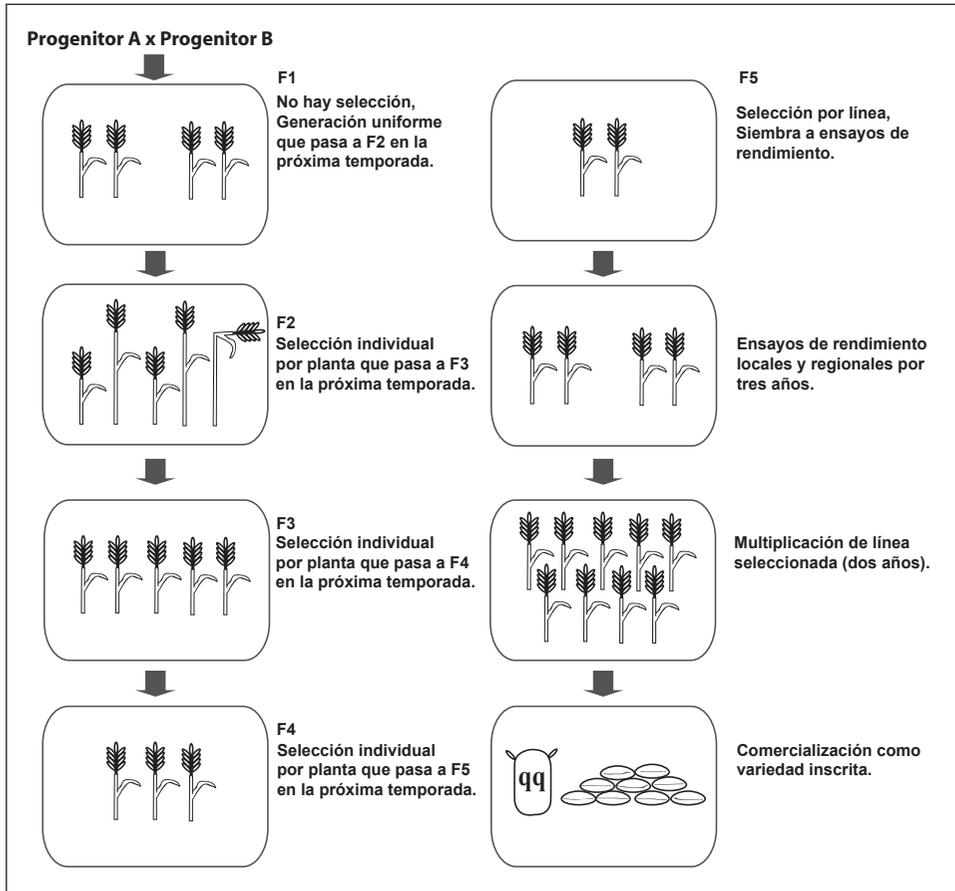


Figura 1: Esquema de mejoramiento por hibridación y posterior selección en trigo.

Fuente: Bioplanet (2000).

Para que estas variedades se constituyan en la base para el éxito del cultivo, el mejoramiento genético debe considerar las necesidades del agricultor (buen rendimiento, resistencia a tenedura, resistencia al desgrane, adecuada precocidad, facilidad de trilla, dormancia de espiga, resistencia a enfermedades, entre otras), del industrial (peso hectolitro, calidad panadera, molinera o galletera, según corresponda), y el consumidor (proteína, lisina, aminoácidos, sabor). La casi totalidad de las características indicadas pueden obtenerse por medios genéticos, sin embargo y considerando que la mayor parte de estos caracteres dependen de la acción de varios genes, la posibilidad de conseguir la variedad perfecta es baja.

Uso de selección asistida por marcadores moleculares. Se define como marcador molecular a toda variabilidad de naturaleza bioquímica/molecular susceptible de ser asociada de algún modo con la variabilidad de algún parámetro morfológico/agronómico. Los marcadores moleculares permiten analizar los efectos de mutaciones, de selección aplicada y la deriva genética, entre numerosos otros

aspectos. Todo marcador molecular debe reunir dos cualidades básicas: 1) permitir la inequívoca diferenciación de los progenitores y 2) ser transmitido en forma estable a la progenie. Además, debe generar abundante información de calidad, dentro de un lapso de tiempo y un nivel de costo razonable. A diferencia de otras estrategias biotecnológicas como la transgénesis, cuya función es generar variabilidad genética de forma dirigida, el objetivo fundamental de la aplicación de marcadores moleculares es obtener información genética, la cual permite definir estrategias de acción y selección (Campos de Quiroz, 1995).

Los marcadores moleculares pueden ser usados en diferentes etapas del mejoramiento genético, en forma complementaria a los métodos convencionales. Además pueden utilizarse para análisis de diversidad genética, elección de progenitores e identificación de variedades.

Selección asistida por marcadores para calidad industrial. El análisis genético en trigo tiene mayor dificultad que en otras especies debido a su naturaleza poliploide encontrándose en una misma planta de este cereal los genomas A, B, D, según la especie que corresponda. Considerando el desarrollo de nuevas herramientas biotecnológicas al servicio del mejoramiento de planta, se han estado desarrollando protocolos de selección molecular para calidad industrial en trigo. Lo anterior ha permitido acelerar la selección y facilitar el escalamiento del mejoramiento de la especie. Se han optimizado y desarrollado metodologías que han permitido seleccionar e identificar genotipos portadores de segmento heterólogo del centeno (*Secale cereale*) conocido como translocaciones 1B/1R, 1A/1R y otras. Estas translocaciones han sido introducidas al trigo de pan (*Triticum aestivum*) mediante recombinación homeóloga debido a las propiedades favorables que aportan, como resistencia a enfermedades y mejor adaptación al medioambiente. Sin embargo, ellas incluyen además genes deletéreos como aquellos que codifican la síntesis de proteínas secalinas, las cuales reducen sustancialmente la calidad agroindustrial del trigo de pan.

Por su parte, la textura de grano, se encuentra bajo control genético por genes localizados en el brazo corto del cromosoma 5D. Una proteína conocida como fibrilina que se encuentra adherida a la superficie del gránulo de almidón es relacionada con la dureza del grano. Por otro lado, la presencia de puroindolinas también ha sido asociada a la textura del grano, de tal manera que la función real de la fibrilina y las puroindolinas en la dureza del grano aún no está bien determinada. Actualmente bajo un sistema molecular PCR (Polymerase Chain Reaction), es posible identificar tanto alelos “duros” como “blandos” en trigo, lo que le ha permitido al PNT poder clasificar sus trigos de acuerdo a la textura del grano de estos (Zúñiga, 2005, Documento Interno).

El alto rendimiento en trigo va generalmente acompañado de disminución en el porcentaje de proteína de los cultivares, afectando con ello la calidad panadera. Además, los cultivares tienen una respuesta variable al ambiente, lo que puede incidir negativamente en los niveles proteicos. Recientemente, se inició la introducción de un gen que eleva el contenido proteico del grano, aparentemente sin compromiso del rendimiento. El gen se está introduciendo (introgresión) en cultivares elite mediante retrocruzamiento asistido por marcadores moleculares. Esta es una estrategia de mejoramiento relativamente nueva que permite recuperar el 99% del padre recurrente en tres generaciones. Combinada con el avance de

generaciones *in vitro* y el desarrollo forzado en invernadero, se espera que las tres generaciones se obtengan en sólo dos años de trabajo. Es probable, sin embargo, que el efecto de estos genes se diluya frente a rendimientos altos, y por ello es necesario realizar los experimentos de validación correspondientes; sin embargo, una vez dado este paso, se podrá decidir su integración masiva a los cultivares y líneas avanzadas del PNT.

Selección asistida por marcadores para resistencia. Se ha establecido la efectividad de algunos genes que confieren resistencia a roya estriada y roya de la hoja. Los genes Yr5; Yr8; Yr10; Yr15, de resistencia a *P. striiformis* estarían confiriendo protección completa para las poblaciones prevalentes del hongo (Madariaga, 2005, Documento Interno). La resistencia a *P. triticina* a través de los genes Lr21, Lr22a, Lr32, Lr42 y Lr43 ha resultado efectiva de acuerdo a evaluaciones recientes mediante variedades diferenciales y/o colecciones de NILs (Líneas casi isogénicas) bajo condiciones de campo e invernadero (Madariaga, 2006, datos no publicados).

El uso de marcadores moleculares para incorporar resistencia a enfermedades en el proceso de “piramidar” genes de resistencia, o en la introducción de genes provenientes de germoplasma exótico o silvestre, es una alternativa de interés. Un ejemplo de aplicación de selección asistida por marcadores es la incorporación de genes de resistencia a una o varias razas de un patógeno. La resistencia a menudo es de tipo vertical y es de corta duración, lo que obliga a los fitomejoradores a incorporar continuamente nuevos genes de resistencia a las razas emergentes del patógeno. Esta incorporación de genes se evalúa mediante información fenotípica y se puede, en algunos casos, incorporar uno o más genes al mismo tiempo. La incorporación de varios genes de resistencia a las diferentes razas presentes debería generar una resistencia más durable en el tiempo, ya que reduce la presión del proceso de selección y mutación del patógeno. La selección asistida por marcadores moleculares podría ayudar a la identificación e incorporación simultánea de varios genes de resistencia permitiendo el desarrollo de variedades con resistencia genética duradera (Galdamez, 2005, Documento Interno).

El uso de marcadores moleculares para la búsqueda de genes que confieren resistencia a enfermedades en trigo es considerado actualmente como la herramienta más adecuada para aumentar la eficiencia de selección en los programas de fitomejoramiento.

Selección asistida por marcadores para adaptación al ambiente.

Generación de germoplasma con tolerancia a acidez y exceso de aluminio. Algunos suelos de las regiones del sur tienen alta acidez y toxicidad por aluminio. Esta situación se puede manejar por medio de enmiendas calcáreas, sin embargo, la posibilidad de introducir genes que confieran una mayor tolerancia del trigo a esta condición (*A. uniaristata*) permitiría un mejor comportamiento del trigo cultivado en diferentes condiciones de suelo y nivel tecnológico, en complemento a un manejo del suelo que evite que se produzcan condiciones extremas de acidez. El proyecto “Mejoramiento de la competitividad y sustentabilidad del cultivo del trigo en el sur de Chile: Aplicaciones biotecnológicas para generar trigos con alto contenido proteico del grano y tolerantes al aluminio fitotóxico”, aborda este problema (Zúñiga, 2005, Documento Interno).

Generación de germoplasma con potencial de movilizar fósforo retenido en el suelo. La posibilidad de introducir en trigo genes que le permitan movilizar el fósforo inorgánico en los suelos de trumao del centro sur y sur del país es una posibilidad cierta. Este aspecto está siendo abordado por la Unidad de Biotecnología del CRI-Carillanca a través del proyecto “Integración de genes de lupino en el genoma del trigo, con potencial para movilizar el fósforo inorgánico retenido en los suelos del centro-sur y sur de Chile”. Este proyecto permitiría obtener genotipos eficientes en movilizar el fósforo retenido en compuestos de aluminio y hierro de baja solubilidad en los coloides de suelos derivados de cenizas volcánicas (Peñaloza, 2005, Documento Interno).

Uso de cruza intergenéricas trigo x maíz (plantas dihaploides). La producción de dihaploides o doble haploide (DH) en trigo se puede realizar, entre otros mecanismos, a través de la cruza intergenérica entre trigo y maíz. En este método, las flores de trigo son fertilizadas con polen de maíz y los cromosomas de este último son eliminados naturalmente, desarrollándose posteriormente un embrión haploide (número de cromosomas reducidos a la mitad), y que porta sólo la información genética de la madre. La semilla generada con este tipo de cruzamiento no tiene posibilidad de desarrollar endospermo, por tanto se hace necesario extraer el embrión y cultivarlo *in vitro* para su posterior crecimiento y desarrollo a planta. Esta metodología obliga al uso de la colchicina, alcaloide que es capaz de inducir la duplicación de los cromosomas, para restaurar el nivel de diploidía y generar plantas 100% homocigotas, de este modo la planta no segrega y los caracteres se fijan (Figura 2).

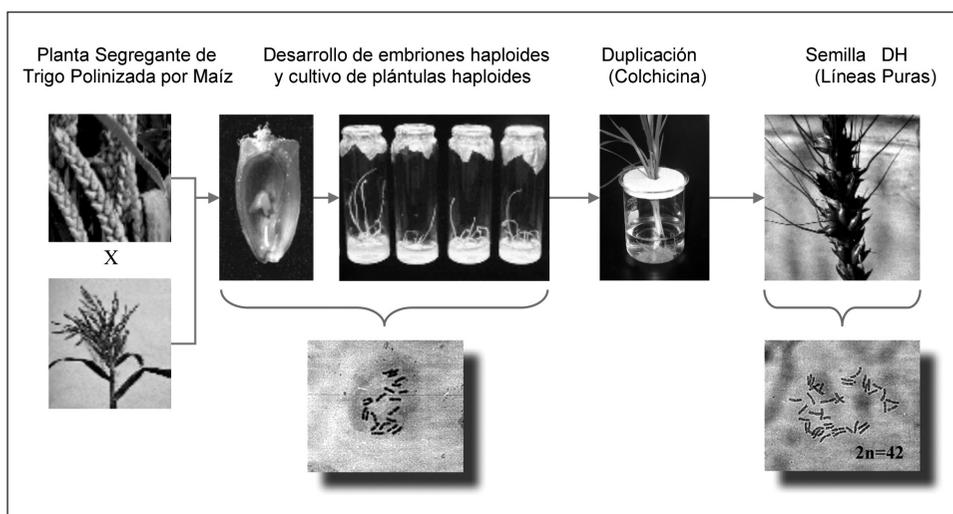


Figura 2: Esquema de obtención de dobles haploides en trigo.

Fuente: Jobet *et al.* (2003a).

Calidad proteica en trigo y electroforesis. Las propiedades funcionales industriales del grano de trigo tienen su origen en las proteínas insolubles del endospermo que conforman el *gluten*. Estas proteínas determinan en gran medida la calidad panadera.

Están constituidas por fracciones denominadas gluteninas de alto peso molecular (GAPM), gluteninas de bajo peso molecular (GBPM) y gliadinas. La electroforesis permite identificar las proteínas que tienen buena correlación con la calidad molinera y panadera (Figura 3) (Peña, 2003).

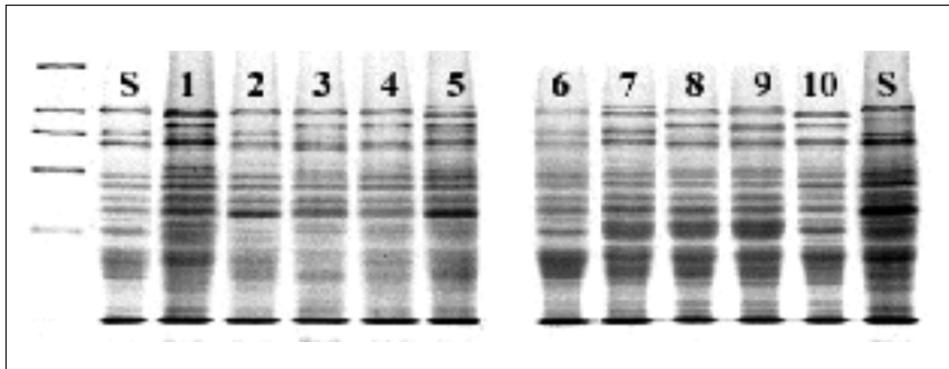


Figura 3: Perfil electroforético de proteínas de alto peso molecular en trigo.

Fuente: Jobet *et al.* (2003b).

Manejo agronómico y nuevas alternativas de cultivo en rotaciones.

La ocurrencia de procesos de degradación y pérdida de la productividad de los suelos chilenos no sólo destruye los recursos naturales con el consecuente deterioro ambiental, sino que producen una constante disminución de la rentabilidad de los cultivos agrícolas, disminuyendo la capacidad productiva, competitividad y sustentabilidad de los sistemas agrícolas. El estado chileno diseñó un Programa de Recuperación de Suelos Degradados que contempla el mejoramiento de la fertilidad de los suelos y su conservación en el tiempo a través de la minimización de los procesos erosivos y la permanencia de coberturas vegetales. Estudios de investigación desarrollados en el país han dejado en evidencia el amplio deterioro nutricional de los suelos, así como su pérdida de productividad, la cual es posible recuperar mediante prácticas adecuadas de fertilización y encalado. INIA trabaja en la obtención y validación de algunos parámetros químicos de suelos, definición de dosis críticas de fertilización fosfatada y aplicación de enmiendas calcáreas para actualizar las recomendaciones de fertilización del Laboratorio de Análisis de Suelo de INIA. Además realiza investigación para optimizar el manejo de nitrógeno en cultivares de trigo de alto potencial de rendimiento, buscando armonizar la productividad y calidad del grano producido. Este tema es relevante por la importante superficie dedicada al cultivo del trigo y por los crecientes niveles de nitrógeno que se aplican para aumentar el rendimiento (Campillo *et al.*, 2006). De igual forma, se puede afirmar que un manejo adecuado de las rotaciones contribuye también a mejorar la eficiencia de utilización del nitrógeno y de otros nutrientes del suelo, así como en el actual escenario agrícola y económico del país, se identifican nuevas opciones de mercado que demandan otras materias primas a partir de cultivos tradicionales, como es el caso del raps, lupino, arveja y avena (Rouanet *et al.*, 2005).

Control sobre malezas resistentes a herbicidas.

El uso intensivo de herbicidas ha originado y seguirá originando el desarrollo de malezas resistentes a ellos. Actualmente el desarrollo científico en el tema deja en evidencia la gran preocupación que existe en los países desarrollados. A la fecha se han determinado métodos de monitoreo de las malezas resistentes, de control a través del traspaso de resistencia en las especies cultivadas y prácticas de prevención. El principal efecto de las malezas resistentes es el gran costo social que representa para los países que poseen el problema. En consecuencia, la innovación para desarrollar alternativas técnicas tendientes a prevenir y controlar las malezas resistentes a los herbicidas es de gran importancia para nuestro país, más aún si se considera que los tratados comerciales implicarán una mayor exigencia de control ambiental y la necesidad de competir con una mayor eficacia para mejorar la rentabilidad de los rubros más vulnerables, como los cultivos tradicionales. Al respecto, algunos países latinoamericanos, ya poseen diversos cultivos resistentes a herbicidas, lo que les ha permitido mejorar la calidad ambiental debido a los menores volúmenes de aplicación de herbicidas y disminuir los costos de producción.

Hoy día, la empresa privada ha desarrollado cultivares de trigo resistentes a la familia de herbicidas de las imidazolinonas, a través de la selección natural de biotipos de trigo resistentes a estos herbicidas, razón por la que estos cultivares, al no ser transgénicos, es posible utilizarlos en forma comercial. Debido a que la resistencia a herbicida de estos trigos es conferida por genes, es posible flanquear éstos e introgresarlos a las variedades elite chilenas a través de recombinación genética. Esta línea de acción está actualmente siendo abordada a través de un proyecto Fontec-Corfo entre INIA-Carillanca y BASF Chile, con el fin de obtener cultivares Clearfield INIA con resistencia a herbicidas (Salvo, 2006, comunicación personal).

Laboratorio de calidad.

El laboratorio es parte integrante del programa Nacional de Trigo y su actividad básica consiste en la ejecución de trabajos relacionados con la evaluación industrial de materiales experimentales y germoplasma avanzado que el programa va generando, para así poder tener las herramientas necesarias como para identificar y seleccionar aquellas líneas que reúnen características de mayor valor industrial y nutricional que exige la industria nacional.

PERSPECTIVAS FUTURAS Y DESAFÍOS

El desarrollo reciente y futuro en la investigación del genoma de trigo aumentará las posibilidades de resolver oportunamente muchos problemas agronómicos de importancia. El resultado inmediato de estos adelantos tecnológicos es la disponibilidad de nuevos marcadores basados en PCR como SSR y SNP, además del desarrollo de nuevas tecnologías para la investigación en genómica funcional tales como los micro arreglos y chips de genes (estudios a gran escala de expresión de genes). Se espera que estos adelantos y otros puedan establecer una relación cada vez más estrecha entre las secuencias de ADN, la función de los genes y el fenotipo.

El desafío futuro es integrar estas herramientas en los programas de mejoramiento genético para acelerar y mejorar la eficiencia del desarrollo de variedades de alta producción y calidad para diferentes tipos de consumidores (alimento animal, humano, generación de biocombustibles y otros) que conforman la demanda de investigación.

SÍNTESIS

- El trigo es y será considerado el alimento de primer orden a nivel mundial, el consumo per cápita ha experimentado un incremento sostenido lo que se ha reflejado en que la demanda mundial por trigo ha superado en las últimas cuatro temporadas a la producción.
- Las tendencias de mayor consumo mostradas por países como China, Corea y Estados Unidos, más las situaciones políticas-climáticas que afectan a India, Pakistán, Turquía, Australia, Estados Unidos, principales productores, hacen del trigo un elemento sensible para los mercados internacionales.
- Producto de lo anterior, es que las reservas mundiales han alcanzado niveles preocupantes, lo que incide en los precios internacionales y disponibilidad de trigo para emergencias mundiales.
- Para Chile, el trigo es y será considerado un cultivo estratégico para el país, por la superficie sembrada, por el número de pequeñas, medianas y grandes explotaciones agrícolas dependientes del trigo, por el nivel de consumo de productos derivados del trigo por parte de chileno medio, por la escasa posibilidad de alternativas de reemplazo en las regiones del sur, por tanto el INIA seguirá dándole prioridad al trabajo en mejoramiento genético de variedades y de salvaguarda de sus recursos genéticos.
- Tecnológicamente la creación de nuevas variedades deben tener como objetivo un alto potencial de rendimiento, buena sanidad, calidad industrial estandarizada, amplia adaptación. Sin embargo, también y de acuerdo a los nuevos desafíos estas variedades deben poseer nuevas atributos que las hagan diferenciables unas de otras y orientadas a otros mercados.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece de forma especial la colaboración y apoyo brindado por los diferentes especialistas que conforman el Programa Nacional de Trigo (PNT) del INIA, así como otros destacados investigadores que aportaron al desarrollo de este capítulo. En particular, agradece a los investigadores Dr. Iván Matus, PNT, INIA Quilamapu; Sr. Javier Zúñiga, U. Biotecnología, INIA Carillanca; Sr. Mario Mellado, Investigador Emérito, PNT- INIA; Dr. Rafael Galdámez, U. Biotecnología, INIA Carillanca; Sr. Ricardo Campillo, Recursos Naturales, INIA Carillanca; Dr. Ricardo Madariaga, PNT, INIA Quilamapu; Dr. Ignacio Ramírez, Investigador Emérito PNT- INIA; Sr. Cristian Hewstone, Investigador PNT- INIA; Dr. Enrique Peñaloza, U. Biotecnología, INIA Carillanca; Dr. Haroldo Salvo, U. Biotecnología, INIA Carillanca.

LITERATURA CITADA

- Bioplanet, 2000. Biotecnología al grano. Año 1, 5:13-19.
- Campillo, R., Jobet, C., Undurraga, P., Toro, C. y Marín, G. 2006. Manejo del nitrógeno en el cultivar KUMPA-INIA. *Tierra Adentro*, 70: 42-45.
- Campos De Quiroz, H., 1995. Marcadores Moleculares Conceptos. *Agro Sur*. 23(1):68-75.
- CIMMYT. 1996. Mexico, D.: Cimmyt 1995-96. *World Wheat Facts and Trends. Understanding Global Trends in the Use of Wheat Diversity and International Flows of Wheat Genetic Resources*. Mexico. 73 p.p.
- FAO, 2004. (On line). FAOSTAT Database Results. Disponible en: <http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Production&servlet=1&hasbulk=0&version=ext&language=EN>
- FAO, 2006. (On line). Faostat Agricultural Data. Disponible en: <http://apps.fao.org/page/collections>
- FIA. 2003a. Estrategia de innovación agraria para la producción de cereales, trigo y maíz. ISBN 956-7874-39-5. 57 p.p.
- FIA. 2003b. Cereales en Chile: Situación actual y perspectivas. Maíz y Trigo. ISBN 956-7874-41-7. 89 p.p.
- INE. 1997. VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados Preliminares. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago. Chile. 214 p.p.
- INE. (On line). 2005. Estadísticas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.ine.cl/noticias/desp115.htm>
- INE. (On line). 2006. Estadísticas Agropecuarias. Disponible en: <http://www.ine.cl/noticias/desp115.htm>
- INE. 2007. Censo Nacional Agropecuario y Forestal. Disponible en: [http://www.censoagropecuario.cl/noticias/07/11/13112007.html#tablas.consultado el 21/12/2007](http://www.censoagropecuario.cl/noticias/07/11/13112007.html#tablas.consultado%20el%2021/12/2007).
- Jobet, C. 1989. Trigo: Pan nuestro de cada día. *Investigación y Progreso Agropecuario*. 3:18-22.
- Jobet, C., Zuñiga, J., Campos De Quiroz, H., Rathgeb, P. y Marín, G. 2003a. Plantas dobles haploides generadas por cruza intergenerica trigo x maíz, 13-22p. *In: Avances y Perspectivas en Calidad Industrial del Trigo*, 71 p.p.
- Jobet, C., Zuñiga, J., Campos De Quiroz, H., Rathgeb, P. y Marín, G. 2003b. Mejoramiento molecular de trigo para calidad industrial. 5-13p. *In: Avances y Perspectivas en Calidad Industrial del Trigo*, 71 p.p.
- Mellado, M. 1998. Análisis del cultivo del trigo en Chile durante el siglo veinte. *Agricultura Técnica (Chile)* 58(3): 230 – 240.
- Mellado, M. 2004. Boletín de trigo 2004, Manejo tecnológico. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA N-114. 188 p.p.
- Novoa, R. y Villaseca, S. (Eds.). 1989. Mapa Agroclimático de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago, Chile. 221 p.p.
- Odepa, 2006. Estadísticas Agropecuarias. S/p. Cultivos anuales, frutales y hortalizas. Departamento de Información Agraria, Ministerio de Agricultura.
- Peña, R. 2003. Influencia de la textura del endosperma y la composición de las proteínas del gluten en la calidad panadera del trigo, 23-36 p.p. *In: Avances y Perspectivas en Calidad Industrial del Trigo*, 71 p.p.
- Rouanet, J.L. 2005. Rotaciones de los cultivos y sus beneficios a la agricultura del sur. Fundación Chile, Área de Agroindustria. 91 p.p.

