

**Garnero, Susana Providencia**

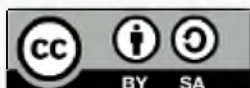
# Calidad intrínseca de los granos en la poscosecha

---

**Tesis para la obtención del título de posgrado de  
Magíster en Tecnología de los Alimentos**

Director: Pérez, Gabriela

Documento disponible para su consulta y descarga en **Biblioteca Digital - Producción Académica**, repositorio institucional de la **Universidad Católica de Córdoba**, gestionado por el **Sistema de Bibliotecas de la UCC**.



Esta obra está bajo licencia 2.5 de Creative Commons Argentina.

Atribución- Compartir igual

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CORDOBA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
**MAESTRIA EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**



Tema de tesis:

**CALIDAD INTRÍNSECA DE LOS GRANOS EN LA POSCOSECHA**

**Autora**  
**Ing. Qca.SUSANA GARNERO**

**Directora de Tesis**  
**Dra. GABRIELA PEREZ**

**2006**

**CINCUNETENARIO UCC**

*A mis Padres, Nito y Herme.  
A mi Hijo, Eugenio.*

*“... ¿Qué es, pues el tiempo? Si nadie me lo pregunta, lo sé; pero si quiero explicárselo al que me lo pregunta, no lo sé. Lo que sí digo sin vacilación es que si nada pasase no habría tiempo pasado; y si nada sucediese, no habría tiempo futuro; y si nada existiese, no habría tiempo presente. Pero aquellos dos tiempos, pretérito y futuro, ¿Cómo pueden ser, si el pretérito ya no es él y el futuro todavía no es? Y en cuanto al presente, si fuese siempre presente y no pasase a ser pretérito, ya no sería tiempo, sino eternidad. Si pues, el presente, para ser tiempo es necesario que pase a ser pretérito, ¿Cómo decimos que existe éste cuya causa o razón de ser están en dejar de ser, de tal modo que no podemos decir con verdad que existe el tiempo, sino en cuanto tiende a no ser?...”*

SAN AGUSTIN. Confesiones, XI, XIV.

## ÍNDICE DE SECCIONES Y CAPÍTULOS

### Sección 1

**Fundamento Teórico**.....

#### CAPÍTULO 1

GENERALIDADES, CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LOS  
GRANOS Y USOS PRINCIPALES .....

#### CAPÍTULO 2

CALIDAD DE LOS GRANOS Y ESTIMADORES MAS COMUNES.....

#### CAPÍTULO 3

MANEJO POSCOSECHA Y OPERACIONES FUNDAMENTALES.....

### Sección 2

**Hipótesis**.....

### Sección 3

**Desarrollo experimental**.....

#### CAPÍTULO 4

PLAN DE ENSAYOS Y CALIDAD DE LOS GRANOS.....

#### CAPÍTULO 5

MATERIALES Y METODOS .....

#### CAPÍTULO 6

INTERPRETACION Y DISCUSION .....

### Sección 4

**Conclusión general**.....

### Sección 5

**Referencias, fuentes y anexos** .....

### Sección 6

**Índice**.....

## PRÓLOGO

El desarrollo de este trabajo final surge de la necesidad personal de conocer y comprender acerca de un tema bastante difundido que acarrea graves problemas económicos a las agroindustrias y que atenta contra la calidad de sus productos. En efecto, siendo los granos la materia prima que las sustenta, el estado de óptima conservación y composición estructural y química excelente son indispensables para facilitar su ulterior manejo y transformación que redundará en un ahorro considerable de energía, parámetro tanpreciado en nuestros días y su permanencia en un mercado, cada vez más competitivo.

Considerando que la producción de cultivos de granos tiene un papel preponderante en la actividad agrícola mundial es menester cuidar sus tratamientos en cada uno de los eslabones de la cadena alimentaria, siendo numerosos los riesgos por los que se atraviesa antes de llegar al consumidor. Y precisamente por ello, la alteración de ciertos métodos conservativos ya sea por las limitaciones en los espacios de almacenamiento como por falta de preparación del personal que lleva a cabo esta tarea, ocasiona graves pérdidas prohibitivas en este mundo cada vez más congestionado por el crecimiento alarmante de la población mundial y por la disponibilidad de las mismas extensiones de tierra destinadas a los cultivos, sin posibilidad de ampliarse más allá de los límites fijados, si no se pretende atentar contra el equilibrio ecológico y la contaminación.