9

Mejoramiento genético para rendimiento y calidad de trigo candeal en Chile

I. Matus.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Casilla 426. Chillán. Chile. imatus@inia.cl

INTRODUCCIÓN

El trigo duro (*Triticum turgidum* L. spp. *durum*), conocido en Chile también como trigo candeal, es un cereal destinado a la elaboración de fideos y pastas. Tiene granos de gran tamaño, vítreos, de textura dura, con alto peso del hectolitro y pigmentación amarillenta, además de alto contenido de proteína y gluten fuerte. Estas características permiten a la industria obtener un rendimiento industrial adecuado de semolina, materia prima básica para la elaboración de un producto de óptima calidad. De acuerdo al censo agropecuario de 1997, la superficie sembrada a nivel nacional fue de 28 mil hectáreas, de las cuales 25 mil correspondieron a siembras bajo riego y 3 mil a siembras bajo condiciones de secano. En ese mismo año el rendimiento promedio nacional fue de 57,9 qq/ha (INE, 1997). Durante la temporada 2002/2003, la superficie fue de 12 mil hectáreas. En la década de 1960 en Chile se llegó a sembrar cerca de 50 mil hectáreas de trigo candeal, con un rendimiento promedio de 19,4 qq/ha (Moreno, 1965). Históricamente las regiones VI y Metropolitana han concentrado la mayor superficie de siembra, pero a partir de la temporada 2003/2004 el trigo candeal se desplazó hacia la VIII Región, sembrándose principalmente en las provincias de Ñuble y Bío-Bío. Se estima que en la temporada 2004/2005 se sembraron en esta región aproximadamente 4 mil hectáreas, con un rendimiento promedio de 60 qq/ha. Además del buen rendimiento, los parámetros de calidad como peso del hectolitro, vitreosidad y contenido de proteína fueron altos (Matus, 2005).

Entre los años 1944 y 1957 la variedad de origen italiano Senatore Cappelli Strampelli, ocupaba prácticamente toda la superficie sembrada con trigo candeal en Chile, pero esta variedad después de algunos años de cultivo comenzó a ser atacada fuertemente por una nueva raza de roya del tallo (*Puccinia graminis* f. sp. *tritici*), poniendo en riesgo la producción de este cereal. Producto del trabajo que venía desarrollando el Programa Trigo del Departamento de Investigaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura se liberaron variedades mejoradas, con nuevos genes de resistencia, que reemplazaron a esta variedad. Fue así que entre los años 1956 y 1958 se liberaron las variedades Candealfén 1, 4, 5, 6 y Cabildofén. Estas variedades

cubrieron prácticamente toda la superficie cultivada con trigo candeal en esos años (Moreno, 1965). La variedad Quilafén liberada en el año 1970 fue la primera variedad candeal con genes de enanismo liberada en Chile, de alto rendimiento y buen tipo agronómico (Moreno *et al.*, 1970).

El Cuadro 1 muestra las variedades liberadas desde el inicio del programa de mejoramiento genético de trigo candeal hasta la fecha. Actualmente se estima que más del 90% de la superficie está ocupada por variedades liberadas por el programa de mejoramiento genético de trigo candeal de INIA.

Cuadro 1: Variedades liberadas por el programa de mejoramiento genético de trigo candeal de INIA, desde el año 1956 al 2002.

Variedad	Año de liberación
Candealfén	1956
Candealfén 1	1958
Candealfén 4	1958
Candealfén 5	1958
Candealfén 6	1958
Cabildofén	1958
Alifén	1964
Quilafén	1970
Chagual INIA	1986
Aromo INIA	1986
Chonta INIA	1990
Licán INIA	1990
Llaretá INIA	1997
Guayacán INIA	1997
Corcolén INIA	2002

Fuente: Ignacio Ramírez A. (comunicación personal).

Chile tiene un consumo de pastas de aproximadamente 9 kg per cápita por año, en comparación con Italia que tiene un consumo anual de 29 kg per cápita. Las pastas elaboradas son un producto que está presente en casi el 100% de los hogares chilenos y muestra un crecimiento en el consumo de un 2% anual (Fundación Chile, 2005). La industria elaboradora de pasta abastece aproximadamente el 50% de sus necesidades con producción nacional, debido a que no logra cubrir sus necesidades con lo que se produce en el país, importa la diferencia, principalmente, desde Canadá.

Del trigo candeal se extrae la semolina, que es la materia prima para elaboración de tallarines, fideos y otras pastas alimenticias (Parodi *et al.*, 1982), por esto, para la industria es indispensable que la calidad de los granos sea apropiada, para obtener productos que satisfagan las exigencias del consumidor actual.

Una de las deficiencias más importantes en la calidad del trigo candeal es el amarengamiento del grano, es decir, en vez de ser vítreo, es harinoso. El grano

amarengado deja de tener las propiedades básicas para la formación de las partículas gruesas y angulares típicas de la semolina, lo que produce una disminución de la cantidad de semolina, y afecta la calidad de la pasta producida, provocando una pérdida de eficiencia para la industria que lo procesa (Cortázar, 1987). El gluten, que es como se define a un grupo de proteínas insolubles en agua, y que de acuerdo a su calidad permite obtener masas de mayor o menor fuerza y elasticidad, es otra de las características importantes para la industria. El porcentaje de proteína que tiene el grano, es también una característica de calidad de mucha importancia para la industria. Además, la pigmentación del grano, amarillo ámbar, es fundamental, ya que le confiere a la pasta de calidad el tono dorado que la caracteriza (Graybosch *et al.*, 1996).

La producción de este cereal esta estrechamente relacionada con un proceso industrial, la elaboración de pasta, por lo que la calidad está definida por la industria. En 1988 se inició un convenio formal entre la empresa LUCCHETTI S.A. e INIA para el desarrollo de variedades mejoradas basado en los requerimientos de la industria. Este convenio se mantiene hasta la fecha y a través de él se han liberado las variedades Chagual INIA, Chonta INIA, Lican INIA, Llaretta INIA y Guayacán INIA. Actualmente Llaretta INIA es la variedad más cultivada en el país. El año 2002 se liberó la última variedad, Corcolen INIA, variedad de alto rendimiento y buena calidad, y que al igual que Llaretta INIA ha presentado muy buena adaptación a las condiciones de cultivo tanto en la zona centro norte como en la zona centro sur del país (Matus *et al.*, 2005; Matus y Madariaga, 2007; Matus *et al.*, 2007).

Desde la década de los sesenta y hasta el año 2004 el proyecto de mejoramiento genético de trigo candeal tuvo como sede el Centro Regional de Investigación La Platina. Todas las variedades presentadas en el Cuadro 1 son producto de la investigación realizada en ese centro de investigación. Actualmente el proyecto de mejoramiento de trigo candeal esta ubicado en el Centro Regional Investigación Quilamapu del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, lugar desde el cual se liberarán las futuras variedades de trigo candeal, adaptadas tanto a zonas de riego de la Región Metropolitana, VI, VII y VIII regiones, además de la zona de Precordillera de riego en la VIII Región. También se han iniciado trabajos para el desarrollo de variedades para potenciales zonas productoras de trigo candeal como son el Secano Precordillera de la VIII Región, Secano Interior de la VI y VII regiones, y Secano Costero de la VI Región.

MEJORAMIENTO GENÉTICO

Un Proyecto de Mejoramiento Genético de Trigo Candeal es relevante para la industria de pastas, para la industria de producción de semillas y para los agricultores. Es también importante para el desarrollo del país, por lo que representa desde el punto de vista alimentario, y por el potencial de exportación que pudiera tener este cereal, tanto como grano o como producto elaborado.

Para INIA el proyecto de Mejoramiento Genético de Trigo Candeal ha representado uno de los mejores ejemplos de una herramienta eficiente en la transferencia de tecnología a los agricultores, industria multiplicadora de semillas, y a la industria productora de pastas. Las variedades mejoradas que se han entregado desde 1956 al presente, además de ser herramientas potentes de transferencia y extensión, representan un aporte real a la producción agrícola e industrial del país.

Objetivo.

El objetivo general del proyecto de mejoramiento genético de trigo candeal es crear variedades mejoradas de trigo (*Triticum tuigidum* L. spp *durum*) destinadas a la producción agrícola de la zona centro norte y centro sur del país.

Los objetivos específicos son desarrollar variedades con potencial de rendimiento, con características de calidad de acuerdo a lo exigido por la industria nacional e internacional. Estas variedades deben tener además resistencia genética durable a las principales enfermedades como *Puccinia triticina* f. sp. *tritici* (roya de la hoja), *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* (roya amarilla o estriada), *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (roya de la caña), *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (oídio) y al virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC). También deben presentar adaptación a las diferentes condiciones ambientales de producción.

Para cumplir con estos objetivos, el proyecto de mejoramiento genético utiliza diferentes metodologías de mejoramiento. Cada año se realizan aproximadamente 300 cruzamientos o hibridaciones, y posterior selección de individuos dentro de las poblaciones segregantes. De esta forma se busca combinar los caracteres deseables que deben estar presentes en una variedad. También se recurre a la introducción de germoplasma de otros países. Este germoplasma, después de su evaluación, puede permitir la selección más rápida de una variedad, pero también puede ser una fuente de genes útiles para efectuar cruzamientos con germoplasma local. El objetivo final es tener variedades mediante la generación de líneas puras utilizando métodos de selección como pedigrí o masal modificado.

Metodología de trabajo.

Cruzamientos. Los cruzamientos se realizan seleccionando individuos que reúnan la mayor cantidad de características deseables y cuya combinación permita seleccionar individuos superiores a los progenitores, en rendimiento, calidad, resistencia a enfermedades, adaptabilidad y tipo agronómico. Los cruzamientos se hacen en forma artificial, utilizando la metodología de emasculación, que consiste en la eliminación de las anteras de la flor, y posterior polinización, la que consiste en tomar polen del progenitor masculino y depositarlo sobre el estigma de las flores, previamente emasculadas, y que corresponde a la estructura femenina de la flor. Es importante recordar que las flores del trigo son hermafroditas y que tienen aproximadamente un 97% de autofecundación, es decir que la polinización se produce dentro de la misma flor.

Selección. Producto de la cruce realizada se obtiene la primera generación (F1) que es 100% homogénea, por lo que en ella no se realiza selección. A partir de la segunda generación (F2) se obtienen plantas genéticamente diferentes y es la primera generación en la cual se realiza selección de plantas individuales. De las plantas F2 seleccionadas se obtiene la semilla F3. Esta semilla se siembra y da origen a la segunda generación de selección. Plantas F3 seleccionadas originan la semilla F4. Este proceso se repite hasta la generación F6. En esta generación ya se ha alcanzado aproximadamente un 98% de homocigosis y alta homogeneidad. En F6 se procede a cosechar los mejores genotipos en forma masal, los que pasan a la etapa de evaluación de líneas homocigotas. Durante las diferentes generaciones

la selección consiste básicamente en elegir plantas semienanas, con resistencia a tendedura, buen tamaño de espiga, y resistente a enfermedades. El grano obtenido de cada planta o línea cosechada se somete a selección, eliminando todas aquellas que dan origen a granos amarengados, granos con punta negra, granos no bien formados y granos de deficiente coloración.

Evaluación de líneas homocigotas. En esta etapa se hace la primera evaluación de rendimiento y calidad de las líneas seleccionadas, las que forman parte de un ensayo preliminar de rendimiento. En este ensayo se utiliza un diseño experimental aumentado o de bloques incompletos, sin repeticiones. De acuerdo con el número de líneas evaluadas, generalmente más de cien, se determina el número de bloques en los cuales se incluyen al menos tres testigos. Sólo los testigos se repiten en el ensayo, lo que permite calcular el error y comparar las líneas experimentales con los testigos. Después de un año en ensayos preliminares las mejores líneas pasan a formar parte de los ensayos principales de rendimiento. Estos ensayos se establecen utilizando un diseño experimental alfa-lattice, con cuatro repeticiones. Las mejores líneas después de uno o dos años de evaluación en estos ensayos pasan a formar los ensayos estándar, que corresponden a los ensayos sembrados en varias localidades, cubriendo el área de siembra de trigo candeal.

El Cuadro 2 presenta el germoplasma evaluado en la temporada 2006/2007 en el programa de mejoramiento genético de trigo candeal de INIA. En total, considerando todas las etapas, se evaluaron cerca de 3000 genotipos de trigo, número que se mantiene en cada año de selección. Esto permite disponer de un importante número de genotipos avanzados que pasan por varios años de selección y evaluación asegurando un buen abastecimiento de líneas candidatas a variedades.

Cuadro 2: Evaluación de germoplasma realizado en la temporada 2006/2007.

Tipo de ensayo	Germoplasma evaluado
Híbridos F1	213
Poblaciones F2	200
Poblaciones F3 a F6	997
Ensayos preliminares	1044
Ensayos principales	180
Ensayos estándares	25
Total	2959

En el Cuadro 3 se muestran las localidades y correspondiente zona agroecológica en las que se establecen los ensayos estándares de variedades. Estos ensayos están formados por 25 genotipos, dentro de los que se incluyen variedades comerciales y líneas avanzadas. La información obtenida cada año de estos ensayos permite evaluar la adaptación de cada genotipo a las diferentes condiciones agroecológicas, y es la base para elaborar la recomendación anual de variedades según localidad, e identificar aquellas nuevas líneas avanzadas que pueden ser las potenciales nuevas variedades.

Cuadro 3: Ensayos estándares sembrados en diferentes localidades durante la temporada 2006/2007.

Localidad	Zona agroecológica
Santiago	Valle Regado (Región Metropolitana)
Hidango	Secano Costero (VI Región)
Cauquenes	Secano Interior (VII Región)
Chillán	Valle Regado (VIII Región)
Yungay	Precordillera Riego (VIII Región)
Yungay	Precordillera Secano (VIII Región)
Los Ángeles	Valle Regado (VIII Región)

Las evaluaciones realizadas en estos ensayos son rendimiento, enfermedades, altura de planta, ciclo de desarrollo, tipo agronómico, porcentaje de amarengamiento, porcentaje de punta negra, contenido de proteína y gluten húmedo.

Varietades. La variedad mejorada es un componente fundamental para lograr éxito en la producción, ya que ha sido desarrollada para alcanzar un comportamiento óptimo en cuanto a rendimiento, calidad industrial, resistencia a enfermedades y adaptabilidad. Pero la variedad mejorada es responsable de aproximadamente el 50% del rendimiento y calidad final. El otro 50% está asociado a las prácticas de manejo que el agricultor debe realizar para que la variedad pueda expresar y alcanzar su potencial. Entre las prácticas de manejo figuran un adecuado establecimiento, dosis de semilla, uso de semilla certificada, fecha de siembra, control de malezas, fertilización y riego, entre otros.

Según el hábito de desarrollo y requerimientos de temperatura las variedades de trigo se clasifican en variedades invernales, de hábito alternativo, y primaverales. Actualmente las variedades de trigo candeal recomendadas por INIA son de hábito primaveral y corresponden a Llaretta INIA y Corcolen INIA. Estas variedades no tienen requerimientos de frío para poder pasar de su fase vegetativa a la fase reproductiva.

No existen registros de variedades de trigo candeal de hábito invernal, pero hay variedades de hábito alternativo, inscritas en el registro nacional de variedades aptas para la certificación.

Características de las variedades. Las variedades, Llaretta INIA y Corcolen INIA tienen una altura de planta que fluctúa entre 95 y 83 cm, buena capacidad de macollaje y con caña resistente a la tendadura. Tienen un periodo de siembra a espigadura de 118 días en la zona centro norte, y 86 días en la zona centro sur, para la variedad Llaretta INIA y de 124 días en la zona centro norte, y 83 días en la zona centro sur para la variedad Corcolen INIA (Cuadro 4). La menor duración de siembra a espigadura en la zona centro-sur está asociada a siembra de primavera (agosto).

Cuadro 4: Características de las variedades de trigo candeal Llareta – INIA y Corcolen INIA.

Variedad	Habito de crecimiento	DSE ¹	DSE ²	Altura ¹ (cm)	Altura ² (cm)
Llareta INIA	Primaveral	118	86	95	84
Corcolen INIA	Primaveral	124	83	95	83

¹ Siembra, 15 de junio, Santiago

² Siembra, 15 de agosto, Chillán

DSE: Días de siembra a espigadura

El grano de ambas variedades es de color amarillo dorado, de textura dura y muy buena vitreosidad (superior al 90%). El peso de la semilla es de aproximadamente 56 gramos para Corcolen INIA y de 54 gramos para Llareta – INIA. Ambas variedades han mostrado resistencia a la roya estriada (*Puccinia striiformis*) y a la roya colorada de la hoja (*Puccinia triticina*), y buena tolerancia a virosis, oídio y punta negra.

Rendimiento.

Ambas variedades han tenido alto rendimiento en diferentes localidades de la zona centro norte y centro sur del país. El Cuadro 5 muestra el rendimiento de estas variedades, que fluctúa entre 70 y más de 100 qq/ha. Estos valores muestran el alto potencial de rendimiento de las variedades. Los valores del Cuadro 5 corresponden a siembras realizadas bajo condiciones de riego, y en fecha de siembra óptima, así en Santiago se sembró a mediados de junio y en Chillán, Yungay y Los Ángeles a mediados de agosto.

Cuadro 5: Rendimiento (qq/ha) de dos variedades de trigo candeal sembradas en cuatro localidades, en condiciones de riego.

Variedad	Localidad			
	Santiago	Chillán	Yungay	Los Ángeles
Llareta INIA	71,1	95,3	80,7	104,4
Corcolen INIA	77,3	94,8	80,6	97,8

Calidad.

La calidad del grano de una variedad está determinada, principalmente, por características genéticas, pero también está muy influenciada por factores ambientales y por la interacción que pueda existir entre la variedad y el ambiente en el cual se desarrolla. Dentro de los factores ambientales se consideran los aspectos climáticos sobre los cuales el agricultor no puede influir, y aquellos asociados al manejo agronómico sobre los cuales el agricultor tiene directa responsabilidad.

En el trigo candeal la calidad es fundamental, ya que la industria elaboradora de pastas, cada temporada de cosecha, establece bonificaciones y castigos para el grano recepcionado. Las industrias bonifican por peso del hectolitro, vitreosidad, contenido de proteína y al mismo tiempo castigan por impureza, grano partido y

chupado, baja vitreosidad o alto porcentaje de amarengamiento, alto porcentaje de punta negra, y alto contenido de humedad.

Peso del hectolitro. Corresponde al peso, en kilogramos, de un hectolitro de trigo limpio, es decir, la cantidad equivalente en kilogramos en un volumen de cien litros. El peso del hectolitro es un indicador de manejo adecuado y está relacionado con el rendimiento industrial de semolina. Problemas sanitarios como pudriciones radicales o enfermedades que ataquen a nivel de la espiga producen una disminución de los valores de este parámetro. La lluvia que pueda ocurrir cuando el grano está en madurez de cosecha puede hacer disminuir estos valores. Por esto, la cosecha oportuna es fundamental. El Cuadro 6 muestra que los valores de peso del hectolitro son altos, en la mayoría de los casos están afectos a bonificación por parte de la industria, y en ninguno de los casos se produce castigo o rechazo. En general el peso del hectolitro del trigo candeal destaca por su alto valor. Valores promedios registrados por la industria a nivel de agricultor en la temporada 2004/2005 fueron de 84 kg/hL.

Cuadro 6: Peso del hectolitro (kg/hL) de dos variedades de trigo candeal sembradas en cuatro localidades, en condiciones de riego.

Variedad	Localidad			
	Santiago	Chillán	Yungay	Los Ángeles
Llaretta INIA	84,2	84,7	82,1	83,9
Corcolen INIA	84,3	85,1	82,7	84,1

Vitreosidad. Esta característica se refiere al aspecto cristalino que deben tener los granos de trigo candeal. Lo contrario se conoce como amarengamiento y es una anomalía que se expresa como manchas opacas de color amarillo claro, que cubren todo o parte del grano, quitándole su característica vítrea. La calidad del grano se deteriora en forma proporcional al porcentaje de amarengamiento. El amarengamiento se puede definir como una anomalía fisiológica del grano generado por una deficiencia en la traslocación del nitrógeno al momento del llenado del grano.

Los valores de porcentaje de vitreosidad para las dos variedades (Cuadro 7) son muy altos en todas las localidades evaluadas. La característica de vitreosidad está relacionada con la variedad, pero también es dependiente del manejo del nitrógeno, ya que en la etapa de llenado del grano este elemento no debe faltar. Riegos tardíos, después del estado de grano lechoso, pueden producir un incremento de los granos amarengados.

Cuadro 7: Vitreosidad (%) de dos variedades de trigo candeal sembradas en cuatro localidades, en condiciones de riego.

Variedad	Localidad			
	Santiago	Chillán	Yungay	Los Ángeles
Llaretta INIA	97,0	98,5	98,0	98,0
Corcolen INIA	95,0	98,3	98,6	98,5

Contenido de proteína. El contenido de proteína del grano expresado en porcentaje, es otra de las características importantes para la industria, ya que incide en la elaboración de las pastas. El porcentaje de proteínas, como las otras características de calidad, está influenciado por el ambiente y por el manejo agronómico, teniendo importancia la fertilización nitrogenada. El porcentaje de proteína de las variedades chilenas es bajo (Cuadro 8). Pero como éste es un carácter muy influenciado por el ambiente hay años en que se puede llegar a niveles de hasta 12% de contenido de proteína con estas mismas variedades.

Cuadro 8: Proteína (%) de dos variedades de trigo candeal sembradas en tres localidades de la VIII Región, en condiciones de riego.

Variedad	Localidad		
	Chillán	Yungay	Los Ángeles
Llareta INIA	10,6	10,1	10,4
Corcolen INIA	10,2	9,1	9,7

Metas del proyecto de mejoramiento genético

Corto plazo. Mantener y/o elevar el potencial de rendimiento de las variedades. Mantener y/o elevar la calidad industrial de las variedades. Seleccionar germoplasma resistente a las principales enfermedades. Introducción de germoplasma para ampliar la diversidad genética. Estudiar la interacción varietal con factores de manejo: fertilización, control de malezas, dosis de semilla, rotaciones, fechas de siembra. Poner a disposición de los agricultores la información generada, a través de charlas técnicas, elaboración de boletines técnicos y días de campo.

Mediano y/o largo plazo. Seleccionar gemoplasma adaptado a condiciones de seco. Elevar el contenido de proteína de 10% a 12 %. Mejorar la pigmentación amarilla del grano de 20 a 26 en la escala Minolta. Utilizar herramientas moleculares para asistir al mejoramiento convencional. Poner a disposición de los agricultores la información generada, a través de charlas técnicas, boletines técnicos y días de campo.

SÍNTESIS

- Desde el año 1956 a la fecha se ha mantenido el programa de mejoramiento genético de trigo candeal en Chile, apoyado por el Ministerio de Agricultura y a cargo del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y se han liberado 15 variedades.
- Las variedades Llareta INIA y Corcolen INIA, ocupan actualmente más del 90% de la superficie sembrada con trigo candeal en Chile.
- La siembra de trigo candeal se ha desplazado hasta la VIII región del Bío Bío, concentrándose principalmente en las provincias de Ñuble y Bío Bío. Se estima que en la temporada 2006/2007 se sembraron en esta zona aproximadamente 6.000 hectáreas, lo que representa casi un 30% de la superficie nacional.
- Entre las metas de mediano y /o largo plazo, está el seleccionar genoplasmata adaptado a condiciones de secano. Elevar el contenido de proteína de 10% a 12%, mejorar la pigmentación amarilla del grano de 20 a 26 en la escala Minolta y utilizar herramientas moleculares para asistir al mejoramiento convencional.

LITERATURA CITADA

- Cortázar, S.R. 1987. Selección en trigo candeal, para disminuir el amarengamiento. *Agricultura Técnica* 47(2):177-180.
- Fundación Chile. 2005. Una nueva visión para el sector triguero en Chile. Área agroindustria de Fundación Chile. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 100 p.p.
- Graybosch, A.R., Peterson, C.J., Shelton, D.R. and Baenziger, P.S. 1996. Genotypic and environmental modifications of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Science* 36:296-300.
- INE, 1997. VI Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas. Santiago. Chile.
- Matus, I., Madariaga, R. y Jobet, R. 2005. Trigo candeal en la zona centro sur de Chile. *Tierra Adentro* 62:36-38.
- Matus, I. y Madariaga, R. 2007. Trigos candeales en la zona centro sur. Fechas de siembra, rendimiento y calidad del grano. *Tierra Adentro* 72: 30-32.
- Matus, I., Hirzel, J. y Madariaga, R. 2007. Fraccionamiento de la fertilización nitrogenada. Rendimiento y calidad del grano de trigo candeal. *Tierra Adentro* 73:18-19
- Moreno, M. 1965. Aspectos sobre la producción de trigo candeal en el país. *Agricultura Técnica* 25(3):93-95.
- Moreno, M., Ramírez, I., Gonzales, R., Parodi, P., Hacke, E., Wolf, H. y Granger, D. 1970. Quilafén una nueva variedad de trigo candeal. *Agricultura Técnica* 30 (2): 105.
- Parodi, P., Nebrada, I.M. y Cosmelli, A.F. 1982. Amarengamiento de los granos del cultivar de trigo Quilafén (*Triticum durum*), en respuesta al nitrógeno y densidad poblacional. *Ciencia e Investigación Agraria* 9(2):89-93.

10

Mejoramiento genético para el control de las principales enfermedades que afectan al trigo candeal

E. Hacke.

IBSEN 6595 Dpto. 402. Las Condes. Santiago. Chile. mpazhackev@hotmail.com, mpazhackev@123mail.cl, mpazhackev@terra.cl, fono 56-2-2297203

INTRODUCCIÓN

Entre las enfermedades que pueden reducir en mayor grado el rendimiento y afectar la calidad del trigo candeal (*Triticum turgidum* L.spp. *durum*) en Chile, principalmente en la zona centro – norte, que se extiende desde Vallenar a Talca, se encuentran las royas o polvillos, las enfermedades radicales, las manchas foliares y la virosis del enanismo amarillo de la cebada (BYDV).

ROYAS O POLVILLOS

Las principales royas son la roya (o polvillo) del tallo (*Puccinia graminis tritici*), la roya de la hoja (*P. triticina*) y la roya estriada (*P. striiformis*). Las tres royas pueden reducir el número, tamaño y peso de los granos, bajar el peso del hectolitro y deteriorar la calidad del grano. Se han registrado pérdidas de 100% de la cosecha sólo en el caso de la roya de la caña y de la roya estriada. En roya de la hoja los daños sólo han alcanzado a 50% de pérdida.

Roya del Tallo (*Puccinia graminis tritici*). Esta enfermedad causó pérdida total de la cosecha de un cultivo de trigo candeal cv. Capelli en Ovalle en 1958 cuando las plantas estaban en el estado de bota (Hacke, 1980). Otras epifitias severas de roya del tallo ocurrieron en los años indicados en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Epifitias de *P. graminis tritici* de gran intensidad registradas en la zona Centro Norte de Chile.

Provincia	Año (s)	Referencia
Coquimbo	1940, 1944	Cortázar, 1947
Colchagua	1940	Cortázar, 1947
Aconcagua	1951	Stakman y Harrar, 1957

Continuación cuadro 1.

Valparaíso	1951	Stakman y Harrar, 1957
Santiago	1951	Stakman y Harrar, 1957
Colchagua	1951	Stakman y Harrar, 1957
Coquimbo	1958	Hacke, 1980
Coquimbo	1961	Hacke, 1980
Coquimbo	1964	Hacke, 1980
Coquimbo	1966	Hacke, 1980
Coquimbo	1979	Hacke, 1980

P. graminis también ha ocasionado epifitias desastrosas en otros países productores de trigo. En USA, las pérdidas de rendimiento en trigo candeal por ataque de *P. graminis* fluctuaron entre 60 y 80% en los años 1953 y 1954. A partir de 1980 se observó una disminución de las epifitias de *P. graminis*. Saari y Prescott (1985) estudiaron la importancia histórica de *P. graminis*, *P. triticina* y *P. striiformis* en 13 zonas epidemiológicas de África, Asia, Australia, Europa y América. Los resultados mostraron que en 12 zonas hubo una disminución de la importancia de *P. graminis*, con la sola excepción de África del Este. En cuanto a *P. triticina* sólo en dos zonas, Asia del Sur y Europa del Oeste, se constató una disminución. En 6 zonas; África del Norte, Asia Central, Asia Sudeste, Europa del Este, América del Norte y América del Sur, continúa siendo importante. En relación a *P. striiformis*, en 12 zonas se mantuvo la importancia histórica y actual, además de Nueva Zelanda, donde no había sido detectada históricamente y actualmente reviste importancia local.

Entre los posibles factores que pueden haber influido en la reducción de los ataques de royas se encuentran:

- La siembra creciente de variedades resistentes que debe haberse traducido en una paulatina disminución del inóculo. Los genes de resistencia más usados han sido Sr 2, que confiere al trigo resistencia de planta adulta, otros genes de resistencia no específica y los genes de resistencia específica Sr 24, Sr 26 y Sr 31.
- La eliminación masiva de *Berberis* sp, *Mahonia* sp y del híbrido *Maho - berberis* en Europa, USA, Canadá y en muchos otros países, donde estas especies arbustivas son hospedantes de *Puccinia graminis*. En estas especies se realiza la fase sexual del hongo, en la que se producen nuevas recombinaciones de genes que generan finalmente nuevas razas virulentas, que pueden atacar variedades de trigo inicialmente resistentes.
- El reemplazo de variedades de largo periodo vegetativo por otras más precoces, permite a las plantas escapar al ataque de la enfermedad.

En Chile hace alrededor de 30 años que *P. graminis* no se ha presentado en las sementeras tanto de trigo candeal como de pan.

Resistencia Genética a *P. graminis*. El método más efectivo no contaminante y económico para el control de la roya de la caña y de las otras royas, es a través del uso de variedades con resistencia genética. El Proyecto Trigo de INIA creó nuevas variedades de trigo resistentes a la roya del tallo, Candealfen 1, Candealfen 2, Candealfén 5, Candealfén 6, Quilafén INIA, Lincan INIA, Alifén INIA, Llaretta INIA y Guayacán INIA.

Las royas del trigo han evolucionado desde hace miles de años, mediante reproducción sexual y por medio de diversos mecanismos asexuales, como

mutación, heterocariosis y parasexualismo, por lo que es difícil que no exista actualmente virulencia para todos los genes de resistencia (Hacke, 1984). En 1999, en África apareció una nueva raza de *P. graminis* muy virulenta y agresiva que se está propagando a otros países. Es preocupante que pueda llegar a Chile, dada su agresividad, ya que las esporas de la roya tienen la capacidad de ser arrastradas a grandes distancias por el viento y por otros medios.

Resistencia Específica y no Específica. A través del uso de la resistencia específica o no específica se puede restringir la enfermedad de la siguiente forma:

- Reducción del número de infecciones exitosas. Se ha demostrado que las plantas hospedantes difieren en receptividad al hongo, es decir, igual cantidad de uredosporas pueden producir diferente número de uredosoros según la variedad de que se trate. Esta receptividad puede medirse en el campo al inocular las plantas y tomar notas a las dos semanas. La reducción puede ser total, si la raza es avirulenta en las plantas portadoras del gen de resistencia Sr 5, o parcial si la variedad inoculada es portadora del gen Sr 36 (Tt - 1) o el gen Sr 2 (Sunderwith y Roelfs, 1980).
- Mayor duración del período de latencia o desarrollo lento de la roya. El desarrollo lento de la roya puede estar gobernado por genes de resistencia no específica o de resistencia específica. El gen Sr 36, derivado de *Triticum Timopheevii* condiciona desarrollo lento de la roya (Rowell, 1982). Probablemente la variedad Thatcher (Sr 5, 9g, 12, 16) posee una forma de resistencia causante del progreso lento de la roya. La resistencia de Thatcher se atribuye a 2 genes recesivos. Gran parte de la resistencia que se considera no específica es eficaz sólo en ciertos estados de desarrollo de la planta y con determinadas temperaturas. Es probable que algunos genes Sr, por ejemplo Sr 2, Sr 6 (Cox and Wilcoxon, 1982) y Sr 36 (Rowell, 1981) también estén vinculados al progreso lento de *P. graminis*.
- Reducción del tamaño del área de esporulación. La mayoría de las resistencias gobernadas por genes específicos funcionan reduciendo el área de la lesión. Algunos genes como Sr 9e, inducen pocas esporas por lesión, en cambio, otros como Sr 5 y Sr 29 inducen pocas esporas. La reducción de esporas debida a un solo gen o a varios genes de resistencia es afectada a menudo por la temperatura, luz, nivel de ploidía del hospedante y por el estado de desarrollo del hospedante.
- Reducción del período de esporulación. Se ha observado que algunos genes de resistencia reducen el período de esporulación en plántulas, no así en plantas adultas.

Biotipos y Razas Fisiológicas. *Puccinia graminis* f. sp. *tritici*. Un biotipo se define como una población de individuos con idénticos genotipos y una raza fisiológica, como un grupo de biotipos similares en su morfología, pero diferentes en caracteres fisiológicos, bioquímicos, patológicos y otros. Las razas fisiológicas, designadas por letras, se identifican sobre la base de las reacciones de un grupo de variedades diferenciales monogénicas de resistencia. Los diferentes tipos de reacción pueden ser de resistencia (0, 0; 1,2) susceptible (3,4) mesotética (X) (Stackman *et al.*, 1962):

a) Resistente.

0 = INMUNE – ningún uredosoro ni otros síntomas de infección.

0; = CASI INMUNE – Ningún uredosoro pero puede observarse manchas hipersensitivas.

1 = MUY RESISTENTE – Uredosoro pequeño rodeado por áreas claramente necróticas.

2 = MODERADAMENTE RESISTENTE – Uredosoros pequeños a medianos, usualmente en islas verdes rodeadas por bordes cloróticos o necróticos.

b) Susceptible.

3 = MODERADAMENTE SUSCEPTIBLE – Uredosoro de tamaño mediano; rara vez coalescente; sin necrosis, pero pueden estar presentes, especialmente bajo condiciones desfavorables.

4 = MUY SUSCEPTIBLE – Uredosoros grandes, y a menudo coalescente; sin necrosis, pero pueden mostrar clorosis bajo condiciones desfavorables.

c) **Mesotética heterogénica (X)** Uredosoros variables, algunas veces incluyendo todos los tipos de infección e ínter gradaciones entre ellas sobre la misma hoja; no es posible la separación mecánica; al reinocular uredosoros pequeños puede originar uredosoros grandes, y viceversa.

Por otra parte, la clase mesotética se basa sólo en la presencia del tipo de infección X, y allí puede haber un amplio rango de susceptibilidad y resistencia dentro de esta clase, como se indica mediante los signos + o – después de X.

Identificación de razas fisiológicas. Para la identificación de razas fisiológicas de *P. graminis* se inoculan variedades diferenciales, cada una de las cuales lleva un solo gen de resistencia. Las reacciones de resistencia se designan con la letra L (low = baja) y las de susceptibilidad, H (high = alta).

En el Cuadro 2 se muestran 44 genes conocidos de resistencia a *P. graminis*, su respuesta a un cultivo avirulento y su localización en el cromosoma. En los programas de fitomejoramiento reviste gran importancia conocer la localización del gen para saber cómo se pueden utilizar esos genes para la creación de variedades de trigo resistentes a la roya. Si se desea traspasar un gen de resistencia de un trigo de pan (genoma AABBDD) a uno candeal (genoma AABB), el gen debe estar localizado en el cromosoma A o B. Si el gen de resistencia está localizado en el cromosoma D, hay que utilizar transgenia. El Cuadro 2 muestra 34 genes de resistencia localizados en los genomas A o B y sólo 9 en el genoma D. De los 44 genes de resistencia que aparecen en el Cuadro 2, 11 de ellos se destacan por su efectividad a la roya del tallo globalmente. Tal característica puede perderse si aparece una nueva raza.

Cuadro 2: Genes conocidos de resistencia del hospedante al polvillo de la caña y sus respuestas a *P. graminis tritici* (Roelfs, 1988).

Gen Sr	Fuente	Respuesta a un cultivo avirulento y tipo de infección En planta adulta	Localización en el cromosoma	Efectivo	
2	<i>T. dicoccon</i>	S (pocos uredosoros)	3BS	Mundial	*
5	<i>T. aestivum</i>	R	6Da		
6	<i>T. aestivum</i>	R	2Da		
7 a	<i>T. aestivum</i>	MS	4BL		*
7 b	<i>T. aestivum</i>	MS	4BL		*
8 a	<i>T. aestivum</i>	MS	6Aa		*
8 b	<i>T. aestivum</i>	MS	6Aa		*
9 a	<i>T. aestivum</i>	MS	2BL		*
9 b	<i>T. aestivum</i>	MS	2BL		*
9 d	<i>T. dicoccon</i>	R – MR	2BL		*
9 e	<i>T. dicoccon</i>	R – MR	2BL		*
9 f	<i>T. aestivum</i>	¿	2BL		*
9 g	<i>T. durum</i>	MR	2BL		*
10	<i>T. aestivum</i>	MR – MS			
11	<i>T. aestivum</i>	MR	6BL		*
12	<i>T. durum</i>	MR	3BS		*
13	<i>T. durum</i>	MR	6Ab	Mundial	*
14	<i>T. durum</i>	MR – MS	1BL		*
15	<i>T. aestivum</i>	MS – S	7AL		*
16	<i>T. aestivum</i>	MS	2BL		*
17	<i>T. dicoccon</i>	MR	7BL		*
18	<i>T. aestivum</i>	¿	1DL		*
19	<i>T. aestivum</i>	¿	2BL		*
20	<i>T. aestivum</i>	¿	2BL		*
21	<i>T. monococcum</i>	MR	2AL		*
22	<i>T. boeoticum</i>	R – RM	7AL	Mundial	*
23	<i>T. aestivum</i>	MS-S, MR	4 A		*
24	<i>T. elongatum</i>	MS	3DL	No en S. África	
25	<i>T. elongatum</i>	MS	7DL	Mundial	
26	<i>T. elongatum</i>	R – MR	6Ab	Mundial	*
27	<i>S. cereale</i>	R	3 A	No en Australia	*

Continuación cuadro 2.

28	<i>T. aestivum</i>	R	2BL	Asia del Sur	*
29	<i>T. aestivum</i>	MR	6Db	Mundial	
30	<i>T. aestivum</i>	MR	5DL	Mundial	
31	<i>S. cereale</i>	R	1BL	Mundial	*
32	<i>Ae squarrosa</i>	MR	2AS	Mundial	*
33	<i>Ae squarrosa</i>	MR	1DL	Mundial	
34	<i>T. aestivum</i>	MS – S, MR	2 A		*
35	<i>T. monococcum</i>	R	3 Aa		*
36	<i>T. timopheevii</i>	R, S (pocos uredinios)	2BS		*
37	<i>T. timopheevii</i>		R4Ab	Mundial	*
Kt 2	<i>T. aestivum</i>		2BL		*
Uf	<i>T. aestivum</i>		2D		
Hg	<i>T. dicoccon</i>		¿		

(a) Tipos de infección a 18 °C (plantas con Sr 6, 10, 15 y 17 son más susceptibles a altas temperaturas, en tanto que plantas con Sr 13 son más resistentes. Se ha encontrado también variación con la base genética y con el nivel de ploidía (Knott, 1981; Luig y Rajaram 1972).

S = susceptible = 4

R = resistente, = 1

MR = moderadamente resistente = 2

MS = moderadamente susceptible 3

* genes localizados en el genoma AA BB

Roya o polvillo colorado de la hoja del trigo (*Puccinia triticina*). Esta roya es patogénica en trigo de pan (*Triticum aestivum* L.) y en trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). Históricamente se la consideró de baja importancia por la moderada intensidad que a menudo presentan los ataques en comparación a las pérdidas devastadoras causadas por la roya del tallo y estriada, lo que enmascaró su real importancia (Samborsky, 1985). En el transcurso de los años se ha ido acumulando mayor información sobre las pérdidas ocasionadas por *P. triticina*, lo que ha permitido concluir que de las tres royas es la que ha causado mayores daños. Así por ejemplo, la pérdida ocasionada por la roya de la hoja en Oklahoma y Kansas desde 1973 a 1975 se estimó en 400.000 toneladas (Roelfs, 1978). En México la pérdida alcanzó a 40% de la cosecha en la temporada 1976 / 1977 en la variedad Jupateco que presentó ataques severos antes de la espigadura (Dubin y Torres, 1981). Actualmente *P. triticina* ha llegado a ser la enfermedad más importante en trigo candeal debido a la reciente aparición de una nueva raza, BBG / BN virulenta en el 80% de la colección de trigo candeal de CIMMYT. Entre las variedades resistentes a ella se pueden citar llareta INIA y guayacan INIA (Herrera-Foesel, 2005).

Factores que Influyen en el daño que causa la Roya de la Hoja. Los daños que ocasiona *P. triticina* dependen del estado fenológico en que se encuentre la planta de trigo cuando ocurre el ataque del patógeno. Si un ataque severo ocurre durante el macollaje y a comienzos del encañado, la enfermedad disminuye el número de espiguillas por espiga y el número de espigas por planta. Si el ataque severo se produce entre encañado y bota, disminuye el número de granos por espiga. En ataques posteriores a la espigadura, la roya reduce el tamaño y peso de los granos.

Epidemiología. Las esporas del patógeno, una vez depositadas sobre las plantas, germinan dentro de los 30 minutos en contacto con agua libre a 5 – 20 °C y producen un tubo germinativo que forma un apresorio sobre los estomas. Cada apresorio produce una espiga que atraviesa la abertura estomática y forma una vesícula debajo del estoma. Las vesículas sub - estomáticas producen hifas que se desarrollan entre las células del hospedante. Estas últimas emiten haustorios que obtienen su alimentación de las células del hospedante.

En el caso de incompatibilidad entre el hospedante y el parásito se forman haustorios y al morir la célula del hospedante también muere el haustorio. La incompatibilidad hospedante – patógeno da por resultado una respuesta de resistencia (Rowel, 1982).

En cuanto a las epifitias de *P. triticina* registradas en Chile pueden mencionarse las de 1961, 1962 y 1963 tanto en trigo de pan como en candeal (Hacke, 1992). Después de 1963 los ataques de la roya de la hoja fueron insignificantes o nulos hasta 1985. En 1986, el trigo candeal sufrió un ataque extraordinariamente severo de *P. triticina* en los ensayos regionales sembrados en cinco localidades entre La Serena y Chimbarongo como puede observarse en el Cuadro 3.

Cuadro 3: Coeficientes promedio de infección (CPI)¹ en los Ensayos Regionales de trigo candeal sembrados desde La Serena a Chimbarongo en 1986 que incluyeron 45 líneas avanzadas del Proyecto Trigo – INIA.

Localidades	La Serena	Ovalle	Illapel	La Platina	Chimbarongo
CPI	42,4	48,5	70,1	67,2	35,5

¹El CPI resulta de multiplicar el % de ataque de la planta por los coeficientes asignados a cada reacción: S = 1, MS = 0,8, MR = 0,4, R = 0,2

Los severos ataques de roya de la hoja registrados en la zona centro –norte desde 1986 han afectado significativamente más al trigo candeal que de pan. Se evaluó anualmente la intensidad de los ataques del polvillo en el período 1986– 1995, en las variedades de trigo incluidas en ensayos de rendimiento de las dos especies del Centro Regional La Platina (INIA). Se evaluó anualmente un promedio de 360 variedades de trigo de pan y 400 de trigo candeal bajo condiciones de infección artificial con el fin de asegurar un ataque satisfactorio. Las notas de la enfermedad se tomaron de acuerdo a la escala modificada de Cobb y se determinó coeficientes promedio de infección, que permitieron expresar numéricamente la severidad de los ataques (Cuadro 4).

Cuadro 4: CPI de *P. triticina* en variedades de trigo candeal y de trigo de pan en INIA (CRI La Platina), en el período 1986 – 1995 (Hacke y Cortázar, 1997).

Año	Trigo Candeal	Trigo de pan
1986	22,7	6,5
1987	16,4	15,3
1988	4,9	3,0
1989	9,3	5,2
1990	3,4	8,4
1991	20,1	5,8
1992	20,9	16,6
1993	13,2	0,0
1994	19,5	7,0
1995	21,4	7,5
Promedio 1986 – 1995	15,2	7,5

En los 10 años estudiados, el trigo candeal se atacó significativamente más con *P. triticina* que el de pan ($P \leq 0,05$). Durante el período se constató que numerosas variedades y líneas avanzadas de trigo candeal resistente, así como también en trigos incluidos en el bloque de progenitores, dejaron de tener resistencia (Hacke y Cortázar, 1997).

Bloque de progenitores de trigo candeal. En el Cuadro 5 se presentan líneas avanzadas de trigo candeal cuya resistencia a *P. triticina* fue efectiva entre 4 y 9 años, bajo condiciones de campo.

Cuadro 5: Variedades de trigo candeal (*Triticum turgidum* var. durum) incluidas en el bloque de progenitores que mantuvieron su resistencia a *P. triticina* (Hacke y Cortázar, 1997).

Variedad	Año de ingreso al BP	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
JOB	1987	R	R	R	R	R	R	R	R	R
BGTO/SHWA "S" MAL "S"	1989			R	R	R	R	R	R	R
Y el "S"/BAR"S"/ 3/GR"S"/AFN/ CR"S"/5/DOM "S"//CR"S"*2/ GS"S"/3/SCO "S"/4/HORA/6/ LAP76/GUIL "S"	1990				R	R	R	R	R	R

Continuación cuadro 5.

ALTAR84/ CMH82A.1062// RISSA"s"PLAC6991 CD83484.A.6YRC. OM.2P PLAC 3089	1990	R	R	R	R	R	R
LLARETA INIA D67.54.4 ^a .9 ^a // JO"S"/ RD119.200.4Y/3/ SHL 77 CD64399.4P.2P.3P	1991		R	R	R	R	R
GUAYACAN INIA ALTAR84/ STINT"S"// SILVER CD 80545.A.1Y.030 YRC.040M.3YRC. OPAP	1992			R	R	R	R

Las variedades de trigo candeal que más se han destacado por su resistencia a la roya de la hoja no sólo en Chile sino también a nivel internacional son llareta – INIA y Guayacan – INIA.

Genes de resistencia. En el cuadro 6 se muestran 50 genotipos de trigo portadores de genes de resistencia. En él se indica la localización en el genoma y la fuente (cultivar o especie).

Cuadro 6: Genes de resistencia a la roya de la hoja, su respectiva localización en el genoma y su fuente de origen (Roelfs *et al.*, 1992).

Gen Lr	Localización en el genoma	Fuente (cultivar / especie)
1	5DL	Malakof
2 ^a	2DS	Webster
2b	2DS	Carina
2c	2DS	Brevit
3	6BL	Democrat
3bg	6BL	Bagé
3Ka	6BL	Klein Aniversario
9	6BL	<i>Triticum umbellulatum</i>
10	1AS	Lee
11	2 A	Hussar
12	4 A	Echange
13	2BS	Frontana
14 a	7BL	Hope
14 b	7BL	Bowie
15	2DS	Kenya 1-12E-19-J

16	2BS	Exchange
17	2AS	Klein Lucero
18	5BL	África 43
19	7DL	<i>Agropyron elongatum</i>
20	7AL	Thew
21	1DL	<i>T. tauschii</i>
22 a	2DS	<i>T. tauschii</i>
22 b	2DS	Thatcher
23	2BS	Gabo
24	3DL	<i>A. elongatum</i>
25	4AB	Rosen rye
26	1BL-1AB	Imperial rye
27	3BS	Gatcher
28	4BL	<i>T. speltoides</i>
29	7DS	<i>A. elongatum</i>
30	4BL	Terenzio
31	4AB	Gatcher
32	3D	<i>T. tauschii</i>
33	1BL	PI 58458
34	7D	Terencio
35	2B	<i>T. speltoides</i>
36	6BS	<i>T. speltoides</i>
37	2AS	<i>T. ventricosa</i>
38	2AL	<i>A. intermedium</i>
39	2DS	<i>T. tauschii</i>
40	1D	<i>T. tauschii</i>
41	1D	<i>T. tauschii</i>
42	1D	<i>T. tauschii</i>
43	7D	<i>T. tauschii</i>
44	1BL	<i>T. aestivum spelta 7831</i>
45	2AS	<i>Secalis cereale</i>
46	1B	Pavon 76
T3		Terenzio
Exch		Exchange
B		Brevit

Identificación de razas fisiológicas de *P. triticina*. La identificación de razas fisiológicas de la roya de la hoja de un número representativo de aislamientos de una región, mediante variedades diferenciales, cada una de las cuales llevan un solo gen de resistencia, permite conocer los cambios que se producen en la población de la roya en un determinado número de años. El desarrollo de las fórmulas de avirulencia/virulencia de cada raza identificada permite conocer los genes efectivos que dan resistencia. Los genes efectivos son los que al ser inoculados con un cultivo monospórico exhiben una reacción de resistencia (o hasta 2) y los genes no efectivos, los que muestran reacción de tipo susceptible 3 – 4 y X.

La información obtenida tiene múltiples aplicaciones en fitomejoramiento, ya que al utilizar las nuevas razas identificadas como inóculo en la prueba de resistencia del Bloque de Progenitores y líneas avanzadas de trigo se conoce con antelación qué líneas de trigo corren el riesgo de ser atacadas bajo condiciones de campo a corto o mediano plazo.

Roya o polvillo estriado (*Puccinia striiformis*). Esta enfermedad, causada por el hongo *Puccinia striiformis* Westend f.spp. *tritici*, se le conoce también como roya lineal, amarilla o de la gluma. Puede atacar toda la parte aérea de la planta de trigo y cebada y afectar seriamente el desarrollo de raíces. En ataques muy severos puede causar pérdidas totales, como el polvillo de la caña. Sin embargo, este polvillo está restringido principalmente a áreas de clima fresco y templado con abundantes lluvias, por lo que su importancia a nivel mundial es menor que los otros polvillos.

Sintomatología. La roya amarilla se presenta comúnmente sobre las hojas en el estado uredial en forma de estrías amarillas y angostas al comienzo y más adelante pueden juntarse una a otras hasta cubrir totalmente las hojas del trigo de pan, candeal y de cebada. El triticale y otras gramíneas son sólo moderadamente infectadas por la roya amarilla. Bajo ciertas condiciones favorables se infectan también las espigas. En esos casos las pústulas aparecen sobre las superficies internas de las glumas y lemmas y ocasionalmente invaden los granos en desarrollo. Se ha observado que algunas veces las hojas muestran síntomas de resistencia, en cambio las espigas, tanto en trigo de pan como candeal, pueden verse seriamente infectadas por la roya. Este fenómeno se cree que es genético. En los últimos estados de desarrollo de las variedades susceptibles de trigo, aparecen los teleutosoros en forma de estrías negras en las hojas y vainas que a la madurez quedan cubiertas por la epidermis.

Epidemiología. El patógeno se desarrolla favorablemente bajo condiciones de temperatura baja a moderada (10 a 5 ° C) principalmente en las áreas donde hay lluvias intermitentes. La infección tiende a disminuir a temperatura sobre 21 – 22 ° C. La roya estriada, comparada con las demás royas del trigo, es la que requiere temperaturas más bajas para su desarrollo. Las temperaturas mínimas, óptimas y máximas para la infección son 0, 11 y 23 ° C, respectivamente (Hogg *et al.*, 1969). En Chile, las mejores condiciones para el desarrollo de la roya estriada están en la zona sur y centrosur, disminuyendo en la zona centronorte, donde los ataques se presentan irregularmente en ciertos años, pero causando graves daños económicos, a tal punto que excelentes variedades comerciales de trigo de pan han debido ser desechadas por susceptibilidad a *P. striiformis*. Existe también información de epifitias de gran intensidad de esta roya, en la zona central en 1940 y 1945 (Cortázar, 1947) y en 1964 y 1965 en la zona centronorte (Parodi, 1966) en las variedades de trigo de pan Orofen, Orofingo y Raco.

Control genético. El control más eficaz, práctico y económico es a través del uso de variedades resistentes. En el Cuadro 7 se presentan 22 variedades resistentes a *P. striiformis*; y en el Cuadro 8, 35 variedades con resistencia específica y no específica.

Cuadro 7: Variedades resistentes a *P. striiformis*.

Gen Yr	Localización en el genoma	Fuente	Plán-tula	Planta adulta	Línea probadora	Observaciones	Referencias
1	2 A	Chinesse 166	1	1	Chinesse 166		Lupton y Macer, 1962
2	7B	Heines VII	4	4	Heines VII	¿Con Yr?	Lupton y Macer, 1962
3 a		Vilmorin 23	2	2	Vilmorin 23		Lupton y Macer, 1962
3 b		Hybrid 46	2	2	Hybrid 46	Con Yr4b	Lupton y Macer, 1992
3 c		Minister	2	2	Minister		Lupton y Macer, 1992
4 a		Capelle – Desprez	2	2	Capelle – Desprez	Con Yr3a, 16	Lupton y Macer, 1992
4 b		Hybrid 46	2	1	Hybrid 46	Con Yr3b	Lupton y Macer, 1962
5	2BL	<i>Triticum spelta album</i> Heines Kolben	1	1	<i>T. spelta album</i>		Macer, 1966
6	7BS	Heines Kolben	4	4	Heines Kolben	Con Yr2	Macer, 1966
7	2BL	<i>Iumillo durum</i>	2	2	Lee	Ligado al Sr9g	Macer, 1966
8	2D	T. comosa	1	1	Compair Riebessel 47/51, Clement, Fed/ Kavkaz	Ligado al Sr34	Riley <i>et al.</i> , 1968
9	1BL – 1RS	Imperial rye	1	1	Moro	Ligado al Sr31, Lr26	Macer, 1975
10	1BS	Moro	1	1	Moro		Macer, 1975
11		Joss Chambier	-	2	Joss Chambier	Resistencia de planta adulta	Priestley, 1978
12		Caribo	-	2	Mega	Resistencia de planta adulta	Priestley, 1978
13		Ibis	-	2	Maris Huntsman	Resistencia de planta adulta	Priestley, 1978
14		Falco	-	2	Maris Bilbo	Resistencia de planta adulta	Priestley, 1978
15	1B	Dippes Triumph	1	1	<i>T. discocoides</i> G – 25	Con Yr?	Amitai <i>et al.</i> , 1985
16	2DS	Capelle – Desprez	-	3	Capelle – Desprez	Resistencia a la planta adulta, con Yr3a, 4 a	Worland y Law, 1986
17	2AS	<i>T. ventricosa</i>	-	-	VPM1	Ligado al Lr37 Y el Sr38	No publicado
18	7D	Anza, Condor	-	4 to 7	Anza, Condor	Resistencia de planta adulta, ligado al Lr34	No publicado
A		Avocet	5	5	Avocet		No publicado

Cuadro 8: Variedades con resistencia específica y no específica (Roelfs et al., 1992).