Es por las causas mencionadas anteriormente, que me sumerjo en este tema apasionante queriendo con ello aportar un espacio más a todo lo ya investigado, escrito, divulgado pero fundamentándolo a través de las experiencias que son las que corroboran la hipótesis propuesta en el protocolo de tesis oportunamente presentado.

En la siguiente página, quiero agradecer a todas aquellas personas e instituciones que incondicionalmente me dedicaron su conocimiento, su tiempo y su confianza para que pueda llevar adelante este trabajo que, a esta altura de mi vida, representa un desafío o un anhelo largamente acariciado desde mis jóvenes años de graduada universitaria, cuando por razones de la vida, no tuve en mis manos esta especial oportunidad.

Agradecimientos:

- A mi directora Dra. Gabriela Pérez de León por su inestimable apoyo, tiempo y esfuerzo.
- A la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba por haberme permitido realizar la parte experimental de mi tesis en sus instalaciones.

- A la Empresa Arcor SAIC por haberme facilitado la media beca para el cursado de la Maestría.
- A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco por haberme facilitado equipos en la preparación de las muestras.
- A la empresa de Acopios El Maná S. A. por la provisión de los granos objetos de estudio.
- A la Empresa Carlos Boero Romano SAIC por haber realizado desinteresadamente algunos análisis.
- Al Laboratorio Agropecuario LACO S.H. por haber permitido la realización de algunos ensayos en sus instalaciones.
- Al personal de la cátedra de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por hacerme sentir parte de su equipo de trabajo.
- Al Dr. Alberto León por contactarme con mi actual directora.
- A Elsa, de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCC por su cordialidad y asistencia en los trámites previos a la tesis.
- A mi madre por su apreciado incentivo y a mi hijo por compartir mis horas y respetar mis silencios frente a la PC.

---

Nota: La imagen en transparente de la portada, corresponde a Deméter (Ceres), diosa de la agricultura en la mitología griega (romana), hija de Cronos y Rea y hermana de Zeus (Júpiter) el mayor de los dioses.

## ABREVIATURAS y SIGLAS

A	Acrilamida.
a.C.	Antes de Cristo.
AACC	American Association of Cereal Chemists. Asociación Americana de Químicos en Cereales.
AACREA	Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola.
Ac	Acidez
ACA	Asociación de Cooperativas Argentinas.
Ae.	Aegilops
AG	Ácidos grasos.
AOCS	American Oil Chemistry Society. Sociedad Americana de Química en Aceites.
APS	Ammonium persulphate. Persulfato de amonio.
ASHRAE	American Society Heat Refrigeration Air Engineers. Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire.
Asn	Asparagina.
Asp	Acido aspártico.
ASTM	American Society for Testing Materials .Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales.
AU	Actividad ureásica.
BA	Bisacrilamida.
C-	Carbono terminal.
CAA	Código Alimentario Argentino
CEE	Comunidad Económica Europea.
CESA	Compañía Estatal de Silos y Depósitos.
cm	centímetros.
CONASE	Comité Nacional de Semillas.
Coop.	Cooperativa.
CV	Coeficiente de variación
Cys	Cisteína.
DHA	Dehidroalanina.
DMS	Desvío medio standard.
Ea	Energía de activación.
EC	Enzyme classification. Clasificación de enzima.

EEUU	Estados Unidos de América.
FAO	Food Agriculture Organization. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
Fig.	Figura.
FN	Falling number. Número de caída.
FP	Fosfolípido.
g	gramos.
GH	Gluten húmedo
Glu	Acido glutámico
Gly	Glicina
GM	Grado de madurez.
GMC	Grupo Mercado Común del MERCOSUR.
GQ/P	Granos quebrados y/o partidos.
GS	Gluteninas.
<b>H</b>	Entalpía.
h	Hora.
ha	Hectárea.
Ha	Humedad absoluta.
Hf	Humedad final.
Hi	Humedad inicial.
hL	hectolitro.
HMW	High Molecular Weight. Alto peso molecular.
Hr	Humedad relative.
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
Ile	Isoleucina.
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
IODr	Índice de densidad óptica relativa.
IS	Índice de sedimentación.
K	Grados Kelvin.
kcal	kilocalorías.
kDa	kilodalton.
kg	kilogramo.
kJ	kilojoule
kPa	kilopascales.
L	Litro.
Leu	Leucina.