Variedad	Genes Yr.	Tipo de resistencia no específica	Referencias	Observaciones
Anza	A, 18	durable	Johnson, 1988	
Arminda	13, +		Stubbs, 1985	
Atou	3 a, 4 a, 16	durable	Johnson, 1988	
Bon Fermier	3 a		Stubbs, 1985	
Bouquet	3 a, 4 a, 14,	durable	Johnson, 1988	
Capelle	16?			
– Desprez	3 a, 4 a, 16		Lupton <i>et al.</i> , 1988	
Carstens VI	12		Stubbs, 1985	
Champlein	3 a, 4 a, 16		Johnson, 1988	
Elite Lepeuple	2		Johnson, 1988	
Flanders	1, 3 a, 4 a, 16?		Johnson, 1988	
Flinor			Johnson, 1988	
Gaines			Line <i>et al.</i> , 1983	
Heines VII	2		Stubbs, 1977	
Holdfast			Johnson, 1988	
Hybrid 46	3b, 4b		Johnson 1988	
Hybride de Bersee	3 a, 4 a, 16?	durable	Johnson y Law, 1975	cromosoma 5BS – 7BS
Ibis	1, 2, 13	¿sensible a la temperatura?	Stubbs, 1977	
Itana		Aditiva	Sharp y Volin, 1970	
Joss Chambier	2, 3 a, 11		Lupton <i>et al.</i> , 1962	
Jubilar			Johnson, 1988	
Juliana	14, +		Stubbs, 1985	
Karamu	A	durable	Johnson, 1988	
Little Joss			Lupton <i>et al.</i> , 1962	
Luke			Line <i>et al.</i> , 1983	
Manella	2, 14		Stubbs, 1985	
Maris	2, 3 a, 4 a, 13,		Johnson, 1988	
Huntsman	16?			
Maris Widgeon	2, 3 a, 4 a, 8,		Lupton <i>et al.</i> , 1962	
Norka	16?		Robbelen y Sharp, 1978	
Nugaines			Line <i>et al.</i> , 1983	
PI 178383	10	Temperatura alta	Sharp y Volin, 1970	1 gen mayor, 3 genes menores
Starke II			Johnson, 1988	
Vilmorin 27	3 a, 4 a, 16?		Johnson, 1988	
Wanser		en el campo	Sharp <i>et al.</i> , 1976	
Wilhelmina			Stubbs, 1985	
Yerman	13		Johnson, 1988	

Tipos de infección de *P. striiformis*. Los tipos de infección que causa *P. striiformis* en el hospedante son diferentes de los causados por *P. recondita* y *P. graminis*, debido a que el hongo es sistémico en la planta (Cuadro 9).

Cuadro 9: Clasificación general de los tipos de infección de la roya amarilla o estriada en hojas de plántulas.

Descripción del tipo de infección	Símbolo Código	Valor índice
Ninguna infección visible	0	0
Muchas manchas cloróticas / necróticas. Ninguna esporulación	VR	1
Estrías necróticas / cloróticas. Ninguna esporulación	R	2
Estrías necróticas / cloróticas. Tazas de esporulación	MR	3
Estrías necróticas / cloróticas. Ligera esporulación	LM	4
Estrías necróticas / cloróticas. Esporulación intermedia	M	5
Estrías necróticas / cloróticas. Esporulación moderada	HM	6
Estrías necróticas / cloróticas. Abundante esporulación	MS	7
Clorosis detrás del área de esporulación. Abundante esporulación	S	8
Ninguna necrosis / clorosis. Abundante esporulación	VS	9

Taller sobre metodología de las enfermedades de cereales INIA – Chile, IPO Países bajos CIMMYT – México, Santiago – Chile, 3 – 14. Dic. 1979

Identificación de razas fisiológicas de *P. striiformis*. Para la identificación de razas de polvillo estriado se utilizan 16 variedades diferenciales (Cuadro 10)

Cuadro 10: Variedades diferenciales de trigo Universales y Europeas, utilizadas para la identificación de razas de *P. striiformis* (Johnson et al., 1972).

I. Diferenciales Uiversales	Gen Yr	II. Diferenciales Europeos	Gen Yr
Clement	9	Heines VII	2
Suwon 92x0 mar	-	Spalding prolific	-
Strubes Dickkopf	-	Carstens V	-
Moro	10	Compair	8
Vilmorin 23	(3 a)	Nord Desprez	-
Heines Kolben	6	Heines Peko	6
Lee	(7)	Reichersberg 42	-
Chinese 166	1	Irbid 46	4 b

Para la nomenclatura de las razas *P. striiformis* se ha utilizado un sistema de anotación binaria. En este sistema se otorga a cada hospedante diferencial un valor fijo (valor binario). Las reacciones de las razas se clasifican ya sea como resistentes (anotación binaria = 0), o susceptibles (anotación = 1) (Cuadro 11).

Cuadro 11: Uso de anotación binaria para la determinación de una raza fisiológica (Johnson *et al.*, 1972).

Hospedante Diferencial	G	F	E	D	C	B	A
Valor Decanario	2	2	2	2	2	2	2
Reacción de la raza	R	R	S	R	S	S	R
Valor Binario	0	0	1	0	1	1	0
Valor Decanario	-	-	16	-	4	2	-
Total Decanario = 22 = N° de la raza							

La virulencia de las muestras de la roya fue estudiada en las 16 variedades de trigo (Cuadro 12), de acuerdo con el sistema de identificación y nomenclatura de razas (Johnson *et al.*, 1972).

Cuadro 12: Variedades diferenciales utilizadas para la identificación de razas fisiológicas de *Puccinia striiformis* (Johnson *et al.*, 1972). Se dan dos ejemplos de las razas más virulentas identificadas.

Variedades Diferenciales Mundiales	Valor Decanario	Valor Decanario de la Raza	Valor Decanario de la Raza
Chinese 166, Yr 1	1 (= 2)		
Lee, Yr (7)	2 (= 2)		
Heines Kolben, Yr 6	4 (= 2)	4	4
Vilmorin 23, Yr (3 a)	8 (= 2)	8	8
Moro, Yr 10	16 (= 2)		
S. Dickkopf	32 (= 2)	32	32
Suwon 92 x Omar	64 (= 2)	64	64
Clement, Yr 9	128 (= 2)		128
		108	236
Variedades Diferenciales Europeas			
Hybrid 46, Yr 4 b	1 (= 2)	1	1
Reihersberg 42	2 (= 2)		
Heines Peko, Yr 6	4 (= 2)	4	4
Nord Desprez	8 (= 2)	8	8
Compair, Yr 8	16 (= 2)		
Carstens V	32 (= 2)	32	
Spalding Prolific	64 (= 2)	64	
Heines VII, Yr 2	128 (= 2)	128	128
		237	141
		Raza 108 E 237	Raza 236 E 141

De acuerdo con un CONVENIO suscrito entre el INIA de Chile y el IPO – Wageningen de Holanda, se enviaron con fines de identificación de razas de *P. striiformis*, 42 muestras de inóculo, colectado en el período 1969 – 1980. En este material se logró la identificación de 19 razas diferentes entre las cuales, la raza 236 E 141 fue virulenta

en el 65% del germoplasma de resistencia incluido en el Bloque de Progenitores del Proyecto trigo del INIA.

Combinaciones de Yr 18, Yr 29, Yr 30 y otros genes para obtener resistencia durable a la roya estriada. Singh (1992) y McIntosh (1992) sostienen que los niveles moderados de la resistencia durable de planta adulta en la variedad Anza, derivada del Programa CIMMYT, son controlados por el gen Yr 18. Este gen también lo lleva la variedad de trigo Bezostaja y está ligado al gen Lr 34. El nivel de resistencia que Yr 18 confiere cuando esta solo, usualmente no es el más adecuado. Sin embargo, la combinación de Yr 18 y de 3 a 4 genes de progreso lento adicionales (complejo Yr 18) resulta en un nivel de resistencia adecuado en la mayoría de los ambientes (Singh y Rajaram, 1994). En el Cuadro 13 se presentan cultivares de trigo que poseen el complejo Yr 18. Los estudios de algunos cultivares indican la presencia de genes diferentes a Yr 18. La durabilidad de estos genes no se conoce; sin embargo, cuando hay combinaciones de genes se esperaba que la longevidad de estos genes sea larga como se evidencia en Australia en las variedades de trigo Cook y Hartong. Estudios en CIMMYT (William *et al.*, sin publicar) han mostrado que el gen Lr 46 está fuertemente ligado o es pleiotrópico al gen Yr 29 que confiere resistencia de desarrollo lento a la roya estriada. Se encontró otro gen de efectos menores Yr 30 con resistencia de planta adulta en varios cultivares de trigo del CIMMYT que se localiza en la región del cromosoma donde se encuentra el gen Sr 2, responsable de resistencia durable a *P. graminis*.

Cuadro 13: Algunos trigos harineros susceptibles en plántulas que poseen buen nivel de resistencia de planta adulta a la roya amarilla en evaluaciones de campo en México y otros países.

Genotipo (s)	Respuesta usual a la roya amarilla	Genes aditivos para resistencia
Jupateco 73 S	100 MS	Moderadamente susceptible
Jupateco 73 R	50 M	Yr 18
Parula Cook, Trap	15 M	Yr 18 + 2 genes
Tonichi 81, Sonoita 81, Yaco	10 M	Yr 18 + 2 o 3 genes
Chapio, Tukuro, Kukuna, Vivitsi	1 M	Yr 18 + 3 o 4 genes
Amadina	30 M	3 genes
Pavon 76, Atila	20 M	4 genes

UTILIZACIÓN DE LA RESISTENCIA NO ESPECÍFICA U "HORIZONTAL" EN FITOMEJORAMIENTO

La resistencia horizontal se debe a muchos genes de pequeños efectos individuales, que al sumarse dan una resistencia aceptable. Como todas las variedades tienen algunos de esos genes, una forma de aumentar el nivel de resistencia horizontal es juntarlos en una variedad. Una manera de acumular o concentrar genes es a través de selección recurrente (Cortázar 1987; Cortázar y Hacke, 1987). Con ella se logra aumentar la concentración de genes de una población. En Chile (INIA) se estudió la selección recurrente aplicando este método en 1978 a un grupo de variedades de trigo susceptible, bajo condiciones de invernadero en estado de plántula y en

condiciones de campo en estado adulto. Todos los años se sembró una parcela con hileras de 5 metros de largo con la mezcla de la semilla de 14 variedades. Hilera por medio se trataron las plantas con gametocida para producir esterilidad de polen. De esta manera las plantas tratadas se transformaron en plantas "hembras" encargadas de recibir el polen de las plantas "macho", sin tratar. La semilla de las plantas hembras se utilizó al año siguiente para proceder en la misma forma. A partir del año 3 se inició la selección de la siguiente manera: a) Se eliminaron las plantas defectuosas y las indeseables desde el punto de vista agronómico. b) Se eliminaron las susceptibles a otras enfermedades. c) Se eliminaron las muy susceptibles a *P. graminis*. d) Se eliminaron las inmunes y las más resistentes.

Este proceso se repitió todos los años de manera de seleccionar lo mejor cada año para sembrarlo al año siguiente. El material obtenido tuvo una resistencia aceptable y un muy buen tipo agronómico (Cortázar, 1987; Cortázar y Hacke, 1987).

NUEVAS ESTRATEGIAS DE CONTROL GENÉTICO DE LA ROYA DE LA HOJA Y ESTRIADA

Las variedades de trigo cuya resistencia a las royas depende de uno o pocos genes (tipo específico) están siempre expuestas a ser atacadas por nuevas razas virulentas, frente a las cuales esos genes son inefectivos. La durabilidad de la resistencia de tipo específico alcanza en promedio cinco años. Por este motivo, uno de los objetivos que tratan de alcanzar los fitomejoradores es la obtención de variedades con resistencia durable (Johnson, 1984). Este tipo de resistencia durable se puede obtener al combinar 3 – 5 genes de resistencia de progreso lento de la roya, de efectos menores a intermedios, pero aditivos. Los genes fuertemente ligados (pleiotrópicos) tales como; Lr 34 / Yr 18 y Lr 46 / Yr 29 se han asociado a resistencia durable. CIMMYT ha desarrollado variedades mejoradas de trigo portadoras de 3 – 5 genes aditivos (Singh *et al.*, 2001; Singh y Huerta - Espino, 2003; Rajaram *et al.*, 1985).

Para transferir los genes mencionados anteriormente a variedades de alto rendimiento pero susceptibles, se cruzaron con 8 – 10 líneas resistentes donadoras. Se hizo sólo una retrocruza con la variedad susceptible para obtener 400 – 500 semillas RCF1 por cruce. A continuación se seleccionaron las mejores plantas, resistentes o moderadamente resistentes en las generaciones RC1, F1 a F4, entre 1.200 a 1.600 plantas por cruce por generación. En F5 se hizo selección por planta individual de las que mostraron las mejores características, incluyendo buen aspecto de grano y alto nivel de resistencia. En el F6 se evaluaron en parcelas. Las líneas seleccionadas se evaluaron en ensayos de rendimiento. Mediante esta metodología se ha podido establecer que es posible obtener variedades de alto rendimiento y de mejores características que el padre recurrente. En el Cuadro 14 se dan a conocer algunos genotipos de trigo harinero susceptibles en plántulas, pero con buena resistencia a la roya de la hoja en México y en otros países.

Cuadro 14: Algunos genotipos de trigo harinero susceptibles en plántula pero con buena resistencia de la roya de la hoja en México y otros países.

Genotipo (S)	Respuesta usual a la roya de la hoja ^a	Genes aditivos para resistencia ^b
Jupateco 73S	100 S (N)	Altamente Susceptible
Jupateco 73R	50 MS – S	Lr 34
Nacozari 76	30 MS – S	Lr 34 + 1 gene
Sonoita 81, Bacanora 88, Rayon 89	20 MS – S	Lr 34 + 1 o 2 genes
Frontana, Parula, Trap, Tonichi 81	10 MS – S	Lr 34 + 2 o 3 genes
Chapio, Tukurú, Kukuna, Vivitsi	1 MS – S	Lr 34 + 3 o 4 genes
Pavon 76	40 MS – S	Lr 46 + 1 gen
Genaro 81, Attila	40 MS – S	2 genes
Amadina	5 MS - S	4 genes

^a La respuesta a la roya de la hoja en México tiene dos componentes: % de severidad basado en la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948) y la reacción de acuerdo con Roelfs *et al.* (1992). Las reacciones MSS = moderadamente susceptible a susceptible, ej: uredinio de moderada a grande sin clorosis o necrosis; S = susceptible y uredinia grande sin necrosis o clorosis; N = hojas necróticas.

^b Número mínimo estimado mediante análisis genético.

Resistencia de desarrollo lento a la roya de la hoja y estriada. El desarrollo lento se caracteriza por un progreso lento de la enfermedad, a pesar de que exista una reacción de compatibilidad entre el hospedante y el patógeno o un tipo alto de infección. Las variedades de trigo que tienen desarrollo lento de la roya presentan un tipo de reacción susceptible en plántula. En roya estriada, cuyo progreso en la planta es sistémico, con frecuencia no es posible identificar estrías completamente compatibles o de tipo susceptible en planta adulta (Johnson, 1988). Por ello es difícil distinguir la resistencia debida a genes cuya naturaleza no es de raza específica observando el tipo de infección en planta adulta. En roya estriada, una severidad baja de la roya se asocia a menudo con una reducción del tipo de infección. Sin embargo, se ha observado en caso de variedades con resistencia potencialmente durable y de progreso lento de la roya, que la primera lesión o estría que aparece es del tipo moderadamente resistente – moderadamente susceptible (MR – MS).

Cuadro 15. Genotipos de trigos harineros susceptibles en el estado de plántula que poseen buen nivel de resistencia de planta adulta a la roya amarilla en evaluación de campo en México y otros países.

Genotipo (s)	Respuesta usual a roya amarilla ^a	Genes aditivos para resistencia ^b
Jupateco 73 S	100 MS	Moderadamente S
Jupateco 73 R	50M	Yr 18
Parula, Cook, Trap	15 M	Yr 18 + 2 genes
Tonichi 81, Sonora 81, Yaco	10 M	Yr 18 + 2 o 3 genes
Chapío Tukurú, Kukuna Vivitsi	1 M	Yr 18 + 3 – 4 genes
Amadina	30 M	3 genes
Pavon 76, Attila	20 M	3 genes

- ^a Los datos de México a la roya lineal tienen dos componentes: % de severidad basado en la escala modificada de Cobb (Peterson *et al.*, 1948) y la reacción de acuerdo con Roelfs *et al.*, 1992). Las reacciones son: M = moderadamente resistentes a moderadamente susceptibles, estrías esporulando con necrosis o clorosis y MS = estrías esporulando sin clorosis o necrosis.
- ^b Número mínimo estimado mediante análisis genético.

MANCHAS FOLIARES EN TRIGO CANDEAL Y DE PAN

Las enfermedades fungosas que con frecuencia causan manchas foliares en trigo candeal y en trigo de pan (*T. aestivum* L) son *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo: *Septoria tritici*) *Phaeosphaeria nodorum* (anamorfo: *Stagonospora nodorum*) *Pyrenophora tritici – repentis* (anamorfo: *Drechslera tritici – repentis*) *Cochliobolus sativum* (anamorfo: *Helminthosporium sativum*).

Influencia de factores ambientales sobre los hongos causantes de manchas foliares en trigo candeal y de pan. Estos patógenos rara vez se los encuentra atacando solos, sino que lo más corriente es que se presente más de una especie fungosa atacando al trigo. Todo depende de las condiciones ambientales. Así por ejemplo, *Septoria tritici* se desarrolla abundantemente donde las temperaturas promedio fluctúan entre 10 y 18 °C y las lluvias son algo frecuentes; es muy corriente que *Septoria nodorum* y *Helminthosporium tritici repentis*, cuyas temperaturas óptimas de desarrollo son ligeramente más altas que 18 °C, ataquen al trigo juntos con *Septoria tritici*. No ocurre lo mismo con *Helminthosporium sativum* (causante de la mancha) que sólo se desarrolla en áreas donde la temperatura promedio es de 23 °C y la humedad relativa sobrepasa al 75% en la mayor parte del año (Gilchrist y Dureiller, 1994).

Dada la importancia decisiva del efecto que ejercen las condiciones ambientales sobre estos patógenos, es importante que los fitomejoradores de cada país se esfuercen en buscar fuentes de resistencia adecuadas para cada una de estas enfermedades causantes de las manchas foliares que pueden afectar al trigo candeal y de pan.

Desde 1986 en adelante se ha acumulado una gran cantidad de información sobre *Septoria tritici*. Al respecto se ha comprobado que existe una especialización marcada en una parte de la población patógena de *S. tritici* que ataca sólo al trigo candeal) y en otras que afecta sólo al trigo de pan, aunque en algunos casos se han encontrado aislamientos que atacan a ambas especies de trigo (Arama *et al.*, 1988). Se ha confirmado ampliamente esta variación entre regiones y aún entre aislamientos dentro de la misma localidad para la misma especie de trigo (Eyal *et al.*, 1985; Eyal y Levy 1987; Perelló *et al.*, 1989; Ballantyne, 1989).

Existen patotipos de *P. tritici – repentis* que producen diferentes tipos de lesiones en genotipos de trigo pre-seleccionados. Estos tipos de reacción se relacionan estrechamente con la toxina o toxinas que participan en el proceso de patogénesis (Llamari y Bernier, 1989).

Una forma práctica para conocer más a fondo los patógenos causantes de las manchas foliares del trigo ha sido a través de la creación de dos viveros especiales denominados Vivero de Monitoreo de *Septoria* (*Septoria* Monitorins Nursery) y Vivero de Monitoreo de *Helminthosporium* (*Helminthosporium* Monitoring Nursery). Estos viveros son enviados a diferentes lugares (alrededor de 20) donde la severidad es alta. Los viveros contienen un número reducido de líneas, lo cual posibilita

realizar observaciones más detalladas y frecuentes. Algunas líneas incluidas en los viveros son fijas, es decir, se mantienen durante varios años con el propósito de detectar los cambios importantes en las virulencias que ocurren en los diferentes lugares. Las otras líneas seleccionadas, incluidas en los viveros, son variedades que son fuentes nuevas de resistencia o que poseen combinaciones de las antiguas y que se consideran de interés para los programas de mejoramiento (Gilchrist y Duveiller, 1994).

Cuando alguna de las líneas incluidas en los viveros presenta una reacción de susceptibilidad por primera vez es un indicio de que existe una interacción localidad – patógeno, lo cual es muy importante, ya que para un programa de mejoramiento resulta de interés conocer las virulencias existentes en una región para buscar nuevas fuentes de resistencia que se puedan utilizar para la creación de variedades resistentes a esos nuevos patotipos. Para lograr esto se puede inocular el material más resistente con aislamientos de virulencia específica previamente seleccionados o inocular cruza de materiales de diferentes generaciones (estudios de herencia) con un aislamiento específico. La información derivada de esta manera permite hacer cruza orientadas hacia la acumulación de genes y de esta manera obtener líneas con una resistencia más durable.

La técnica de inoculación de las variedades con una mezcla de aislamientos es altamente recomendable en programas de mejoramiento para obtener resistencia a una amplia gama de población del patógeno. Sin embargo, es deseable manejar una sola mezcla de aislamientos de virulencia conocida (Gilchrist y Duveiller, 1994).

En los últimos 10 años se han hecho esfuerzos para incorporación al trigo de genes de resistencia provenientes de gramíneas silvestres. Esto ha dado por resultado la obtención de germoplasma con niveles deseables a *P. tritici – repentis* (Gilchrist, 1992) y en un futuro cercano serán sometidos a selección bajo presión de *S. nodorum*.

Se ha evaluado también la colección de *Triticum dicoccum* para estudiar su comportamiento a *S. tritici* y *B. sorokiniana* y se han obtenido resultados positivos para el primer patógeno (Gilchrist y Skovmand, 1993) y negativos para el segundo. Estas fuentes de resistencia pueden ser consideradas de alto valor para mejorar la resistencia tanto candeal como en el trigo de pan.

SEPTORIOSIS DEL TRIGO

Entre las enfermedades foliares que producen daños de consideración al trigo se encuentran la septoriosis de la hoja y la del nudo. La primera es causada por *Micosphaerella graminicola*, estado sexual de *Septoria tritici* y la segunda por *Phaeosphaeria nodorum*, estado sexual de *Stagonospora nodorum* (sin. *Septoria nodorum*)

Si se comparan ambas en cuanto a la pérdida de la producción que ocasionan, la primera reviste mayor importancia por estar distribuida en una mayor superficie de siembra a nivel mundial (Chester, 1946). Sin embargo, las epifitias severas de *P. nodorum* pueden causar un acentuado arrugamiento de los granos en trigo de pan y candeal y a veces tendedad de las plantas, debido a que ataca los nudos que quedan débiles. En varios países la septoriosis ha causado grandes pérdidas económicas (Scharen y Sanderson, 1985).

En Chile, *Septoria* sp. se presenta con mayor severidad en los secanos costeros de las Regiones VI y VII (34 – 35° LS) de mayor pluviometría que en el Valle Central. Cortázar (1980) constató un fuerte ataque de septoriosis en Hidango (INIA), ubicada en el secano costero de la VI Región. El rendimiento y peso del hectolitro en el Ensayo Regional se afectaron significativamente en la temporada 1978/ 79. En las regiones VII y VIII (35 – 38° LS) los mayores daños causados por septoriosis se localizan en el secano interior y en el valle regado en años de alta pluviometría (Madariaga, 1986).

La septoriosis fue determinada por primera vez en Chile en 1926, pero adquirió importancia económica a comienzos de la década del 70 (Caglevic, 1982) cuando se comenzó a sembrar trigos semi – enanos precoces debido a que el patógeno puede propagarse más rápidamente desde las hojas inferiores a las superiores e incluso hasta las espigas, donde causa severos daños, que se manifiesta en arrugamiento (o chupado) de los granos que quedan prácticamente no utilizables para la molienda (Eyal *et al.*, 1983).

Septoria tritici

Sintomatología. El primer síntoma de *Septoria tritici* en las hojas del trigo son lesiones cloróticas irregulares que aparecen 5 – 6 días después de la inoculación. Sobre las lesiones cloróticas, 3 – 6 días más tarde se desarrollan lesiones necróticas de tejido muerto (Eyal *et al.*, 1983; Wiese 1977). Al comienzo las lesiones necróticas se ven hundidas de color verde o café y de forma rectangular. Si se observan contra la luz se pueden ver picnidios incipientes. En las lesiones necróticas se desarrollan picnidios café claro a café oscuro. Los cultivares resistentes originan pocas picnidiosporas.

Septoria nodorum

Es una enfermedad importante en muchos países del mundo donde se cultiva trigo (Scharen, 1964), en Argentina, USA Europa y Sur de Brasil.

En estudios de inoculación artificial de *S. nodorum*, realizada después de la emergencia y reinoculada al estado de 2° nudo, se obtuvo la máxima reducción de granos por espiga, número de espigas por planta, peso de 1.000 granos y número de granos por espiga. En general, la susceptibilidad se expresa en forma acentuada durante la floración, espigadura y madurez (Shaner y Finney, 1982)

Epidemiología. La germinación de la espora y penetración es mayor entre 15 y 25 °C, con un mínimo de 6 horas de mojadura (HR alta), son las condiciones necesarias para una buena infección (Secharen y Kuprinsky, 1970).

Control genético. La resistencia de trigo a *S. nodorum* puede ser de tipo específico y no específico (“horizontal”). La durabilidad de la resistencia no es específica depende de varios componentes de resistencia parcial (Parlevliet, 1979, Rapilly *et al.*, 1984). La resistencia en los cruzamientos estudiados no se debe a genes de gran efecto individualmente identificables, sino probablemente sea determinada por ciertos genes de escaso efecto y al parecer muy numerosos (Eyal *et al.*, 1987).

Actualmente la mayoría de los cultivares de trigo de alto potencial de rendimiento son susceptibles a *S. tritici* y *S. nodorum*. Por este motivo, el mejoramiento para resistencia constituye un objetivo de urgencia, debido a que la resistencia genética es la principal defensa contra la enfermedad (Browning, 1979; Echaren, 1964). Sin embargo, se sabe poco a cerca de los tipos de resistencia, su herencia y manejo.

La resistencia está frecuentemente asociada con la madurez tardía y con mayor altura de planta adulta. Se ha observado que en aquellos países en los que las lluvias ocurren temprano en invierno, hay mayor posibilidad de evitar la infección.

La resistencia a septoriosis parece ser más frecuente en trigo de pan invernal que de primavera, el trigo candeal suele ser más resistente a *S. tritici* que el trigo de pan (Eyal, 1981; Sharen y Krupinsky, 1970). En Chile aparentemente (observación de I. Ramírez y el autor), el trigo candeal se ataca mucho menos. Sin embargo, Djerbi *et al.* (1976) informaron mayor resistencia en trigo de pan en Túnez.

Nelson (1980) y otros autores encontraron genes dominantes, parcialmente dominantes y recesivos a la septoriosis de la hoja. Echaren y Eyal (1983) sugirieron que en cultivares con resistencia moderada, la resistencia es controlada por acción aditiva de varios genes. En cultivares altamente resistentes, la resistencia puede estar gobernada por genes mayores de resistencia.

La tolerancia a *Septoria* sp, que es la capacidad que tiene un cultivar susceptible de resistir ataques severos sin sufrir pérdidas de rendimiento, ha sido identificada en ciertos cultivares de trigo de alto rendimiento (Fried and Bronniman, 1982). Bronniman (1982) sugirió que espera un mayor progreso en mejoramiento genético para tolerancia a *Septoria* a través de una combinación de tolerancia con septoriosis "lenta" o efecto de desarrollo lento de la enfermedad.

La resistencia del trigo a *S. nodorum* puede ser de tipo no específico ("horizontal"). La durabilidad de la resistencia no específica depende de varios componentes de resistencia parcial que pueden clasificarse en: a) resistencia a la infección, b) resistencia a la colonización y c) resistencia a la reproducción (Parlevliet, 1979). Cuando todos estos componentes actúan en conjunto, se reduce la enfermedad.

VIRUS DEL ENANISMO AMARILLO DE LA CEBADA (BYDV)

El BYDV es una de las enfermedades virales más importantes y difundidas de los cereales, principalmente importante en América del Norte, Europa, Australia, Asia, Nueva Zelanda, África y algunos países de Sudamérica. En algunas regiones de USA y Gran Bretaña es la enfermedad económicamente más importante (Wiese, 1977).

En Chile el BYDV se encuentra distribuido desde Vallenar hasta Osorno (Herrera *et al.*, 1991). Según Cortázar (1982) el BYDV ocupa el tercer lugar en importancia en fitomejoramiento, después de alto rendimiento y adaptación a la zona, que deben tener las variedades mejoradas de trigo de pan y candeal.

El BYDV fue reconocido como una enfermedad viral por Ostwal y Houston en California en 1951 (Bruel, 1961). Es transmitido sólo por áfidos y un solo áfido vector es suficiente para que se desarrolle la enfermedad en una planta. Afecta a la cebada, avena y trigo, tanto de pan como candeal, causando importantes pérdidas de rendimiento y deterioro de la calidad panadera e industrial del grano cosechado. Por esta razón se encuentra entre los problemas más importantes de los cereales. En Chile ha habido algunos años de severos ataques desde 1972 a la fecha. Esto ha incentivado a fitopatólogos, virólogos, entomólogos y fitomejoradores a realizar numerosas investigaciones acerca de las especies de áfidos existentes en las distintas zonas del país, las razas del virus que transmiten los pulgones y su control químico

y biológico.

Sintomatología. En trigo candeal y de pan los síntomas varían según la variedad, la edad de la planta, el momento de la infección, la raza del virus y las condiciones ambientales. Los síntomas suelen confundirse con otros problemas tales como: deficiencias de fósforo y magnesio. Las plantas afectadas presentan amarillez foliar brillante que progresa desde la punta de la hoja y de los bordes laterales hacia el centro de la hoja, dejando una isla verde alrededor de la nervadura central. También pueden presentarse tonalidades rojizas y algunas veces enanismo que produce una acentuada reducción de rendimiento, lo que ocurre cuando la infección se produce en los primeros estados de desarrollo de las plantas. Otros síntomas frecuentes son el engrosamiento de las hojas que quedan rígidas en posición erecta, se afecta el desarrollo radical y se suele observar retraso o ausencia de formación de espigas. En estados avanzados, las espigas toman tonalidades oscuras debido a la proliferación de los hongos saprófitos.

Etiología. El BYDV es causado por un virus que corresponde a un típico miembro del grupo de los luteovirus, transmitido exclusivamente por áfidos, no por semillas ni mecánicamente (Rochow y Difus, 1981, citado por Herrera, 1984). El áfido, que se alimenta en una planta infectada por el virus, lo adquiere en pocos minutos y después de un período de latencia de algunas horas puede inyectar el virus en las células del floema de una planta sana donde se multiplica. Los síntomas aparecen después de 1 a 2 semanas. Una vez que el áfido ha adquirido el virus transmite el BYDV toda su vida (Caglevic y Urbina, 1976).

Razas. En el BYDV se distinguen razas que son transmitidas exclusivamente por áfidos en forma específica o no específica; como se indica (Conti, 1990):

RPV Transmitida en forma específica por: *Ropalosiphum padi*.

RMV Transmitida en forma específica por: *Ropalosiphum maidis*.

MAV Transmitida en forma específica por: *Macrosiphum* (Sitobion) avena.

SGV Transmitida en forma específica por: *Schizaphis graminum*.

PAV Transmitida en forma no específica por: *Sitobion avenae* y *Rhopalosiphum padi*.

Control. Debido al importante daño que estaba causando BYDV en Chile, en la década del 70 fue invitado a nuestro país el Dr. Robert van der Bosh (1976), consultor temporal de la FAO. Su misión fue la de asesorar a fitomejoradores y entomólogos en el control biológico de los áfidos vectores del virus. El BYDV causaba alrededor de 20% de pérdida promedio anual de trigo en el país, lo cual justificaba que se tomaran medidas de control de los áfidos vectores del virus a través de control integrado, que incluye control biológico, cultural y genético.

En Chile existen enemigos naturales importantes de áfidos como las chinitas (*Eriopsis connexa*), los sírfidos (*Allograpta pulcra*) y hongos del género *Entomophora*. Sin embargo, los enemigos naturales no son capaces por sí solos de mantener las densidades poblacionales de los pulgones *Methopolophium dirhodum* y *Sitobion avenae* a un nivel adecuado. Por tal motivo se han introducido del extranjero, numerosas especies de *Aphidium*, que son microavispa que parasitan los pulgones y los matan.

Además, se han importado otros insectos depredadores de los pulgones a través de los cuales se ha logrado reducir el nivel de las poblaciones de pulgones y con ello se ha podido disminuir los daños que causaba la enfermedad. Otro logro importante ha sido la selección de genotipos tolerantes a BYDV.

OIDIO DEL TRIGO

Es causado por el hongo *Blumeria graminis* f. /sp. *tritici* que es un parásito obligado, es decir, que no puede ser cultivado en medios artificiales. Produce micelios sobre la superficie de la planta, sin invadir sus tejidos internos. Se alimenta por medio de haustorios que penetran las células epiteliales de los órganos de las plantas. Los micelios producen conidioforos cortos sobre la superficie de las plantas, los que generan cadenas de conidias que son dispersadas por el viento. Bajo condiciones de clima o nutrición desfavorables, el hongo produce pleistotecios o ascocarpos cerrados, en cuyo interior se producen los ascos.

El oídio del trigo se encuentra ampliamente distribuido en el mundo. En Chile ataca con una intensidad variable todos los años desde la III a la X regiones, dependiendo de las condiciones climáticas. A las temperaturas que exceden de los 25 °C el proceso de la enfermedad se detiene prácticamente.

Daños. El hongo utiliza los nutrientes, reduce la fotosíntesis y aumenta la respiración y transpiración de sus hospedantes. Las plantas se debilitan y afecta el desarrollo, espigadura y el llenado de los granos, de manera que los granos cosechados resultan ásperos al tacto y arrugados por lo cual reducen el peso del hectolitro y además los granos quedan descoloridos y manchados. Las pérdidas que ocasiona pueden reducir el número de granos y el peso de 1.000 granos (Wiese, 1977). En ataques severos, las pérdidas de rendimiento pueden oscilar entre 20 y 40% (Agrios, 1988).

Control genético. En *B.graminis* f. /sp. *tritici* existen razas fisiológicas, frente a las cuales las variedades de trigo pueden tener una reacción de susceptibilidad o de resistencia. En las variedades de trigo más susceptibles hay un empardecimiento, acompañado por una densa formación unicelular y esporulación, en cambio, en las resistentes se observan manchas muy pequeñas sin desarrollo micelial. De acuerdo con Wiese (1977) el mejor control es a través del uso de variedades de trigo resistentes. La cutícula del hospedante puede ser una harrera mecánica a la penetración. Algunos cultivares permiten la penetración e infección pero retardan o previenen la esporulación. Otras presentan resistencia de planta adulta.

ENFERMEDADES DE LA RAÍZ CAUSADAS POR HONGOS

El mal del pie.

El mal del pie es una enfermedad radical causada por el hongo ascomycete *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* (GGT) que ataca al trigo y otros cereales principalmente en zonas de clima templado. Es más dañino en cereales de invierno que en los de primavera. Ocasiona mayores daños en Australia Occidental, Europa, Sudáfrica, Japón y en los países del Norte y Sudamérica (Wiese 1977; Walker 1972). En Chile (Cortázar, 1982, 1987) el GGT es considerado como una enfermedad un poco

menos importante que los polvillos. La pérdida anual causada por esta enfermedad, promedio en el país, se estima en 6%. A nivel mundial el mal del pie es considerada la enfermedad radical más destructiva del trigo y de más difícil control, por cuanto hasta el momento no se han encontrado variedades con resistencia genética sino sólo se han encontrado variedades tolerantes. En cuanto a control químico, últimamente se han aplicado fungicidas al suelo y al follaje, los cuales son de eficacia relativa, ya que es necesario complementar su acción mediante rotaciones culturales. En la zona sur la rotación papa – trigo – raps – trigo ha sido recomendada con buenos resultados. Actualmente se investiga la creación de nuevas variedades de trigo resistentes al mal del pie a través de biotecnología.

Las variedades de *Gaemannomyces graminis* más importantes son G. G var. tritici, causante del mal del pie en trigo, cebada, arroz y maíz pero no en avena, la cual es inmune al GGT y G. G var. avenae que ataca a la avena y al trigo (Reis, 1982).

Control Cultural. No es recomendable el monocultivo debido a que muchas especies de *Bromus* sp, *Lolium* sp y *Triticum* son susceptibles a GGT. No se debe sembrar trigo un potrero que en el año anterior haya tenido trigo, cebada, centeno y gramíneas susceptibles a GGT, o en praderas mal manejadas o enmalezadas. No se debe exceder la dosis de semilla para evitar altas densidades de plantas. No sembrar a más de 4 cm de profundidad. No sembrar en suelos muy alcalinos (Reis, 1982).

Daños. *G. graminis* produce daños estructurales en el sistema radical que impide la absorción y translocación del agua y nutrientes a la parte aérea de la planta. Todos estos daños reducen el desarrollo y producen crecimiento retardado y secamiento progresivo de las hojas a partir de las hojas inferiores a las superiores, terminando por secar completamente las plantas. Las flores abortan y las espigas se vuelven blancas, con poca o ningún grano (Caglevic, 1981; Andrade, 1982; Riveros, 1987; Reis, 1982). Además de los síntomas descritos, que sirven para caracterizar la enfermedad, un diagnóstico adicional es el olor a moho característico que se desprende de las raíces al arrancar las plantas del suelo, donde se observa un color café oscuro brillante. Al examinar con cuidado se ven costras irregulares, alargadas, negras adheridas al tallo, constituidas por micelio externo abundante. En la parte afectada se observan diminutos cuerpos negros que corresponden a fructificaciones del patógeno, los peritecios, cuyo extremo apical atraviesa las vainas de las hojas que envuelven los tallos (Caglevic, 1940).

Fusariosis de la espiga.

La fusariosis de la espiga del trigo y otros cereales es una enfermedad causada por 19 especies de *Fusarium* sp. Es muy destructiva en las zonas donde hay condiciones climáticas de alta temperatura (superior a 25 °C) y humedad relativa cercana al 100 % desde espigadura hasta la madurez del cereal (Parry *et al.*, 1995). De las especies del género *Fusarium*, la más conocida e importante es *F. graminearum*, la que además de causar fusariosis de la espiga y pudriciones radicales puede deteriorar severamente la calidad del grano. Esto último se produce debido a la capacidad del patógeno de formar peritecios que dejan contaminados los granos cosechados con micotoxinas, muy dañinas para la alimentación humana y animal. En Chile no ocurre esto último, pero la fusariosis causa mucho daño como enfermedad radical en su forma anamórfica.

Control a través de resistencia genética. En China, donde la fusariosis de la espiga (FE) es endémica, se ha creado la variedad de trigo Sumai 3, resistente a dicha enfermedad. Esta variedad, conjuntamente con otras, se ha utilizado profusamente en cruzamientos para agregarles otras buenas características agronómicas (Liu y Wang, 1991). A raíz de que la FE constituye un grave problema fitopatológico en muchos otros países, CIMMYT y los países del Cono Sur suscribieron un convenio de investigación con China para realizar un programa de investigación para la creación de variedades mejoradas de trigo de pan con resistencia a fusariosis de la espiga. Gracias al esfuerzo realizado ya se cuenta con material resistente promisorio que se encuentra en experimentación. En trigo candeal aún no ha sido posible obtener variedades resistentes (Dill-Macky, 1997).

SÍNTESIS

- Entre las enfermedades que pueden reducir en mayor grado el rendimiento y afectar la calidad del trigo candeal en Chile, principalmente en la zona centro – norte, que se extiende desde Vallenar a Talca, se encuentran las royas o polvillos, las enfermedades radicales, las manchas foliares y la virosis del enanismo amarillo de la cebada (BYDV).
- El método más efectivo no contaminante y económico para el control de las royas es a través del uso de variedades con resistencia genética.
- *P. triticina* es entre las tres royas, la que ha causado mayores daños.
- Los daños que ocasiona *P. triticina* dependen del estado fenológico en que se encuentre la planta de trigo cuando ocurre el ataque del patógeno. Si un ataque severo ocurre durante el macollaje y a comienzos del encañado, la enfermedad disminuye el número de espiguillas por espiga y el número de espigas por planta. Si el ataque severo se produce entre encañado y bota, disminuye el número de granos por espiga. En ataques posteriores a la espigadura, la roya reduce el tamaño y peso de los granos.
- La resistencia horizontal se debe a muchos genes de pequeños efectos individuales, que al sumarse dan una resistencia aceptable. Como todas las variedades tienen algunos de esos genes, una forma de aumentar el nivel de resistencia horizontal es juntarlos en una variedad.
- Las enfermedades fungosas que con frecuencia causan manchas foliares en trigo candeal y en trigo de pan son *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo: *septoria tritici*) *Phaeosphaeria nodorum* (anamorfo: *Stagonospora nodorum*) *Pyrenophora tritici – repens* (anamorfo: *Drechslera tritici – repens*) *Cochliobolus sativum* (anamorfo: *Helminthosporium sativum*).
- El BYDV es una de las enfermedades virales más importantes y difundidas de los cereales, principalmente importante en América del Norte, Europa, Australia, Asia, Nueva Zelanda, África y algunos países de Sudamérica. En Chile el BYDV se encuentra distribuido desde Vallenar hasta Osorno .
- El oídio del trigo se encuentra ampliamente distribuido en el mundo. En Chile ataca con una intensidad variable todos los años desde la III a la X regiones, dependiendo de las condiciones climáticas. A las temperaturas que exceden de los 25 °C el proceso de la enfermedad se detiene prácticamente.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G.N. 1988. Plant disease caused by fungi. Dep. of Plant Pathology. Univ. Of Florida Gainesville, AC Press Inc.
- Andrade, O. 1982. Antecedentes para el reconocimiento y control de las principales enfermedades que afectan el trigo en la IX Región. Investigación y Progreso Agropecuario 1(3):6-12.
- Arama, P.F., van Silfhout, C.H. and Kema, G.H. 1988. Report on the cooperative research project between IPO. Tel Aviv University and CIMMYT.
- Ballantyne, B.J. 1989. Pathogenic variation in Australian cultures of *Mycosphaerella graminicola*. In: Septoria of Cereals. Proceedings of the third International Workshop on Septoria. Diseases of Cereals. Fried M.P. (ed) Zurich, Suiza. 54pp.
- Bronniman, A. 1982. Entwicklung der kenntnisse uber Septoria nodorum Berk in hinblick auf die tolerance order resistenzzuchtung bei weizen. Neth. J. Agr. Sci. 30:47-69.
- Browning, J.A. 1979. Genetic protective mechanisms of plant pathogen populations. Their coevolution and use in breeding for resistance. In: Biology and Breeding for Resistance. Harris M.K. (Ed) Texas A. and M. University Press. 52-57.
- Bruel, G.W. 1961. Barley Yellow Dwarf. Monograph Number 1 Scientific Paper N°1949, Washington Agric. Experiment Station Project N°1266. 51p.
- Caglevic, M. 1940. El clareo o mal del pie del trigo. El Campesino 72(3):140.
- Caglevic, M. 1982. Septoriosis de la hoja. Investigación y Progreso Agropecuario 14:26-29.
- Caglevic, M. 1981. Mal del pie en trigo *Ophiobolus* (*Gaeumannomyces graminis*). Apartado N°126, INIA. Programa de Cereales, Santiago, Chile.
- Caglevic, M. y Urbina de Vidal, C. 1976. Determinación del virus del enanismo amarillo de la cebada en la zona centro norte de Chile por transmisión y microscopía electrónica. Agricultura Técnica (Chile) 36(1):1-6.
- Chester, K.S. 1946. The nature and prevention of the cereal rusts as exemplified in the leaf rust of wheat. Chronica Botanica. Waltham, Mass 269pp.
- Cortázar, R. 1947. Enfermedades del trigo. Simiente 17:92-97.
- Cortázar, R. 1982. Mejoramiento genético del trigo de pan para la zona centronorte de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 42(4):339-345.
- Cortázar, R. 1987. Mejoramiento genético para resistencia a enfermedades en trigo en Chile. Anales de la Universidad de Chile. 5^{ta} serie N° 14.
- Cortázar, R. 1980. Virus del enanismo amarillo de la cebada BYDV y áfidos en trigo en la región centro-norte de Chile. Agricultura Técnica. (Chile) 40(2):53-57.
- Cortázar, R. 1982. Mejoramiento genético de trigo para la zona centro norte de Chile Agric. Tec. (Chile) 42 (4): 339 – 346.
- Cortázar, R., Ramírez, I., Moreno, O., Hacke, E. y Riveros, I. 1987. Análisis del comportamiento de los trigos en la Est. Exp. La Platina en los años 1982, 1983 y 1984. Agric. Tec. (Chile) 47 (1): 57 – 62.
- Cortázar, R. y Hacke, E. 1987. Selección recurrente para rendimiento y otros caracteres cuantitativos en trigo. Agricultura Técnica (Chile) 47: 400-405.
- Conti, M. 1990. The "Yellow plague" of cereals, barleys yellow virus. In: World Perspectives on barley Yellow Dwarf. Burnett, P.A. (ed). CIMMYT, Mexico D.F., Mexico.
- Cox, D.J. and Wilcoxon, R.D. 1982. The relationship of the Sr6 gene to slow rusting in wheat. Phytopathology 72:178-181.
- Dill-Macky, R. 1997. Fusarium Head Blight. Recent Epidemics and Research Efforts in the Upper Midwest of the United States. In: Dubin H.J., Gilchrist L., Reeves J. and McNab (Eds) Fusarium Head Sacab: Global Status and Future Prospects. México, D.F. CIMMYT.

- Djerbi, A., Ghodbane, A., Daaloul, A. and Varughese, G. 1976. Studies on the Septoria leaf blotch disease of wheat search for resistant germplasm to *Septoria tritici* Rob ex Desm. Poljopr. Zan. Smotra 39:137-142.
- Dubin, H.J. and Torres, E. 1981. Causes and consequences of the 1976-1977 wheat leaf rust epidemic in north west Mexico. Annu. Rev. Phytopathology 19:41-49.
- Echaren, A.L. and Eyal, Z. 1983. Analysis of symptoms on spring and winter wheat cultivars inoculated with different isolates of *Septoria nodorum*. Phytopathology 23(2):143-146.
- Eyal, Z. 1981. Integrated control of Septoria diseases of wheat. Plant Disease 65:763-768.
- Eyal, Z., Scharen, A.L. and Prescott, J.M. 1985. Global "fingerprinting" of *Leptosphaeria nodorum* (*Septoria nodorum*) arid *Mycosphaerella graminicola* (*S. Tritici*) pathogenicity patterns. In: Scharen A.L. (ed) *Septoria of Cereals*. Memoria del taller celebrado del 2 al 4 de Agosto de 1981. Bozeman. MT. USDA. BRS. Publ. N°12. pp 74-76.
- Eyal, Z. and Levy, E. 1987. Variation in pathogenicity patterns of *Mycosphaerella graminicola* with in *Triticum* spp. in Israel. Euphytica 36:237-250.
- Eyal, Z., Wahl, I. and Prescott, J.M. 1983. Evaluation of germoplasm response to *Septoria* blotch of wheat. Euphytica 32:439-446.
- Eyal, Z., Scharen, A.L., Prescott, J.J. y van Ginkel, M. 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria*. Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. México DF. CIMMYT. 46 p.p.
- Fried, P.M. and Bronniman, A. 1982. *Septoria nodorum* Berk on wheat effect of inoculation time and peduncle length on yield reduction and disease development Z.Pflanzenzeucht 89:312-328.
- Gilchrist, L. 1992. Resistance to *Pyrenophora tritici repentis* in CIMMYT. Bread wheat germoplasm. In: France L.J., Kuprinsky, J.M. and McMullen M.P. Proceedings of the Second International Tan Spot Workshop, Universidad Estatal de Dakota del Norte, Fargo, ND pp. 44-49.
- Gilchrist, L. y Duveiller, E. 1994. Manchas foliares del trigo. Simposios VII Congreso Latinoamericano Fitopatología. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo CIMMYT, Apartado Postal 6-641, 06600, D.F., México, México. pp. 205-210.
- Gilchrist, L. and Skovmand, B. 1993. Evaluation of Emmer wheat (*Triticum dicoccon*) for resistance to *Septoria tritici*. Abstracts/Resúmenes 6th International Congress of Plant Pathology, Montreal, Canada 179 pp.
- Hacke, E. 1980. Importancia de los polvillos (royas) del trigo en Chile. Trabajo presentado en la 1° Reunión Internacional de Royas del Trigo. Celebrado en EMBRAPA. Pass Fundo, Brasil.
- Hacke, E. 1984. Los polvillos o royas del trigo un desafío para la ciencia frente al aumento de la población mundial.
- Hacke, E. 1992. Importancia de los polvillos (o royas) del trigo en Chile. Agricultura Técnica. (Chile) 52(1):1-16.
- Hacke, E. y Cortázar, R. 1997. El polvillo colorado de la hoja *Puccinia recondita* Rob. Ex Desm. f. sp. *Tritici* en trigo candeal. Agricultura Técnica. (Chile) 57(2):147-153.
- Herrera. 1984. Purificación e identificación de un aislamiento chileno de VEAC por Enzyme-linked inmunoabsorbent assay (ELISA). Agricultura Técnica. (Chile) 1 :41-45.
- Herrera, G. Zerené, M., Gerding, M. y Aguilera A. 1991. Presencia de razas del virus del enanismo amarillo de la cebada (VEAC) en Chile. Agricultura Técnica. (Chile) 51(3):258-261.
- Herrera-Foesel. 2005. New genes for leaf rust resistance in CIMMYT durum wheats. Plant Disease 89(8):809-814.
- Hogg, W.H., Hounam, A.K., Mallik and Zadoks, J.C. 1969. Meteorological factors affecting the epidemiology of wheat rusts., WMO Tech Note 99, 143 p.p.

- Johnson, R., 1984. A critical analysis of durable resistance. *Ann. Rev. Phytopathology* 22:309-330.
- Johnson, R. 1988. Durable resistance to yellow (stripe) rust in wheat and its implications in plant breeding. In: *Breeding strategies to resistance to rust of wheat*. Simmonds, N.W. and Rajaram, S. (eds). CIMMYT Mexico D.F. p. 63-75.
- Johnson, R., Stubbs, R.W., Fuchs and Chamberlain, M.H. 1972. Nomenclature for physiologic races of *Puccinia striiformis* infecting wheat. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 58(3):475-480.
- Knott, D.R. 1981. The effects of genotype and temperature on the resistance to *Puccinia graminis* f. Sp tritici in Red Egyptian 2D Wheat Substitution line. *Phytopath.* 58:584-586.
- Liu, Z.Z. and Wang, Z.Y. 1991. Improved scab resistance in China: Sources of resistance and problems. In: Saunderson D.A. (ed) *Wheats for the non-traditional warm areas*. México D.F. CIMMYT.
- Luig, N.H. and Rajaram, S. 1972. The effect of temperature and genetic background on host gene expression and interaction to *Puccinia graminis*. *Phytopathology* 62:1171-1174.
- Llamari, L. and Bernier, C.C. 1989. Virulence of isolates of *Pyrenophora tritici-repentis* on 11 wheat cultivars and cytology of the differential reaction. *Can. Plant Path.* 11:284-290.
- Madariaga, R. 1986. Presencia en Chile de *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) Schroeter, estado sexuado de *Septoria tritici*. *Agricultura Técnica. (Chile)* 46(2):209-211.
- Mcintosh. 1992. Close genetic linkage of genes conferring adult plant resistance to leaf rust and stripe rust in wheat. *Plant Path.* 41:523-527.
- Nelson, L.R. 1980. Inheritance of resistance to *septoria nodorum* in wheat. *Crop Sci.* 20:447-449.
- Parlevliet, J.E. 1979. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. *Ann Review. Phytopathol.* 17 :203-222.
- Parodi, P. 1966. Incidencia del polvillo estriado de trigo en la zona central de Chile. *Agricultura Técnica. (Chile)* 26(3):122-124.
- Parry, D.W., Jenkinson, P. and McLeod. 1995. Fusarium ear blight (scab) in small grain cereals a review. *Plant Pathology* 44:207-238.
- Perelló, A.E., Corelo, C.A., Arraigada, H.O. and Alippi, H.E. 1989. Variation in virulence in isolates of *Septoria tritici* ex Desm on wheat. In: Fried M.P. (ed) *Septoria of Cereals. Proceeding of the Third International Workshop on Septoria Diseases of Cereals*. Zurich, Suiza. Pp 42-44.
- Peterson, R.F., Campbell, A.B. and Hannah, R.E. 1948. A diagrammatic scale for estimating rust intensity of leaves and stem of cereals. *Can. J. Res. Sect. 6* :496-500.
- Rajaram, S., Singh, R.P. and Torres E. 1985. Current CIMMYT, Approaches in Breeding Wheat for Rust Resistance. In: Simmonds, N.W. and Rajaram, S. (eds) *Technical*. Pp.101-118.
- Rapilly, F., Auriiau, P., Laborde, Y. and Depatureaux, C. 1984. Recherches sur la resistance partielle du ble tendre a *Septoria nodorum* Berk. *Agronomie* 4 :639-651.
- Reis, EM. 1982. Mal – do . pe. In *FUNDACAD CARGILL, Campinas SP Trigo no Brasil* Campinas 2 (128): 481- 499.
- Riveros, F. 1987. Mal del pie en trigo. *Investigación y Progreso Agrícola. La Platina (Chile)* 49(1):15-16.
- Roelfs, A.P. 1978. Estimated losses caused by rust in small grains cereals in the United States 1928-1976. *Misc. Publ. US Dept. Agr.* 1363:1-85.