LMW	Low Molecular Weight. Bajo peso molecular.
LSD	Least Significant Difference. Menor diferencia significativa.
Lw	Zona de baja movilidad.
Lys	Lisina.
M	Molaridad.
ME	Mercaptoetanol.
Met	Metionina.
MG	Materia grasa.
mg	miligramo.
min	minuto.
mL	mililitro.
mM	milimol.
N	Normalidad.
n	Número de datos.
N-	Nitrógeno terminal.
Nº	Número.
NPU	Utilización proteica neta.
Ns	Nitrógeno soluble.
Nt	Nitrógeno total
°C	Grados Celsius.
ONCAA	Oficina Nacional de Control Comercial Argentina.
ONU	Organización de las Naciones Unidas.
P	Proteína
p.	Página.
P/V	Porcentaje peso en volumen.
PA	Poliacrilamida.
PAGE	Poliacrylamide gel electrophoresis. Electroforesis en geles de poliacrilamida.
PC	Computadora.
PDI	Protein dispersability index. Índice de dispersabilidad proteica.
PER	Relación de eficiencia proteica.
pH	Potencial hidrógeno.
PH	Peso hectolítrico.
Phe	Fenilalanina.
pI	Punto isoeléctrico.
Pv	Presión de vapor.
Pvs	Presión de vapor saturado.

qq/ha	Quintales por hectárea.
R <sup>2</sup>	Coeficiente de correlación al cuadrado.
R <sup>2</sup> Aj	Coeficiente de correlación al cuadrado ajustado.
S	Unidades svedberg de sedimentación.
s	segundo.
SA	Sociedad Anónima.
SAGPYA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y alimentación.
SAIC	Sociedad Anónima, Comercial e Industrial.
SDS	Sodium docedil sulphate. Dodecil sulfato de sodio.
SH	Sociedad de Hecho.
SI	Sistema Internacional de Unidades.
ssh	Sobre sustancia húmeda.
sss	Sobre sustancia seca.
St	Estándar molecular.
t	Tonelada.
T	Muestra testigo.
<b>T</b>	Temperatura absoluta
<i>T.turgidum</i>	<i>Triticum turgidum</i>
Ta	Temperatura del aire.
Tbh	Temperatura bulbo húmedo.
Tbs	Temperatura de bulbo seco.
TEMED	Tetrametiletilendiamina.
TG	Triglicérido.
Tg	Temperatura del grano.
Thr	Treonina.
Tr	Temperatura del punto de rocío.
Tris	Trihidroximetilaminometano.
Trp	Triptófano.
U\$S	Dólares estadounidenses.
UCC	Universidad Católica de Córdoba.
upH	Unidades de pH.
V	Volt (Unidad de tensión eléctrica en el SI).
V/V	Porcentaje volumen en volumen.
Val	Valina.
var.	Variedad.
Ve	Volumen específico del aire.

W	Fuerza panadera.
<b>W</b>	Watt (unidad de Potencia en el SI).
w	Peso.
xg	X veces la aceleración de la gravedad.
μL	microlitros.
μm	micrómetros.

## INTRODUCCIÓN

¿Qué consideraciones adoptar como disparadoras y umbrales para preservar la calidad de los granos en la etapa de la poscosecha?

La pregunta constituye un problema arraigado en este eslabón de la actividad agroindustrial al momento de observar la calidad intrínseca de los granos. La calidad intrínseca es la determinada por las características físicas de los granos, su composición química y las propiedades funcionales de sus componentes.

El término grano es genérico, a los fines propuestos en el presente trabajo, e incluye la denominación de semilla. Si bien botánicamente, son conceptos diferentes. Los granos comprenden los frutos y semillas de cereales y oleaginosas utilizados como insumos para la industria alimentaria, mientras que las semillas, son los mismos pero empleados para siembra y propagación. Esta distinción trae a colación el hecho de que ambos son tratados de manera diferente en la poscosecha: en los primeros, trata de conservarse la materia seca lo más incólume posible ya que de ella derivarán atributos para la calidad industrial; en los segundos, se busca resguardar al embrión manteniéndolo vivo para que en el momento de la siembra pueda germinar y desarrollar a la futura planta.