- Roelfs, A.P. 1988. Resistance to leaf rust and stem rust of wheat. *In: Simmonds N.W. and Rajaram S. (eds) Breeding Strategies for Resistance to Rusts of Wheat.* CIMMYT México D.F. 10-22.
- Roelfs, A.P., Singh, R.P. and Saari, E.E. 1992. Rust Diseases of wheat. Concepts and methods of disease management. México D.F. CIMMYT. 81pp.
- Rowell, J.B. 1981. Relation of post penetration events in Ideal 59 wheat seedlings to low receptibility to infection by *Puccinia graminis* f. sp. tritici. *Phytopathology* 71:732-736.
- Rowell, J.B. 1982. Control of wheat stem rust by low receptivity to infection conditioned by a single dominant gene. *Phytopathology* 72:297-299.
- Samborsky, D.J. 1985. Wheat leaf rust. *In: Roelfs A.P. and Bushnell W.R. (eds) The Cereal Rust Vol II Diseases, Distribution, Epidemiology and Control.* Academic Press Orlando. 39-59.
- Saari, E.E. and Prescott, J.M. 1985. World distribution in relation to economic losses. *In: Roelfs A.P. and Bushnell W.R. (eds). The Cereal Rusts, Vol II Diseases, Distribution, Epidemiology and Control.* Academic Press Inc, Orlando. 259-298.
- Scharen, A.L. 1964. Environmental influence on development of glume blotch in wheat. *Phytopath.* 54:300-303.
- Scharen, A.L. and Sanderson, F.R. 1985. Identification, distribution and nomenclature of Septoria species that attack cereals. *In: Scharen A.L. (Ed) Septoria of Cereals.* Memoria del taller celebrado del 2 al 4 de Agosto de 1993. Bozeman MT USDA-BRS Publ. N°12 pp 37-41.
- Shaner, G. y Finney, 1982. Resistance in soft red winter wheat to *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 72:154-158.
- Shaner, A.L. and Krupinsky, J.M. 1970. Cultural and inoculation studies on Septoria nodorum cause of glume blotch of wheat. *Phytopathology* 60:1480-1485.
- Simmonds, N. W. and S. Rajaram. 1988. Technical eds. *Breeding Strategies for Resistance to the Rusts of Wheat*. 151p.
- Singh, R.P. 1992. Genetic association of leaf rust resistance gen Lr34 with adult plant resistance to stripe rust in bread wheat. *Phytopathology* 82:835-838.
- Singh, R.P. y Huerta-Espino. 2003. El esquema de una retrocruza. Una metodología eficiente de mejoramiento para transferir genes de resistencia basados en efectos menores y aditivos a la roya de la hoja y amarilla en variedades de trigo importantes. *In: Seminario Internacional de Resistencia a Royas en trigo. Resúmenes INIA La Estancia, 16 y 17 de Julio de 2003.* INIA-Uruguay, CIMMYT. INTA- Argentina, EMBRAPA-Brasil, DIA-Paraguay, INIA-Chile, USDA, FONTAGRO. pp 1-20.
- Singh, R.P. and Rajaram, S. 1994. Genetic of adult plant resistance to stripe rust in ten spring bread wheats. *Euphytica* 72:1-7.
- Singh, R.P. Huerta-Espino, J. y William, M. 2001. Resistencia durable a la roya de la hoja y roya amarilla del trigo: genética y mejoramiento en el CIMMYT pp. 109-117. Coolí, M.M., Diaz de Ackermann, M. y Castro M. (eds).
- Stackman, E.C., Steward, D.M. and Loegering, W.Q. 1962. Identification of physiological races of *Puccinia graminis* var tritici. US. Dept. Agr. ARS E617. 53pp.
- Stackman and Harrar. 1957. *Principles of Plant Pathology.* Printed by the Royal Press Company. 581 p.p.
- Sunderwith, S.D. and Roelfs, A.P. 1980. Greenhouse evaluation of the adult plant resistance of Sr2 in wheat stem rust. *Phytopathology* 70:634-637.
- Van der Bosch, R. 1976. Informe sobre el control biológico de los áfidos de los cereales en Chile. *Agr. Tec. (Chile)* 36(4):141-145.
- Walker J.C. 1972. *Plant Pathology.* Second edition. Mc Graw – hill Book Co, INC. 707 p.
- Wiese M.V. 1977. *Compendium of Wheat Diseases.* The American Phytopath. Soc. St Paul Minnesota 55121. 106 p

11

Marcadores moleculares en el mejoramiento de trigo candeal

V. Becerra y M. Paredes.

Laboratorio de Micropropagación y Análisis Genético de Plantas. Departamento de Genética y Fitomejoramiento. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de investigación, Quilamapu. Casilla 426. Chillán. Chile. vbecerra@inia.cl; mparedes@inia.cl

INTRODUCCIÓN

El trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) se produce principalmente en la Región Mediterránea. Más de la mitad de la superficie sembrada de trigo candeal está en esta región, principalmente en Italia, España, Francia, Grecia y en los países del Oeste de Asia y Norte de África (Royo, 2000). Los principales usos del trigo candeal incluyen la obtención de semolina, para la producción de fideos y pastas y de algunos productos locales como “mote” en Chile, “couscous” en países del Norte de África, Marruecos, Túnez, Argelia y Libia y “burghul” en algunos países del Medio Oriente como Siria, Jordania y el Líbano (Cantrell, 1987).

La domesticación de esta especie se produjo alrededor de 12.000 años en el Cercano Oriente. Su progenitor silvestre (*T. turgidum* ssp. *diccoides*) dio origen a la primera forma domesticada (Trigo emmer, *T. turgidum* ssp. *dicoccum*). Cerca de 200 años después de este evento, la expansión de la agricultura llevó al *T. dicoccum* hacia Europa. Durante este mismo período apareció el trigo duro (*T. turgidum* ssp. *durum*) en el Cercano Oriente y reemplazó a su ancestro *T. turgidum* ssp. *dicoccum* (Thuillet *et al.*, 2005; Morris y Sears, 1967). El trigo candeal es una especie alotetraploide con el genoma AABB ($2n=4x=28$). El ancestro silvestre tetraploide del trigo candeal es el producto de la hibridación de dos especies diploides, *Triticum urartu* (AA) y una especie no confirmada con genoma BB relacionada con *Aegilops speltoides* (SS) (Gu *et al.*, 2004; Huang *et al.*, 2002), seguido de la duplicación espontánea de sus cromosomas. Aunque el trigo candeal es una especie alotetraploide su comportamiento genético es el de una especie diploide, con la formación de 14 bivalentes en la meiosis, producto del apareamiento de cromosomas homólogos. El apareamiento de cromosomas similares de diferentes genomas (homeólogos) está impedido por la acción del gen *ph*, ubicado en el cromosoma 5B. La información genética disponible para importantes características agronómicas y de calidad del grano es escasa en comparación con otros cereales, por lo que es necesario obtenerla para apoyar los programas de mejoramiento genético (Blanco *et al.*, 1998).

En Chile el mejoramiento genético de trigo es realizado principalmente por INIA, el que es responsable de aproximadamente un 60% de los cultivares de trigo de pan y del 90% del trigo candeal (Mellado, 1998). El resto es producido por empresas privadas.

El objetivo principal de un programa de mejoramiento es la aplicación de principios y prácticas asociadas con el desarrollo de cultivares mejorados (Ransom *et al.*, 2006).

Los grandes avances en el área de la biología molecular y genómica han hecho pensar que la aplicación de estos conocimientos tendría el potencial de una Nueva Revolución Verde (Dubcovsky, 2004). La aplicación de las herramientas moleculares comprende dos áreas principales, el uso de la tecnología de marcadores moleculares y la ingeniería genética para la producción de plantas transgénicas. En este capítulo sólo nos referiremos a las aplicaciones de los marcadores moleculares al mejoramiento genético convencional. En este contexto, los marcadores moleculares han sido utilizados directa e indirectamente en una serie de actividades relacionadas al mejoramiento genético, incluyendo estudios filogenéticos, organización del genoma, evaluación de diversidad genética, construcción de mapas genéticos y físicos, selección asistida, aislamiento de genes, y “fingerprinting” de cultivares, entre otros.

MARCADORES MOLECULARES

Los marcadores moleculares detectan variación en el ADN genómico y se pueden agrupar según su modo de acción en: a) hibridación de secuencias (RFLP), b) amplificación de secuencias utilizando la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) tales como RAPD, SSR, AFLP y c) Chips de ADN y marcadores basados en secuenciación, tales como los SNPs. Existen además una serie de marcadores derivados de las técnicas antes mencionadas: MP-PCR, AP-PCR, AS-PCR y DAF. La selección de cuál marcador molecular utilizar depende del objetivo del estudio, de las facilidades disponibles en el laboratorio, del costo, y de su poder de discriminación.

Hibridación de secuencias de ADN; Fragmentos de Restricción Polimórficos (RFLP). Este marcador usa los clones de ADN genómico de bajo número de copias para visualizar polimorfismo. El procedimiento incluye: 1) corte del ADN nuclear con enzimas de restricción 2) separación electroforética de los fragmentos de ADN y 3) detección de RFLPs a través de hibridación (Southern) con sondas radiactivas o no radiactivas. Las principales ventajas de los RFLP incluyen, 1) detectar un mayor nivel de polimorfismo que las isoenzimas, uno de los primeros marcadores bioquímicos usados; 2) una mejor cobertura del genoma y mayor estabilidad ambiental; 3) una base molecular simple; 4) ser neutral, es decir, no tiene efectos adversos en la adaptación, por lo cual la transferencia de RFLPs específicos a cultivares adaptados no causarían problemas de adaptación. Entre las principales desventajas se debe considerar que es una tecnología engorrosa y cara, de bajo nivel de muestras por análisis, lenta y de alto costo.

Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR). El procedimiento consiste en la amplificación *in vitro* de una secuencia de ADN particular usando partidores específicos o arbitrarios y una Polimerasa de ADN termoestable. Los productos de

amplificación se separan por electroforesis y se detectan por tinción o por algún método radiactivo. En esta categoría se encuentran la Amplificación de ADN al Azar (RAPD), la amplificación de "fingerprinting" (DAF), y el partidador arbitrario-PCR (AP-PCR), entre otros.

Amplificación de ADN al Azar (RAPD). Esta técnica se basa en la amplificación de segmentos de ADN al azar, con partidores de una secuencia de nucleótidos arbitraria. Estos partidores detectan polimorfismo sin necesidad de contar con información específica de la secuencia de nucleótidos analizada, y los polimorfismos pueden funcionar como marcadores genéticos. A partir de una molécula de ADN, el PCR puede generar 100.000 millones de moléculas idénticas en un tiempo breve (Williams *et al.*, 1990). Las principales ventajas, con respecto a los RFLPs incluyen un mayor nivel de polimorfismo, una cobertura del genoma similar o mayor, una metodología simple y rápida que puede ser automatizada, y por lo tanto procesar un mayor número de muestras, y el uso de pequeñas cantidades de ADN. Entre las principales desventajas se destaca la inestabilidad ambiental del polimorfismo, una base molecular no muy clara, y herencia casi siempre dominante, rara vez codominante.

Amplificación de Fragmentos polimórficos (AFLP). Esta técnica combina el corte del ADN con enzimas de restricción usada en RFLP y la amplificación *in vitro* usada en PCR (Vos *et al.*, 1995). En el procedimiento general, el ADN de doble cadena es digerido con enzimas de restricción a la cual se agregan adaptadores en sus extremos para generar templados de ADN para su amplificación. La secuencia de los adaptadores y el sitio de restricción adyacente sirven de partidador para la siguiente amplificación de los fragmentos de restricción por PCR. Posteriormente, se agregan nucleótidos selectivos al término 3 de los partidores del PCR. De esta manera, solamente un subgrupo de fragmentos de restricción son reconocidos y selectivamente amplificados. Finalmente, el subgrupo de fragmentos amplificados es analizado en geles de poliacrilamida donde se generan los patrones electroforéticos o "fingerprinting". Las principales ventajas de los AFLP incluyen un alto número de polimorfismo, buena cobertura del genoma, herencia Mendeliana dominante y codominante, una base molecular de los polimorfismos más compleja (alteración de la secuencia de nucleótidos, mutaciones que alteran los sitios de restricción, inserciones, pérdidas, inversiones entre sitios de restricción), y un número de muestras alto por análisis. Su principal desventaja es que es un procedimiento moderadamente difícil de realizar y relativamente caro.

Microsatélites (Single sequence repeat, SSR). Los microsatélites son secuencias repetidas en grupos de 1 a 6 pares de bases (AG; ACG; CGT; GGAT; AGACG)_n. Los microsatélites representan un tipo particular de mutación sobre un *locus*, mediante el cual los alelos antiguos y mutados difieren en pocas o varias secuencias repetidas (Thuillet *et al.*, 2002). El polimorfismo es fácilmente detectado mediante el uso de partidores específicos que rodean el *locus* y la amplificación de éste a través de un PCR. Las principales ventajas de los SSR (Powell *et al.*, 1996) incluyen una herencia codominante, son abundantes en el genoma, son multialélicos, detectan una alta heterocigosidad y polimorfismo, se requiere sólo una pequeña cantidad de ADN y tienen alta estabilidad ambiental. La principal desventaja es el alto costo de obtención de los microsatélites (Koike *et al.*, 2006).

Polimorfismo de un nucleótido (SNP). El polimorfismo de un nucleótido o SNP (conocido como SNP) es un pequeño cambio genético o variación en la secuencia del

genoma de un organismo. La variación ocurre cuando un nucleótido, por ejemplo, Adenina (A) es reemplazada por algunos de los otros tres nucleótidos Citosina (C), Guanina (G), o Tiamina (T). Los SNPs se pueden encontrar en las secuencias codificadoras no repetidas y fuera de las secuencias no codificantes repetitivas de las proteínas. Los SNP son marcadores bialélicos en comparación con los SSR que son multialélicos, pero la gran abundancia de ellos en el genoma les mantiene como un marcador de gran poder de discriminación (Gupta *et al.*, 2001; Ching *et al.*, 2002). Existe un gran interés en usar los SNP para detectar diferencias entre genotipos y genes ligados a características de importancia agronómica.

Microchips de ADN. El microchip de ADN es una nueva tecnología usada para identificar mutaciones en genes específicos. Uno de los posibles usos está en el estudio de poblaciones, para determinar con qué frecuencia una mutación particular puede desarrollar un problema, por ejemplo, una enfermedad. El chip consiste en un pequeño vidrio cubierto de plástico, similar a un chip de computador. La superficie del microchip contiene miles de pequeñas secuencias sintéticas de ADN de una hebra que representa el gen en evaluación y que permite comparar con el gen en estudio a través del proceso de hibridación y de esta manera detectar las mutaciones presentes en la muestra analizada.

VARIACIÓN EN ADN CITOPLASMÁTICO

ADN de cloroplasto (cpADN). En la mayoría de las plantas terrestres, el ADN de cloroplastos es una molécula circular de 120-160 kb, codifica 120 genes y típicamente contiene una región invertida. La secuencia invertida varía de 9,4 a 76 kb y codifica por varios genes incluyendo 16 S y 23 S rRNA, separados por regiones pequeñas y largas de copia única. La tasa evolutiva del ADN del cloroplasto es menor que el genómico de plantas y animales, lo que implica que existe baja diversidad genética. Las principales causas de variación son inserciones y pérdidas. La herencia del ADN de cloroplasto puede ser materna, paterna o biparental. Por ejemplo, en plantas coníferas es paterna, mientras que en angiosperma es maternal o biparental.

ADN de mitocondria. El tamaño del genoma de la mitocondria de las plantas es grande comparado con el de los animales. Sus principales características son: a) Existen diferentes tamaños entre diferentes taxa, b) su genoma es capaz de integrar genes foráneos (cpDNA); c) se pueden observar diferentes rearrreglos en el genoma, d) presenta una baja tasa de sustitución de nucleótidos, e) las causas principales de la variación son inserciones o pérdidas de nucleótidos y rearrreglos de parte del genoma en vez de sustituciones de nucleótidos.

PRINCIPALES APLICACIONES DE LOS MARCADORES MOLECULARES

Determinación de la variabilidad genética.

La determinación de la diversidad genética en los cultivos tiene implicancias importantes en los programas de mejoramiento y en la conservación de los recursos genéticos. En los últimos años se ha sugerido que el germoplasma elite de los principales cultivos, especialmente los cereales de auto polinización han sufrido una reducción en su base genética producto de la alta presión de selección, el uso recurrente de germoplasma elite y la adopción de métodos de mejoramiento que no promueven recombinación (Hoisington *et al.*, 1999).

La estructura genética del germoplasma del trigo candeal que se cultiva en la región mediterránea está formada por parientes silvestres, "landraces", variedades obtenidas de materiales locales y cultivares modernos liberados por los programas de mejoramiento genético tradicionales (Pfeiffer *et al.*, 2000). Las metodologías utilizadas para medir la diversidad genética entre genotipos se basan principalmente en caracterizaciones fenotípicas, datos de pedigrí y marcadores bioquímicos y moleculares. Los estudios realizados en el progenitor silvestre del trigo candeal han mostrado una amplia diversidad genética para resistencia a enfermedades, características agronómicas y adaptación a diferentes factores ambientales. Además de diferencias entre poblaciones ubicadas en diferentes localidades, climas y tipos de suelos y diferencias alélicas en aloenzimas, RAPDs y microsatélites (Nevo *et al.*, 1988a; Nevo *et al.*, 1988b; Fahima *et al.*, 1998; 1999; 2002).

Trabajos realizados en ICARDA han demostrado que los "landraces" de trigo candeal poseen características deseables, tales como resistencia a sequía y frío, crecimiento vigoroso temprano, largo del pedúnculo y alta fertilidad de las macollas. Características que son utilizadas en programas de hibridaciones para obtener cultivares mejorados (Nachit, y Elouafi, 2004). Además, los parientes silvestres de trigo como *Triticum dicoccoides*, *T. monococcum*, *Aegilops* spp., entre otros, son una fuente valiosa de caracteres para programas de mejoramiento genético (Nachit *et al.*, 2000; Nachit y Elouafi, 2004). Autrique *et al.* (1996) identificó RFLPs en 113 cultivares y landraces de trigo candeal, informando un promedio de distancia genética de 0,21 y 0,31 entre los cultivares mejorados y las landraces, respectivamente.

La comparación de tres fuentes de microsatélites (EST-SSR, XGWM, WMC) en la determinación de diversidad genética de 64 accesiones de trigo candeal determinó que los partidores de EST-SSR produjeron una alta calidad de marcadores, pero detectaron un menor porcentaje de polimorfismo (25%) comparado con las otras dos fuentes de marcadores de SSR genómicos (53%). El coeficiente de similitud varió entre 0,28 a 0,70 dependiendo del marcador. Los partidores detectaron en promedio 4,5 alelos por locus (Eujayl *et al.*, 2002). Los tres grupos de microsatélites (EST-SSR, XGWM, WMC) utilizados en este estudio fueron suficientemente polimórficos para la identificación de todos los genotipos estudiados. Sorrells *et al.* (1995) y Eujayl *et al.* (2001), demostraron que los SSR fueron más eficientes en detectar variación genética que los RFLP, por lo tanto, sería posible establecer un pequeño grupo de marcadores SSR polimórficos para identificar cultivares, facilitar el manejo del germoplasma y definir las diferentes estrategias de mejoramiento. Adicionalmente, la evaluación de 58 accesiones de trigo candeal cultivados de amplio espectro genético con 70 SSR detectó un promedio de similitud genética de 0,44, siendo el genoma B más polimórfico en comparación al genoma A. El 92,7% de la variación molecular dentro del grupo de 45 cultivares modernos provino de sólo 10 genotipos, pero en los cultivares modernos la diversidad genética ha ido aumentando a través del tiempo (Maccaferri *et al.*, 2003).

Una caracterización molecular con AFLP y datos de pedigrí en 13 cultivares canadienses de trigo candeal indicó que ambas metodologías entregaban información importante a los programas de mejoramiento. La distancia genética basada en datos de pedigrí fue de 0,72 (coeficiente Kinship) y a través de AFLP (coeficiente de Nei y Li) fue de 0,40, observándose una correlación positiva ($r=0,456$, $p<0,002$) entre ambos coeficientes (Soleimani *et al.*, 2002). El valor de diversidad genética obtenido a

través de los datos de pedigrí puede estar sobrestimado como resultado de supuestos de derivación genética, presión de selección y relaciones de parentesco, lo que no ocurre con el uso de marcadores moleculares.

Construcción de mapas genéticos.

El primer mapa genético en trigo candeal se confeccionó con 65 líneas recombinantes (RILs) usando RFLP (Blanco *et al.*, 1998). Este mapa está compuesto de 259 *loci* que incluyó 244 RFLPs, un marcador PCR (glutenina de bajo peso molecular), siete marcadores bioquímicos (seis proteínas de almacenaje y una isoenzima) y siete marcadores morfológicos. El largo del mapa fue de 1352 cM con un promedio de distancia entre marcadores de 6,3 cM. La comparación con el mapa genético de trigo detectó varios rearrreglos que involucraron a los cromosomas 4A, 5A y 7B como también una translocación entre 2B-6B.

Korzun *et al.* (1999) ampliaron la cantidad de marcadores del mapa genético construido por Blanco *et al.* (1998), incorporando 77 SSR desarrollados en trigo de pan. La mayoría de los marcadores SSR se distribuyeron uniformemente a través del mapa de ligamiento, detectándose sólo algunos "clusters" ubicados en los cromosomas 1A, 1B, y 2A. Lotti *et al.*, (2000) incluyeron 80 *loci* de AFLP y 8 nuevos RFLPs al mismo mapa, ampliando varias zonas teloméricas, quedando el mapa de trigo candeal de un tamaño de 2.063 cM.

Nachit *et al.* (2001) confeccionaron un mapa genético con 110 líneas recombinantes intraespecíficas utilizando 306 marcadores (138 RFLP, 26 SSR, 134 AFLP, 5 proteínas de reserva y tres genes conocidos). El mapa genético fue de 3.598 cM, con una distancia promedio entre marcadores de 11,8 cM. Este mapa constituyó una herramienta útil para selección asistida, fitomejoramiento de estrés biótico y abiótico y mejoramiento de la calidad (Nachit *et al.*, 2001). Un tercer mapa genético utilizó 114 líneas recombinantes provenientes de un cruzamiento interespecífico: *T. durum* / *T. dicoccum* / *durum*. Se usaron 124 SSRs, 149 AFLP y 6 proteínas de almacenaje para determinar QTLs relacionados con calidad del grano. El largo de este mapa fue de 2288,8 cM con un promedio de 8,2 cM/marcador (Elouafi y Nachit, 2004).

Peng *et al.* (2003) detectaron diferentes características agronómicas relacionadas con el proceso de domesticación en *T. dicoccoides* y un total de 70 QTLs.

Asociación de marcadores moleculares con características productivas.

Selección asistida. La selección asistida presta gran utilidad en el mejoramiento de características gobernadas por genes que son altamente afectados por el ambiente (baja heredabilidad), genes para resistencia a enfermedades difíciles de evaluar, para acumular varios genes de resistencia a patógenos y plagas específicas en un mismo cultivar (piramidar), y para manipular genes que aumenten el contenido y la calidad de las proteínas, entre otros (Dubcovsky, 2004). Los requisitos en el proceso de selección asistida son: 1) la presencia de los alelos en el pool de genes; 2) los marcadores deben co-segregar o estar estrechamente ligados (<1cM) con la característica deseada; 3) debe existir un método eficiente, reproducible y amigable de evaluación de poblaciones grandes (Gupta *et al.*, 1999).

Rendimiento y calidad. Estudios realizados en ICARDA han demostrado una asociación entre marcadores moleculares (RFLP), rendimiento, calidad y características asociadas a estrés bióticos y abióticos (Nachit *et al.*, 2000), lo que fue confirmado posteriormente en poblaciones de mapeo (Nachit y Elouafi, 2004).

La calidad depende de varias características físicas, químicas, cocción, procesamiento de la masa, siendo cada una de ellas importante en el producto final (Elouafi *et al.*, 2000).

Fuerza del gluten. Las proteínas de reserva del grano del trigo candeal están formadas por gliadinas, gluteninas, globulinas y albúmina. Las globulinas y la albúmina son proteínas solubles en agua y su influencia en el procesamiento y cocción no está aún clara. Las proteínas del gluten, gliadinas y gluteninas constituyen un 60% del total de la fracción proteica del grano. Las gluteninas juegan un rol muy importante en la calidad de los fideos. La gliadina es una proteína pequeña, compacta y soluble en alcohol, mientras que la glutenina es una proteína de mayor tamaño, más compleja y soluble en ácidos. Estas proteínas determinan la fuerza del gluten, esencial para mantener la integridad y estabilidad de los fideos durante la cocción (Du Cross *et al.*, 1982; Payne, 1987; Ponga *et al.*, 1990). Por ello, la fuerza del gluten en trigo candeal está bajo control genético (Nachit *et al.*, 1995), es altamente heredable y con acción genética aditiva. Estudios realizados en gliadinas han revelado una estrecha asociación entre dos bandas electroforéticas en la región y de la gliadina con la fuerza del gluten. La banda 45 está correlacionada con gluten fuerte y la banda 42 con gluten débil y un mal comportamiento a la cocción (Du Cros *et al.*, 1982). Las proteínas del gluten son heredadas como bloques de ligamiento del cromosoma 1B. La banda 45 está estrechamente ligada a la banda 35 y a la sub unidad de bajo peso molecular LMW-2. El gluten débil, asociado a la banda 42 también contiene gliadinas 33, 35 y 38 y una unidad de bajo peso molecular, LMW-1 (Payne, 1987).

Estudios sobre trigos aneuploides indicaron que los genes que controlan las subunidades de alto peso molecular (HMW) de gluteninas están ubicados en tres loci *Glu-1*, en los cromosomas A, B y D; es decir, *Glu-1A*; *Glu-1B*, *Glu-1D* (Du Cros y Hare, 1985; Payne *et al.*, 1984) y se ubican en el brazo largo de los tres primeros grupos homólogos en el trigo de pan. Las subunidades de bajo peso molecular (LMW2 / LMW1) se ubican en el brazo corto del cromosoma 1B y son responsables de la firmeza del gluten (Payne *et al.*, 1984).

La fuerza del gluten está asociada con el gen *Rg1*, que controla el color de la gluma (Hare *et al.*, 1986), donde el color blanco está asociado a gluten fuerte y la banda 45 y el color café al gluten débil y banda 42.

Otro estudio detectó la presencia de cinco QTLs relacionados con la fuerza del gluten, los que explicaron el 35% de la variabilidad fenotípica de firmeza del gluten. Dos de estos QTLs están ubicados en el cromosoma 6B, uno (cerca de *Xgwms644*) con un efecto principal a través de los ambientes y uno ubicado cercano a *XPstlaaMseIcga9* con interacción QTL x ambiente, pero con un efecto principal no significativo. Otros dos QTLs con efectos principales e interacción QTL x ambiente están ubicados uno cerca de *XPstiaagMseIctg8* en el cromosoma 1A y otro en el locus *Gli-B3* en el cromosoma 1B. El quinto QTL está ubicado cerca de *Xcdo949* en el cromosoma 4B con interacción QTL x ambiente y sin efecto principal significativo. Estos QTLs se expresaron en forma consistente en diferentes ambientes, por lo cual, el piramidarlos en material genético elite podría contribuir a mejorar la calidad del trigo candeal (Elouafi *et al.*, 2000).

Elouafi y Nachit (2004) determinaron la existencia de dos QTLs con efectos epistáticos en los cromosomas 7AS y 6BS, que explican el 30% de la variación para el peso promedio del grano de las líneas recombinantes analizadas. Para el peso de

los 1.000 granos se detectó una herencia transgresiva y cinco QTLs que explicaron el 32% del total de la variación. El QTL mayor se ubicó alrededor de la región del centrómero en el cromosoma 6B. Ambas características están altamente relacionadas con el rendimiento de semolina.

Color de la semolina. El trigo candeal produce normalmente un grano vítreo con semolina de color amarilla. Tradicionalmente los consumidores han asociado el color amarillo con mayor calidad de los fideos. El color de la semolina es el producto de los pigmentos de caroteno presentes en el grano, de las condiciones de procesamiento y del manejo del producto después de la molienda. El principal producto es del tipo xantofila (luteína libre o en forma esterificada), ubicada principalmente en las capas externas del grano (Troccoli *et al.*, 2000; Hentschel *et al.*, 2002).

En trigo candeal, el pigmento amarillo está bajo control genético (Johnston *et al.*, 1983) y es altamente heredable (0,90-0,97) y con acción génica aditiva (Nachit *et al.*, 1995). El análisis de QTLs en un cruzamiento entre un cultivar x *T. dicoccoides*, con una retrocruza al trigo cultivado, identificó tres QTLs para pigmento amarillo en el grupo de ligamiento 7, que explicó el 62% de la variación total. En el 7BL, un microsatélite (*Xgwm344*) explicó el 53%, mientras que en el 7AL, los otros dos QTLs explicaron el 13% (*Xgwm63e*) y 6% (*XMcaaEacg198*), respectivamente (Elouafi *et al.*, 2001). Todos los QTLs mostraron consistencia a través de los ambientes y temporadas evaluados, presentaron un gran efecto genético y una débil interacción QTL x ambiente.

Contenido de proteínas. El contenido de proteína es una característica de gran importancia en trigo candeal. Un alto contenido de proteína en el grano y un gluten fuerte dan mayor calidad en firmeza a la cocción, y tolerancia a la sobrecocción, debido a que el porcentaje de proteína controla el 30 a 40% de la variabilidad de la calidad culinaria de la pasta (Chee *et al.*, 2001).

Los esfuerzos para aumentar el porcentaje de proteínas a través de mejoramiento genético han sido poco exitosos (Blanco y De Giovanni, 1995). Por un lado, el porcentaje de proteínas es una característica de herencia compleja y fuertemente influenciada por el medioambiente, existe una correlación negativa entre el contenido alto de proteína y el rendimiento en grano (Steiger *et al.*, 1996). Por otro lado, dentro del germoplasma existente las accesiones con un alto contenido de proteínas son escasas. Por lo tanto, una manera de aumentar el contenido de proteína del grano es a través de aplicaciones tardías de altas dosis de nitrógeno.

Algunos estudios han mostrado que accesiones de *T. turgidum* L. var. *dicoccoides* poseen alto contenido de proteína, por lo que estos materiales se han convertido en una nueva fuente de variabilidad genética para mejorar el contenido de proteínas del trigo candeal (Chee *et al.*, 2001). Diferentes estudios de mapeo genético ubican al gen *Gpc-B1* en el brazo corto del cromosoma 6B, entre el Nor y el centrómero y entre los marcadores RFLP, *Xmwig79* y *Xabg387* (Joppa *et al.*, 1997; Mesfin *et al.*, 1999; Khan *et al.*, 2000). El gen *Gpc-B1* es una de las alternativas para la transferencia de alto contenido de proteínas al material elite de trigo candeal (Joppa y Cantrell, 1990; Deckard *et al.*, 1996). Resultados preliminares indican que la transferencia de genes de alto contenido de proteínas de *T. turgidum* spp *dicoccoides* a trigo candeal no afectaron o presentaron un efecto mínimo en el rendimiento en grano, calidad de la proteína, altura de planta y fecha de espigadura de la especie cultivada (Deckard *et al.*, 1996; Joppa *et al.*, 1997). El control genético para contenido de proteína fue simple, no estuvo influenciado por el medioambiente y estuvo escasamente asociado con

rendimiento en grano y fecha de espigadura. En este estudio se detectaron también dos marcadores moleculares (*Xcdo365* y *Xmwtg79*) ligados al *locus*. Este *locus* explicó el 72% de la variación fenotípica observada (Chee *et al.*, 2001).

Resistencia a sequía. Debido a que el trigo candeal se produce principalmente en condiciones de secano, el mejoramiento a la resistencia o tolerancia a sequía es un importante objetivo de algunos programas de mejoramiento genético. La resistencia a la sequía es una característica compleja, ya que es producto de varios factores morfológicos y fisiológicos de la parte aérea y radicular de la planta (Cantrell, 1987).

Se han determinado marcadores moleculares asociados a características morfo-fisiológicas relacionadas con resistencia a la sequía (Nachit, 1998), entre los que se destacan CDO395 y BCD1661 asociado a rendimiento en grano y los partidores CDO1090, CDO1312 y KSUG48 asociados a rendimiento y discriminación isotópica de carbono 13, largo de la arista de la espiga (BCD348); largo del pedúnculo (BCD782, BCD292), crecimiento vigoroso temprano (BDD758); macollas productivas bajo estrés (BCD292), fertilidad de la espiga (BCD348); peso del grano (BCD342); índice de enrollamiento de la hoja (BCD348, BCD1355f), temperatura de la canopia (CDO669, BCD305), inhibición de la fluorescencia (BCD292, BCD758); ajuste osmótico (BCD475, BCD1438) y contenido de prolina (BCD758). De esta información se desarrollaron diferentes poblaciones de mapeo relacionadas con tolerancia a la sequía, estabilidad de rendimiento y adaptación a los principales ambientes de clima mediterráneo (Nachit *et al.*, 1995; 2001; Elouafi y Nachit, 2004).

Resistencia a enfermedades. En comparación con trigo de pan, la información disponible para roya de la hoja en trigo candeal es escasa. Por ejemplo de los 50 genes resistentes en trigo sólo dos provienen de trigo tetraploide (Herrera-Foessel *et al.*, 2005). Por otro lado, se ha informado de especificidad en el grado de virulencia (Singh, 1991) y de avirulencia entre razas de roya de la hoja aisladas en trigo de pan y candeal. Los aislados colectados en trigo candeal fueron avirulentos en la mayoría de las líneas isogénicas Thatcher, utilizadas como diferenciales, lo que indica que no son las más adecuadas para diferenciar razas de roya de la hoja en trigo candeal (Herrera-Foessel *et al.*, 2005).

Estudios realizados indican que la fuente de resistencia de roya de la caña, de la hoja (Anikster *et al.*, 2005, Zhang *et al.*, 2005) y amarilla (Fahima *et al.*, 1998; Peng *et al.*, 1999) presente en *T. dicoccoides* ha sido usada para mejorar trigo de pan y candeal.

El análisis genético de dos accesiones de *T. dicoccum* detectó un gen para resistencia a roya de la hoja en el cromosoma 6B y otro gen en el cromosoma 4A. Estos nuevos genes han sido designados como *Lrac104* y *Lrac127* (Hussein, 2005).

Sun *et al.* (1997). detectaron dos marcadores cercanos al gen *Yr15* con el marcador de RAPD (OPB13₁₄₂₀) a una distancia de 27,1 cM y el *Nor1* a 11,0 cM. Por otro lado, Peng *et al.* (1999) ubicaron el gen que controla la resistencia al polvillo amarillo (*YrH52*) proveniente de una accesión de *T. dicoccoides* utilizando microsatélites. El gen está en el cromosoma 1B y se han detectado 9 partidores ligados y los marcadores *Xgwm264a* y *Xgwm264c* ubicados a ambos lados del gen, a una distancia de 2,3 y 24,4 cM, respectivamente y a 1,4 cM del marcador de RFLP *Nor 1*.

Identificación de variedades. Una variedad es descrita tradicionalmente por un grupo de características morfológicas destinadas a establecer su diferencia con otras variedades (D), demostrar uniformidad (U) y estabilidad (S). Esta prueba es la base del sistema de la protección de la propiedad intelectual, derecho de los obtentores

o mejoradores (Law *et al.*, 1998). La evaluación incluye la comparación de materiales nuevos con los ya existentes y se basa en la descripción de una serie de características fenotípicas llamadas descriptores. Sin embargo, esta evaluación tiene algunas limitaciones. La mayoría de los descriptores utilizados son características cuantitativas y su expresión está influenciada por el medioambiente, por lo tanto no son estables y requiere de observaciones repetidas, y en algunos casos el número de características no es suficiente para discriminar a todas las variedades, o líneas experimentales evaluadas. En este sentido los marcadores moleculares son una buena alternativa para la descripción y diferenciación de variedades ya que no son afectados por el ambiente (año, localidad o prácticas agronómicas) y los estados de desarrollo de la planta. Por lo tanto, la descripción de una variedad basada en su patrón de ADN puede ser comparada con cualquier otra variedad en cualquier parte del mundo para establecer su distinción, uniformidad y estabilidad con otras variedades. El análisis de algunas fracciones de proteínas definidas mediante electroforesis ha sido incorporado para trigo en las normas de la UPOV (Unión Internacional para la Protección de Nuevas Variedades).

Para la identificación de variedades se han utilizado proteínas (D'Ovidio, 1993; Hinrichsen *et al.*, 1997) y marcadores moleculares como SSR (Pasqualone *et al.*, 1999; Dograr *et al.*, 2000) y ISSR (Pasqualone *et al.*, 2000) para identificar variedades de trigo candeal y construir base de datos de variedades de trigo de grandes regiones (Röder *et al.*, 2002).

En el país, un estudio preliminar de diversidad genética del trigo candeal, realizado con 88 variedades y líneas experimentales y 25 microsatélites (SSR), indica que existe un nivel de diversidad genética adecuado en el Programa de Mejoramiento Genético de INIA Quilamapu. Además, los índices de heterocigocidad de las líneas experimentales son bajos, y son valores esperados, por ser una especie de autopolinización (Becerra *et al.*, datos no publicados). La Figura 1 muestra diversos alelos detectados con el SSR XGWM304-5A en los trigos candeales evaluados genéticamente.

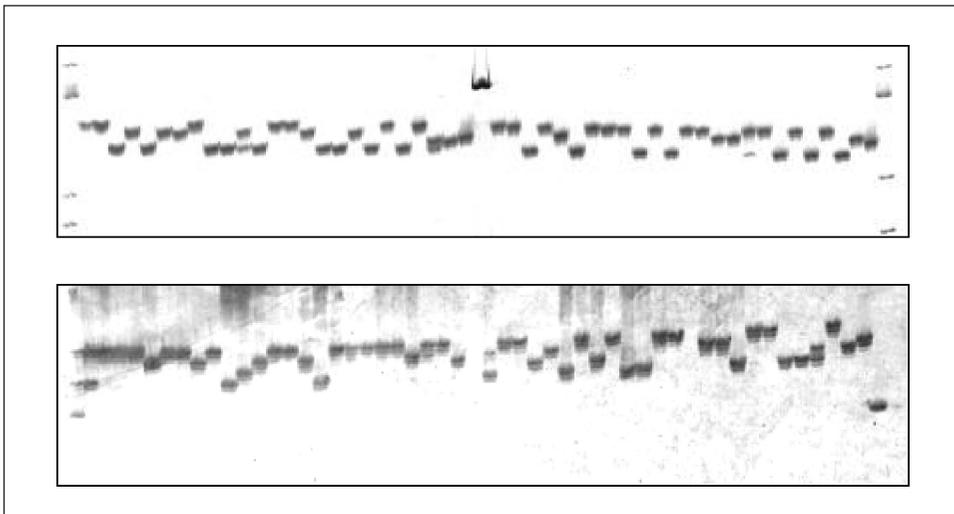


Figura 1: Formas alélicas detectadas en variedades comerciales y líneas experimentales de trigo candeal con el microsatélite XGWM304-5A.

SÍNTESIS

- A nivel mundial, los marcadores moleculares han sido utilizados directa e indirectamente en una serie de actividades relacionadas al mejoramiento genético de trigo de pan y candeal incluyendo estudios filogenéticos, organización del genoma, evaluación de diversidad genética, construcción de mapas genéticos y físicos, selección asistida, aislamiento de genes, y “fingerprinting” de cultivares, entre otros.
- Los marcadores moleculares utilizados en trigo se pueden agrupar según su modo de acción en: a) hibridación de secuencias (RFLP); b) amplificación de secuencias mediante la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR), y c) Chips de ADN y marcadores basados en secuenciación.
- La selección asistida puede ser de gran utilidad en el mejoramiento de trigo por características gobernadas por genes que son altamente afectados por el ambiente (baja heredabilidad), genes para resistencia a enfermedades difíciles de evaluar, para acumular varios genes de resistencia a patógenos y plagas específicas en un mismo cultivar (piramidar), y para manipular genes que aumenten su calidad tales como el contenido y la calidad de las proteínas.

LITERATURA CITADA

- Anikster Y., J. Manisterski, D.L. Long and K.J. Leonard. 2005. Leaf rust and stem rust resistance in *Triticum dicoccoides* populations in Israel. *Plant Dis.* 89:55-62.
- Autriqué E., M.M. Nachit, P. Monneveux, S.D. Tanksley and M.E. Sorrells. 1996. Genetic diversity in durum wheat based on RFLPs, morphophysiological traits, and coefficient of parentage. *Crop Sci.* 36:735-742.
- Blanco A., M.P. Bellomo, A. Cenci, C. De Giovanni, R. D’Ovidio, E. Iacono, B. Laddomada, M.A. Pagnotta, E. Porceduu, A. Sciancalepore, R. Simeone and O.A. Tanzarella. 1998. A genetic linkage map of durum wheat. *Theor. Appl. Genet.* 97:721-728.
- Blanco A. and C. de Giovanni. 1995. *Triticum dicoccoides* for qualitative improvement of durum wheat: Associations of protein loci to grain traits in recombinant inbred lines. CIHEAM/ICARDA/CIMMYT. p.149-159.
- Cantrell R.G. 1987. Breeding and genetics of durum wheat. p.11-40. *In:* J. Janick (ed.). *Plant Breeding Reviews.*
- Chee P.W., E.M. Elias, J.A. Anderson and S.F. Kianian. 2001. Evaluation of a high grain protein QTL from *Triticum turgidum* L., var. *dicoccoides* in an adapted durum wheat background. *Crop Sci.* 41:295-301.
- Ching A., K.S. Caldwell, M. Jung, M. Dolan, O.S. Smith, S. Tingey, M. Morgante and A. Rafalski. 2002. SNP frequency, haplotype structure and linkage disequilibrium in elite maize inbred lines. *BMC Genetics* 3:9 <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/3/19>.
- Deckard E.L., L.R. Joppa, J.J. Hammond and G.A. Hareland. 1996. Grain protein determinants of the Langdon *durum-dicoccoides* chromosome substitution lines. *Crop Sci.* 36:1513-1516.
- Dograr N., S. Akin-Yalin and M.S. Akkaya. 2000. Discriminating durum wheat cultivars using highly polymorphic simple sequence repeat DNA markers. *Plant Breed.* 119:360-362.

- D'Ovidio R. 1993. Single-seed PCR of LMW glutenin genes to distinguish between durum wheat cultivars with good and poor technological properties. *Plant Mol. Biol.* 22:1173-1176.
- Dubcovsky J. 2004. Marker-assisted selection in public breeding programs: The wheat experience. In: *Simposium on genomics and plant breeding: The experience of the initiative for future agricultural and food systems.* *Crop Sci.* 44:1895-1898.
- Du Cros D.L. and R.A. Hare. 1985. Inheritance of gliadin proteins associated with quality in durum wheat. *Crop Sci.* 25:674-677.
- Du Cros D.L., C.W. Wrigley and R.A. Hare. 1982. Prediction of durum-wheat quality from gliadin-protein composition. *Aust. J. Agric. Res.* 33:429-442.
- Herrera-Foessel. S.A., R.P. Sigh, J. Huerta-Espino, J. Yuen and A. Djurle. 2005. New races for leaf rust resistance in CYMMYT durum wheats. *Plant Disease* 89:809-814.
- Elouafi I. and M.M. Nachit. 2004. A genetic linkage map of *Durum* x *Triticum dicoccoides* backcross population based on SSRs and AFLP markers and QTL analysis for milling characters. *Theor. Appl. Genet.* 108:401-413.
- Elouafi I., M.M. Nachit and L.M. Martin. 2001. Identification of a microsatellite on chromosome 7B showing a strong linkage with yellow pigment in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Hereditas* 135:255-261.
- Elouafi I., M.M. Nachit, A. Elsaleh, A. Asbati, A. Martin, L.M. Martin and D.E. Mather. 2000. QTL-mapping of genomic regions controlling gluten strength in durum (*Triticum turgidum* L. *durum* var.). p. 505-510. In: *Royo, Rachit, DiFonzo, Araus (eds.) Proc. Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges (OPTIONS mediterraneennes), Zaragoza, Spain.*
- Eujayl I., M. Sorrells, M. Baum; P. Wolters and W. Powell. 2001. Assessment of genotypic variation among cultivated durum wheat based on EST-SSRS and genomic SSR. *Euphytica* 119:39-43.
- Eujayl M.E., M. Sorrells, P. Baum, W. Wolters and W. Powell. 2002. Isolation of EST-derived microsatellite markers for genotyping the A and B genomes of wheat. *Theor. Appl. Genet.* 104: 399-407.
- Fahim, T., M.S. Röder, K. Wendehake, V.W. Kirzhner and E. Nevo. 2002. Microsatellite polymorphism in natural populations of wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, in Israel. *Theor. Appl. Genet.* 104:17-29.
- Fahima T., G.L. Sun, A. Beharav, T. Krugman, A. Beiles and E. Nevo. 1999. RAPD polymorphism of wild emmer wheat populations, *Triticum dicoccoides*, in Israel. *Theor. Appl. Genet.* 98:434-447.
- Fahima T., M.S. Röder, A. Grama and E. Nevo. 1998. Microsatellite DNA polymorphism divergence in *Triticum dicoccoides* accesions highly resistant to yellow rust. *Theor. Appl. Genet.* 96:187-195.
- Gepts P. and J. Hancock. 2006. The future of plant breeding. *Crop Sci.* 46:1630-1634.
- Gu Y.Q., D. Coleman-Derr, X. Kong and O.D. Anderson. 2004. Rapid genome evolution revealed by comparative sequence analysis of orthologous regions from four *Triticeae* genomes. *Plant Physiol.* 135:459-470.
- Gupta P.K., J.K. Roy and M. Prasad. 2001. Single nucleotide polymorphisms: a new paradigm for molecular marker technology and DNA polymorphism detection with emphasis on their use in plants. *Curr Sci.* 80:524-535.
- Gupta P.K., R.V. Varshney, P.C. Sharma and B. Ramesh. 1999. Molecular markers and their applications in wheat breeding. *Plant Breed.* 118: 369-390.
- Hancock, J. 2006. Introduction to plant breeding and the public sector: Who will train plant breeders in the U.S. and around the world?. *HortSci.* 41:28-29.

- Hare R.A., D.L. Du Cros and W.C. Barnes. 1986. Genetic linkage between glume color and certain gliadin proteins in durum wheat. *Crop Sci.* 26:831-833.
- Hentschel V., K. Kranl, J. Hollman, M.G. Lindhauer, V. Bohm and R. Bitsch. 2002. Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *J. Agric. Food Chem.* 50:6663-6663.
- Hinrichsen P., X. Opitz, I. Ramírez and C. Muñoz. 1997. Identificación de cultivares chilenos de trigos de pan (*Triticum aestivum* L.) y trigos candeales (*Triticum durum* Def.) basada en perfiles electroforéticos de gliadinas. *Agric. Téc (Chile)* 57:102-112.
- Hoisington D., M. Khairallah, T. Reeves, J.M. Ribaut, B. Skovmand, S. Taba and M. Warburton. 1999. Plant genetic resources: what can they contribute toward increased crop productivity?. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA* 96:5937-5943.
- Huang S., A. Sirikhachornkit, X. Su, J. Faris, B. Gill, R. Haselkorn and P. Gornicki. 2002. Genes encoding plastid acetyl-CoA carboxylase and 3-phosphoglycerate kinase of the *Triticum/Aegilops* complex and the evolutionary history of polyploidy wheat. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA* 99:8133-8138.
- Johnston R.A., J.S. Quick and J.J. Hammond. 1983. Inheritance of semolina color in six durum wheat crosses. *Crop Sci.* 23:607-610.
- Joppa L.R. and R.G. Cantrell. 1990. Chromosomal location of genes for grain protein content of wild tetraploid wheat. *Crop Sci.* 30: 1059-1064.
- Joppa L.R., C. Du, G.E. Hart and G.A. Hareland. 1997. Mapping gene (s) for grain protein in tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) using a population of recombinant inbred chromosome lines. *Crop Sci.* 37:1586-1589.
- Khan I.A., J.D. Procnier, D.G. Humphreys, G. Tranquilli, A.R. Schlatter, S. Marcucci-Poltri, R. Frohberg and J. Dubcovsky. 2000. Development of PCR-based markers for a high protein content gene from *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* transferred to bread wheat. *Crop Sci.* 40: 518-524.
- Kinght J. 2003. Crop improvement: A dying breed. *Nature* 421:568-570.
- Koike M., K. Kawaura, Y. Ogihara and A. Torada. 2006. Isolation and characterization of SSR sequences from the genome and TAC clones of common wheat using the PCR technique. *Genome* 49:432-444.
- Korzun V., M.S. Röder, K. Wendekake, A. Pasqualone, C. Lotti, M.W. Ganal and A. Blanco. 1999. Integration of dinucleotide microsatellites from hexaploid bread wheat into a genetic linkage map of durum wheat. *Theor. Appl. Genet.* 98:1202-1207.
- Law J.R., Domini, P., R.M.D. Koebner, J. C. Reeves and R.J. Cooke. 1998. DNA profiling and plant variety registration. III. The statistical assessment of distinctness in wheat using amplified fragment length polymorphism. *Euphytica* 102:335-342.
- Lotti C., S. Salvi, A. Pasqualone, R. Tuberosa and A. Blanco. 2000. Integration of AFLP markers into an RFLP-based map of durum wheat. *Plant Breed.* 119:393-401.
- Maccaferri M., M.C. Sanguineti, P. Donini and R. Tuberosa. 2003. Microsatellite analysis reveals a progressive widening of the genetic basis in the elite durum wheat germplasm. *Theor. Appl. Genet.* 107:783-797.
- Mesfin A., R.C. Frohberg and J.A. Anderson. 1999. RFLP markers associated with high protein from *Triticum turgidum* L. var. *dicoccoides* introgressed into hard red spring wheat. *Crop Sci.* 39:508-513.
- Mellado M. 1998. Análisis del cultivo del trigo en Chile durante el siglo veinte. *Agric. Téc. (Chile)* 58:230-240.

- Morris R. and E.R. Sears. 1967. The cytogenetics of wheat and its relatives. pp.19-87. In: K.S. Quisenberry, L.P. Reitz (eds.). Wheat and wheat improvement. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Nachit M.M. 1998. Association of grain yield in dryland and carbon isotope discrimination with molecular markers in durum (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). p. 218-223. In: Proc. 9th Int. Wheat Genetics Symp. Saskatoon, SK, Canada.
- Nachit M.M., A. Asbati, M. Azrak, N. Rbeiz and A. El Saleh. 1995. Durum wheat improvement. pp. 68-69. In: S. Varma (ed.) Cereal Program Annual Report 1995. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Nachit M.M. and I. Elouafi. 2004. Durum wheat adaptation in the mediterranean dryland : Breeding, stress physiology, and molecular markers. pp. 203-218. Challenges and Strategies for Dryland Agriculture. CSSA Special Publications N° 32. Crop Science of America and American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Nachit M.M., I. Elouafi, M.A. Pagnotta, A. El-Saleh, E. Iacono, M. Labhilili, A. Asbati, M. Azrak, H. Hazzam, D. Benscher, M. Khairallah, J.-M Ribaut, O.A. Tanzarella, E. Porceddu and M.E. Sorrells. 2001. Molecular linkage map for an intraespecific recombinant inbred population of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). Theor. Appl. Genet. 102:177-186.
- Nachit M.M., P. Monneveux, J.L. Araus and M.E. Sorrells. 2000. Relationship of dryland productivity and drought tolerance with some molecular markers for possible MAS in durum (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). pp. 203-206. In: C. Royo y otros. (ed.) Options Mediterraneennes N° 40. "Durum Wheat Improvement in the Mediterranean Region: New Challenges". Zaragoza, Spain.
- Nevo E., A. Beiles and T. Krugman. 1988a. Natural selection of allozyme polymorphisms: a microgeographic climatic differentiation in wild emmer wheat (*Triticum dicoccoides*). Theor. Appl. Genet. 75:529-538.
- Nevo E., A. Beiles and T. Krugman. 1988b. Natural selection of allozyme polymorphisms: a microgeographic climatic differentiation by edaphic, topographical, and temporal factors in wild emmer wheat (*Triticum dicoccoides*). Theor. Appl. Genet. 76:737-752.
- Pasqualone A., C. Lotti, A. Bruno, P. de Vita, N. di Fonzo and A. Blanco. 2000. Use of ISSR markers for cultivar identification in durum wheat. CIHEAM-Options Mediterraneennes. 157-161.
- Pasqualone A., C. Lotti and A. Blanco. 1999. Identification of durum wheat cultivars and monovarietal semolines by analysis of DNA microsatellites. Eur. Food Res. Technol. 210:144-147.
- Payne P.I. 1987. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread making quality. Annu. Rev. Plant Physiol. 38:141-153.
- Payne P.I., E.A. Jackson and L.M. Holt. 1984. The association between g-gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct causal effect or the result of genetic linkage? J. Cereal Sci. 2: 73-81.
- Peng J., Y. Ronin, T. Fahima, M.S. Röder, Y. Li, E. Nevo and A. Korol. 2003. Domestication quantitative trait loci in *Triticum dicoccoides*, the progenitor of wheat. Proc. Natl. Acad. Sci., USA 100:2489-2494.
- Peng J.H., T. Fahima, M.S. Röder, Y.C. Li, A. Dahan, A. Grama, Y.I. Ronin, A.B. Korol and E. Novo. 1999. Microsatellite tagging of the stripe-rust resistance gene YrH52 derived from wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*, and suggestive negative crossover interference on chromosome 1B. Theor. Appl. Genet. 98:862-872.

- Pfeiffer W.H., K.D. Sayre and M.P. Reynold. 2000. Enhancing genetic grain yield potential and yield stability in durum wheat. *In*: C. Royo, N. Di Fonzo, M.M. Nachit, J.L. Araus (Eds). Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Proc. Sem. Zaragoza, Spain. 12-14. Options Méditerranéennes 40:83-94.
- Ponga N.E., J.C. Autran, F. Mellini, D. Lafiandra and P. Feillet. 1990. Chromosome 1B- encoded gliadins and glutenin subunits in durum wheat: genetics and relationship to gluten strength. *J. Cereal Sci.* 11:15-34.
- Powell W., G.C. Machray and J. Provan. 1996. Polymorphism revealed by simple sequence repeats. *Trends Plant Sci.* 7:215-222.
- Ransom C., C. Drake, K. Ando and J. Olmstead. 2006: Report of breakout group I: What kind of training do plant breeders need, and how can we most effectively provide that training?. *HortSci.* 41:53-54.
- Röder M.S., K. Wendehake, V. Korzun, G. Bredemeijer, D. Laborie, L. Bertrand, P. Isaac, S. Rendell, J. Jackson, R.J. Cooke, B. Vosman and M.W. Ganal. 2002. Construction and analysis of a microsatellite-based database of European wheat varieties. *Theor. Appl. Genet.* 106:67-73.
- Royo C., N. Di Fonzo, M.M. Nachit and J.L. Araus. 2000. Durum wheat improvement in the Mediterranean region: new challenges. Proc. Sem. Zaragoza, Spain. 12-14. Options Méditerranéennes 40: 12-14.
- Singh R.P. 1991. Pathogenicity variations of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* and *P. graminis* in wheat-growing areas of Mexico during 1988 and 1989. *Plant Dis.* 75:790-794.
- Soleimani V.D., B.R. Baum and D.A. Johnson. 2002. AFLP and pedigree-based genetic diversity estimates in modern cultivars of durum wheat. *Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (desf.) Husn. *Theor. Appl. Genet.* 104:3050-357.
- Sorrells M.E.; J. Barbosa, M.M. Nachit, H. Ketata and E. Autrique. 1995. Relationships among 81 durum genotypes based on RFLPs, gliadins, parentage and quality traits. *Options Méditerranéennes. Sirie A, Seminaires Méditerranéennes* 22:249-262.
- Steiger D.K., E.M. Elias and R.G. Cantrell. 1996. Evaluation of lines derived from wild emmer chromosome substitutions: I. Quality traits. *Crop Sci.* 36:223-227.
- Sun G.L., T. Fahima, A.B. Korol, T. Turpeinen, A. Grama, Y.I. Ronin and E. Nevo. 1997. Identification of molecular markers linked to the *Yr15* stripe rust resistance gene of wheat originated in wild emmer wheat, *Triticum dicoccoides*. *Theor. Appl. Genet.* 95:622-628.
- Thuillet A.-C., T. Bataillon, S. Poirier, S. Santoni and J.L. David. 2005. Estimation of long-term effective population sizes through the history of durum wheat using microsatellite data. *Genetics* 169:1589-1599.
- Thuillet A.-C, D. Bru, J. David, P. Roumet, S. Santoni, P. Sourdille and T. Bataillon. 2002. Direct estimation of mutation rate for 10 microsatellites loci in durum wheat, *Triticum turgidum* (L) Thell. ssp. *durum* desf. *Mol. Biol. Evol.* 19:122-125.
- Trocchi A., G.M. Borrelli, P. De Vita, C. Fares and N. Di Fonzo. 2000. Durum wheat quality: a multidisciplinary concept. *J. Cereal Sci.* 32:99-113.
- Vos P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reijans, T. Van De Lee, M. Hornes, A. Frilters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper and M. Zabeau. 1995. AFLP : a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23 :4407-4414.
- Williams K.G., A.R. Kubelik, K.J. Livak, J.A. Rafalsky and S.V. Tingey. 1990. DNA

polymorphism amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acid Res.* 18:6531-6533.

Zhang W., M.A. Soria, S. Goyal, J. Dubcovsky, A.J. Lukaszewski and J. Kolmer. 2005. Molecular characterization of durum and common wheat recombinant lines carrying leaf rust resistance (*Lr9*) and yellow pigment (*Y*) genes from *Lophopyrum ponticum*. *Theor. Appl. Genet.* 111:573-582.

12

Trigo candeal: una aproximación al mejoramiento genético para estreses múltiples¹

M. Nachit.

ICARDA, P.O. Box 5466, Aleppo, Syria, m.nachit@cgiar.org

INTRODUCCIÓN

El trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) se cultiva principalmente en el secano de Asia Central y Occidental y en el Norte de África (CWANA) en medioambientes con estreses abióticos y condiciones variables (Nachit, 1998a, 1992). Dado que la principal producción de trigo candeal se realiza en secano, el mejoramiento genético de la tolerancia a sequía y de la estabilidad del rendimiento son de gran importancia para el Programa de trigo candeal de ICARDA (Nachit, 1998a, 1998b, 1992; Nachit *et al.*, 1997, 1993, 1998). El Programa usa la principal estación experimental de ICARDA, Tel Hadya, como el sitio principal de fitomejoramiento. Sus condiciones ambientales representan al 70% del área con trigo candeal de CWANA. Tel Hadya se usa en asociación con sitios que tienen limitaciones abióticas y bióticas específicas del Medio Oriente (Latakia en Siria, Trébol en Líbano, Kfardan en Líbano y Breda en Siria) y del Norte de África (Marchouch y Tessaout en Marruecos). Estos sitios representan un gradiente de precipitación que va de 800 a 250 mm/año y un gradiente de temperatura (cálido-templado-frío) con diferentes combinaciones de enfermedades e insectos en cada sitio. El Programa usa una combinación de herramientas de genética/fitomejoramiento, fisiología del estrés, calidad de granos y marcadores moleculares en el fitomejoramiento (Nachit y Elouafi, 2002a; Nachit *et al.*, 2001a). El objetivo del programa de fitomejoramiento de ICARDA es desarrollar genotipos y stocks genéticos que combinen rendimiento potencial y estabilidad de rendimiento, resistencia a sequía y a temperaturas extremas (frío y calor), resistencia a enfermedades e insectos y mejor calidad de grano.

ESTRÉS DE SEQUÍA

El estrés de sequía se debe definir en términos de la frecuencia de ocurrencia y el momento de ocurrencia en relación al desarrollo del cultivo en cada zona agroecológica (Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b; Slafer y Calderini, 2005). Los resultados del Programa de trigo candeal de ICARDA han mostrado que la selección

¹ Texto original en inglés. Traducido por E. Acevedo.

que se realiza sólo bajo condiciones ambientales extremas (muy favorables o muy secas) no constituye una manera eficiente de identificar cultivares para secano (Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b). En consecuencia, el fitomejoramiento está orientado a desarrollar cultivares que combinen el rendimiento con la tolerancia a sequía y estabilidad de rendimiento (Hubick y Farquhar, 1989; Nachit *et al.*, 1992a, 1992b). La estrategia de selección usada consiste en someter poblaciones segregantes tempranas a los estreses del secano de CWANA (Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b). Se utilizan medioambientes contrastantes y representativos de la región del Mediterráneo en combinación con una técnica de selección de doble gradiente (DGST) (Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b), desarrollada por el Programa de trigo candeal, que refleja los principales estreses bióticos y abióticos (sequía, frío y calor). El DGST usa seis ambientes en la estación experimental de Tel Hadya. La técnica se basa en cultivar el mismo germoplasma en diferentes fechas de siembra (siembra temprana-EP, secano-Rf, regado-Ir, siembra tardía-LP, siembra verano-SUM y siembra después de vicia) en un sitio. El germoplasma experimenta estreses diferentes según la fecha de siembra. Así, los ambientes de prueba del DSGT proveen dos gradientes de selección, de agua y de temperatura. Se seleccionan los genotipos que se comportan bien a través de los ambientes. Adicionalmente, se usan los caracteres fisiológicos asociados a resistencia a sequía (Araus *et al.*, 1997; Hubick y Farquhar, 1989; Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b). La precocidad, cantidad de macollos fértiles, fertilidad de la espiga, largo de pedúnculo y vigor temprano están asociados con rendimiento en grano bajo condiciones de sequía (Nachit *et al.*, 1997; Nachit, 1998b; Nachit *et al.*, 1993). En condiciones de secano Mediterráneo el número de macollos fértiles es de lejos el indicador más potente de rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico. Se realizan mediciones de contenido relativo de agua, ajuste osmótico, discriminación isotópica de carbono, temperatura de canopia, fluorescencia de clorofila, contenido de clorofila, acumulación de osmolitos (azúcares solubles y prolina), parámetros radiculares (volumen, peso, profundidad, número), anatomía y morfología de la hoja, toxicidad de boro, deficiencia de zinc, daño de frío en los estados vegetativo y reproductivo y daño por calor en los estados vegetativo y reproductivo (Nachit, 1998b; Nachit *et al.*, 1993, 1998; Nachit y Elouafi, 2002b; Slafer y Calderini, 2005).

ESTRESSES BIÓTICOS

El secano Mediterráneo también se caracteriza por variación en la incidencia de estreses bióticos. En zonas o estaciones con lluvia favorable los mayores peligros son ataque de roya amarilla, roya de la hoja y de *septoria tritici*, mientras que en estaciones o zonas secas los mayores peligros para trigo candeal son pudrición radicular de secano, mosca de Hesse y mosca del tallo del trigo (Nachit, 1998a, 1992; Nachit *et al.*, 1998). En consecuencia, se usa la selección en poblaciones segregantes y líneas avanzadas que combinen la resistencia a estreses abióticos y bióticos y que tengan buen desempeño a través de los multisitios de prueba para identificar genotipos con alta productividad y estabilidad del rendimiento (Nachit *et al.*, 1998; Nachit y Elouafi, 2002). Se usa el método masal para seleccionar entre poblaciones a través de los sitios y se usa el método del pedigrí para seleccionar plantas individuales en la estación de Tel Hadya, a partir de las poblaciones seleccionadas a través de los sitios. Esta aproximación tiene la ventaja que permite probar un mayor número de

cruzas/poblaciones en varios sitios/medioambientes. Las poblaciones segregantes promisorias se prueban adicionalmente en colaboración con los sistemas de investigación agrícola nacional (NARS).

ANCESTROS (WILD RELATIVES)

Adicionalmente, la estrategia de mejoramiento de trigo candeal usa extensivamente la introgresión a genotipos de líneas avanzadas de genes de resistencia de landraces y ancestros para diferentes caracteres relevantes al secano. Además de los landraces y ancestros se usan *Triticum dicoccoides*, *Triticum monococcum*, *Aegilops* ssp. como una fuente valiosa de genes para ampliar la base genética del trigo candeal y mejorar su resistencia a estreses abióticos y bióticos (Nachit *et al.*, 2001a; Elouafi *et al.*, 2002; Nachit y Elouafi 2002a; Slafer y Calderini, 2005). Los ancestros confieren resistencia a estreses abióticos (sequía, bajas y altas temperaturas), bióticos (mosca de Hesse, pulgón ruso del trigo (RWA), nemátodos cyst de los cereales (CCN) y son utilizados en forma extensiva en el programa de cruzamiento, lo que permite seleccionar líneas avanzadas con mejor resistencia a sequía.

ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO

La gran cantidad de evidencia sobre interacción GxE en el secano de CWANA señala la importancia de producir cultivares con rendimiento estable. Las pruebas multisitios utilizadas para identificar la consistencia relativa del comportamiento de los cultivares se usan para este fin (Nachit *et al.*, 1992a, 1992b). El germoplasma desarrollado con la aproximación DGST ha mostrado tener una mejor combinación de alto rendimiento y estabilidad de rendimiento que el germoplasma desarrollado en medioambientes muy buenos (high input) o muy estresados (low input). A través de un mejoramiento continuo para alto rendimiento potencial y estabilidad de rendimiento se han podido generar genotipos de trigo candeal de alto rendimiento potencial (Nachit *et al.*, 1992a, 1992b; Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b).

MAPEO Y DETECCIÓN DE QTLS

En el Programa de trigo candeal se estudia la vinculación entre los caracteres de resistencia a sequía y calidad del grano con marcadores moleculares (RFLP, SSR y AFLP) (Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b). En primer lugar se usa análisis multivariado para determinar las posibles asociaciones entre caracteres cuantitativos y marcadores moleculares. Posteriormente se confirman los vínculos exactos en poblaciones de mapeo (Nachit *et al.*, 2001b; Elouafi y Nachit 2004; Nachit y Elouafi, 2002a, 2002b). Se ha encontrado marcadores moleculares en trigo candeal ligados a rendimiento en grano bajo condiciones de sequía y a algunos caracteres morfo-fisiológicos relacionados a tolerancia a sequía, tales como discriminación isotópica de carbono, la que está asociada a la eficiencia del uso del agua (EUA, peso de granos por mm de lluvia) y con la eficiencia de transpiración. El ajuste osmótico, la temperatura de canopia, inhibición de clorofila y contenido de prolina también han mostrado tener una estrecha relación con marcadores moleculares (Nachit, 1998b).

Se han desarrollado varias poblaciones de mapeo usando el método de descendencia de semilla única (single seed descent method), dos de estas poblaciones se mapearon y publicaron (Nachit *et al.*, 1998; 2001b, Elouafi *et al.*, 2001a, 2001b; Elouafi y Nachit, 2004; Nachit y Elouafi, 2002b, 2004; Elouafi y Nachit, 2002; Slafer y Calderini, 2005). Se estudian los QTLs vinculados a resistencia a sequía y extremos de temperatura y aquellos vinculados a la calidad del grano. Se utilizan secuencias de primers de RFLP, SSRs, y genes de dehidrina, gliadina, y glutenina para probar la resistencia a sequía y calidad de grano. Otro desarrollo es el uso potencial de selección asistida por marcadores para tolerancia a sequía y calidad de grano.

ROTACIÓN CON VICIA

El uso de vicia en rotación con trigo candeal ha mostrado un significativo mejoramiento de la productividad del trigo y de la calidad del grano. El efecto residual de las raíces y paja de la vicia ha mejorado la estructura del suelo, la materia orgánica y la capacidad de retención de agua. La interacción entre mayor humedad del suelo y mayor disponibilidad de nitrógeno ha mostrado un efecto positivo en el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas. Además, debido a la lenta liberación de nitrógeno biológico se ha aumentado el porcentaje de proteína del grano y su vitreosidad.

SÍNTESIS

- El trigo candeal (*Triticum turgidum* L. ssp. durum) es originario del Medio Oriente Medio y se cultiva a gran escala en el secano de la región del Mediterráneo donde se requiere tolerancia a sequía, eficiencia en el uso del agua, resistencia a temperaturas extremas (bajas y altas). Se desarrolló una técnica de selección basada en un doble gradiente con un alto número de sitios y estaciones de prueba para determinar una resistencia múltiple de los genotipos.
- La combinación resistencia a estreses abióticos múltiple, alta eficiencia del uso del agua, y alto rendimiento potencial requiere de variadas herramientas como son la explotación de la variación genética de los landraces y de ancestros, uso de ambientes / sitios de selección representativos, conocimiento de la fisiología del estrés y marcadores moleculares.
- Las cruzas entre trigo candeal y ancestros han generado genotipos promisorios que combinan resistencia a estreses abióticos con productividad para ambientes con precipitación variable y limitantes abióticas como sequía y extremos de temperatura.
- La discriminación isotópica de carbono ha mostrado tener la mayor asociación con rendimiento, tolerancia a sequía y eficiencia en el uso del agua; además tiene baja interacción genotipo x medio ambiente. Se ha mapeado en tres diferentes poblaciones de mapeo y en dos regiones cromosomales.
- Los marcadores moleculares se consideran herramientas potenciales a ser usadas en selección asistida por marcadores (MAS) para mejorar la tolerancia a sequía a través de una acumulación QTLs de sequía y rendimiento de trigo candeal en la región del Mediterráneo. En relación a prácticas agronómicas, la rotación con vicia ha mostrado un mejoramiento en productividad y calidad de grano.

LITERATURA CITADA

- Araus, J.L., Amaro, T., Zuhair, Y. and Nachit, M.M. 1997. Effect of leaf structure and status on carbon isotope discrimination in field-grown durum wheat. *Plant Cell Environ.* 20: 1484-1494.
- Elouafi, I. and Nachit, M.M. 2002. "QTL identification of milling characters in *Triticum turgidum* L. var *durum*". First International Symposium on Genetics and Crop Genetic Improvement, Wuhan, China, September 21-25.
- Elouafi, I. and Nachit, M.M. 2004. A Genetic Linkage Map of *Triticum durum* x *Triticum dicoccoides* population based on SSRs and AFLP markers and QTL analysis for milling characters. *TAG.* 108:401-413.
- Elouafi, I., Nachit, M.M. and Martin, L.M. 2001a. Identification of a microsatellite on chromosome 7B showing a strong linkage with yellow pigment in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Hereditas* 135: 255-261.
- Elouafi, I., Nachit, M.M., Martin, A. and Martin, L.M. 2001b. Identification of genomic region controlling yellow pigment content in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). International Triticeae Conference. Proceedings of the 4th International Triticeae Symposium; Cordoba; September 10-12.
- Elouafi, I., Nachit, M. M., Martin, L. M. and Martin, A. 2002. Protein content QTLs and their interaction with environment in *Triticum durum* x *T. dicoccoides* population. EUCARPIA Cereals meeting, Salsomaggiore; Italy; November 20-25.
- Hubick, K.T. and Farquhar, G.D. 1989. Carbon isotope discrimination and the ratio of carbon isotope gained to water lost in barley cultivars. *Plant Cell Environ.* 12:795-804.
- Nachit, M.M. 1992. Durum Wheat Breeding for Mediterranean Dryland of North Africa and West Asia. Paper presented at Durum Wheat Workshop "Discussion on Durum Wheat: Challenges and Opportunity". CIMMYT, Ciudad Obregón, Mexico. March 23 - 25, 1992, p.14-27.
- Nachit, M.M. 1998a. Durum Breeding Research to Improve Dryland Productivity in the Mediterranean Region. SEWANA, Durum Research Network. p. 1-15. ICARDA-021/500 Sep 1998. Aleppo, Syria.
- Nachit, M.M. 1998b. Association of grain yield in dryland and carbon isotope discrimination with molecular markers in durum (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Proc. 9th Intl. Wheat Genetics Symp.* Saskatoon, Saskatchewan, Canada. p.p. 218-223.
- Nachit, M.M. and Elouafi, I. 2002a. 25 years of durum in the Mediterranean Drylands for resistance to drought and improvement in yield stability: from conventional to MAS breeding. EUCARPIA Cereals meeting, Salsomaggiore; Italy; November 20-25.
- Nachit, M.M. and Elouafi, I. 2002b. Durum wheat adaptation in Mediterranean Drylands: Breeding, Stress Physiology, and Molecular Markers. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America 2002 Annual Meetings. Indianapolis, USA, November 10-14, USA.
- Nachit, M.M. and Elouafi, I. 2004. Durum adaptation in the Mediterranean Dryland: breeding, stress physiology, and molecular markers. Crop Science Society of America and American Society of Agronomy. CSSA Special Publication no. 32. pp. 203-218.
- Nachit, M.M., Asbati, A., Azrak, M. and Elouafi, I. 1997. Durum breeding. Annual Report. ICARDA, Aleppo, Syria.

- Nachit, M.M., Sorrells, M.E., Zobel, R.W., Gauch, H.G., Fischer, R.A. and Coffman, W.R. 1992a. Association of Morpho-Physiological Traits with Grain Yield and Genotype-Environment Interaction in Durum Wheat. I.J. Genet. and Breed. 46: 50-55.
- Nachit, M.M., Sorrells, M.E., Zobel, R.W., Gauch, H.G., Jr., Fischer, R.A., and Coffman, W.R. 1992b. Association of Environmental Variables with Sites' Mean Grain Yield and Genotype-Environment Interaction in Durum Wheat. II. J. Genet. and Breed. 46: 41-49.
- Nachit, M.M., Baum, M., Autrique, E., Sorrells, M.E., Ali Dib, T. and Monneveux, P. 1993. Association of morphophysiological traits with RFLP markers in durum wheat. In: Tolerance a la secheresse des cereales en zone mediterraneenne. Diversite genetique et amelioration varietale. Eds: Monneveux p. and M. Ben Salem. Montpellier (France), December 15-17, 1992. p.159-171.
- Nachit, M.M., Picard, E., Monneveux, P., Labhilili, M., Baum, M. and Rivoal, R. 1998. Présentation d'un programme international d'amélioration du blé dur pour le bassin méditerranéen. Cashiers Agricultures no. 6/98.
- Nachit, M.M., Elouafi, I., Asbati, A., Azrak, M. and Hazzam, H. 2001a. Use of triticum wild relatives, stress physiology, and molecular markers to improve drought tolerance of durum (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). International Triticeae Conference. Proceedings of the 4th International Triticeae Symposium; Cordoba; September 10-12.
- Nachit, M.M., Elouafi, I., Pagnotta, M.A., El-Saleh, A., Iacono, E., Labhilili, M., Asbati, A., Azrak, M., Hazzam, H., Benschel, D., Khairallah, M., Ribaut, J.M., Tanzarella, O.A., Poreceddu, E. and Sorrells, M.E. 2001b. Molecular linkage map for an intraspecific recombinant inbred population of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*). Theor Appl. Gene. 102: 177-186.
- Slafer, G.A. and Calderini, D.F. 2005. Importance of breeding for improving durum wheat yield. In: eds. C. Royo, M.M. Nachit, Di Fonzo N., Araus J.L., Pfeifer W.H., and Slafer G.A. Durum Wheat Breeding, Current Approaches and Future Strategies. Volume 1, pp. 87-95. Haworth Press, Inc. New York, USA.

13

Conclusiones

Existen oportunidades de expandir el cultivo de trigo candeal de alta calidad en Chile, debido principalmente a los siguientes factores:

- a) Chile tiene condiciones ambientales excepcionales, particularmente climáticas, para producir trigo candeal de la más alta calidad.
- b) La producción nacional de trigo candeal abastece solamente el 50% de la demanda nacional.
- c) Existe una alta demanda internacional de trigo candeal y/o productos derivados de alta calidad, la que a su vez se encuentra en aumento.

Estas oportunidades no han podido ser desarrolladas debido principalmente a que la producción de trigo candeal en el país no se ha enfocado a una producción de trigo de calidad, sino que a la de altos rendimientos, sin haberse desarrollado técnicas agronómicas locales orientadas a este fin. La calidad del grano de trigo nacional no permite a las empresas productoras de pasta abastecerse en una mayor proporción con estos granos, debido principalmente a su bajo contenido de proteína y falta de homogeneidad.

La superficie sembrada de trigo candeal es baja considerando el alto potencial geográfico y climático del país, la producción tradicionalmente ha estado concentrada en la zona central regada y recientemente se ha ido desplazado y ampliando hacia la zona centro sur donde dominan condiciones de secano. En la actualidad, las únicas zonas que tienen tecnología agronómica adecuada (y para generar sólo altos rendimientos) son las zonas de riego del Valle Central.

Para que Chile pueda posicionarse en el mercado mundial de trigo candeal, debe mejorar su competitividad, principalmente mejorando la calidad del trigo y disminuyendo los costos de producción, de manera de poder competir en los mercados internacionales.

Hasta hace algunos años las empresas elaboradoras de pasta, compraban la producción nacional de trigo candeal sin enfatizar calidad. Debido a esto, los cultivos se realizaron tradicionalmente en zonas de riego, las que destacan por obtener mayores rendimientos. Como consecuencia de esto, el mejoramiento genético y las prácticas agronómicas tuvieron por objetivo principal aumentar el rendimiento del cultivo en estas zonas, sin énfasis mayor en la calidad del trigo.

Por otra parte, la producción de trigo se ha desplazado hacia zonas de secano

y nuevas zonas de riego, debido a que la zona de riego del Valle Central posee alternativas de producción agrícola con mayores utilidades, principalmente la fruticultura. Para las nuevas zonas de cultivo no existe tecnología agrícola ni genotipos seleccionados.

Por último, y de gran importancia, en Chile no ha existido una visión conjunta de los diversos actores de la cadena del trigo candeal que permita orientar las investigaciones y desarrollos a mejorar su competitividad del sector, tanto en el mercado nacional como internacional, subutilizando las excelentes características geográficas y climáticas para su producción.

En resumen, para que Chile se posiciona en el mercado internacional de trigo candeal y de productos derivados se requiere:

1. Organizar y coordinar el sector e integrar la cadena productiva a través de la Mesa del Trigo Candeal.
2. Producir un trigo candeal consistentemente homogéneo de alta calidad. Lo que implica, pasar de un nivel de proteína promedio de 10% a un 12%, mediante variedades y técnicas de cultivo adecuadas.
3. Bajar los costos de producción para ser competitivos en el mercado internacional lo que significa aumentar la eficiencia en el uso de los insumos, en particular nitrógeno y agua.
4. Desarrollar tecnología para secano, aumentando la eficiencia del cultivo en el uso del agua y del nitrógeno y disminuyendo los riesgos de erosión.
5. Optimizar el sistema productivo vía determinación de puntos críticos con uso de metodologías participativas.
6. Ampliar la superficie de cultivo bajo la modalidad de contrato.