La producción de cultivos de granos tiene un papel preponderante en la actividad agrícola mundial. Con el crecimiento de la población humana, la demanda por los cultivos de Cereales y Oleaginosas aumentó, llevándolos a ocupar la mayor parte de la superficie sembrada en las áreas más productivas del mundo.

Una vez cosechado el cultivo, la fase manejo poscosecha tiene como objetivo mantener el buen estado del producto hasta su comercialización o utilización industrial. Las pérdidas en poscosecha representan una reducción cuantitativa y/o cualitativa susceptible de ser medida directamente en los granos o indirectamente en su depreciación.

Estimaciones realizadas en nuestro país revelan que las pérdidas físicas y de calidad producidas por incorrecto manipuleo y almacenamiento, por un inadecuado empleo de técnicas de almacenaje en chacra, por insuficiente infraestructura de transporte y puertos, como así también por el excesivo gasto de energía en el secado, producen una pérdida total del 6 al 8 % o más sobre la producción de granos.

Remitiéndonos a la campaña 2002/2003, el total de pérdidas representan un volumen mínimo (considerando como mínimo un 6 % de la producción total) de 4,1 millones de toneladas de granos y una gran deficiencia de operación, en el plano económico resultan en un valor aproximado de 712 millones de dólares por año (Tabla A). Desde luego, no se

computa la pérdida por caída de precios por la falta de calidad intrínseca, ya sea alimenticia o industrial, de los granos.

**Tabla A. Pérdidas en el período de poscosecha, para los cultivos considerados, según la campaña 2002/2003.**

Cultivos	Área cosechada (ha)	Producción (t)	Valor (U\$/t)	Valor producción (U\$)	Pérdidas (U\$)	20 % Reducción Pérdidas (U\$)
Soja	12,606,845	34,800,000	222	7,719,284,21 1	463,157,05 3	92,631,411
Maíz	3,084,374	15,040,000	89	1,333,947,00 5	80,036,820	16,007,364
Girasol	2,378,000	3,804,800	210	799,955,556	47,997,333	9,599,467
Sorgo	592,740 76	2,685,000	76	203,689,655	12,221,379	2,444,276
Trigo	6,300,210	12,301,000	128	1,579,372,49 5	94,762,350	18,952,470
Poroto	70,000	77,000	150	11,550,000	693,000	138,600
Arroz	110,000	718,000	183	131,394,000	7,883,640	1,576,728
Maní	157,326	235,989	433	102,183,237	6,130,994	1,226,199
<b>Totales</b>	<b>25,299,495</b>	<b>69,661,789</b>	-	-	<b>712,882,57 0</b>	<b>142,576,51 4</b>

Fuente: IICA, Datos Campaña 2002/03; Bolsa de Cereales – Precios Diciembre 2003.

En países desarrollados como los EE.UU., los niveles de pérdidas están aproximadamente en 3-5% de lo cosechado, siendo aún menores en los países de la CEE. Mientras que en países subdesarrollados, esos niveles alcanzan valores realmente alarmantes llegando en algunos casos al 30%.

Técnicos especialistas de nuestro país revelan que las causas que originan las pérdidas en las plantas de acopio son: un elevado nivel de respiración de los granos por alta humedad y temperatura, secados inadecuados, daño mecánico durante el movimiento

interno de las plantas, limpieza inadecuada de los granos, deficiente conservación, daño de insectos y roedores; y por inadecuadas instalaciones de almacenaje.

Estimaciones realizadas por algunos expertos consideran que las pérdidas físicas de los granos, por las causas antes mencionadas, comprenden un 6%.

Por otra parte la Red Argentina en Tecnología de Poscosecha del INTA Manfredi, cita como una pérdida adicional del 1-2% debido a la insuficiente infraestructura de almacenaje, de transporte y de puertos, como así también por el excesivo gasto de energía durante el secado.

Realizar la cosecha en forma ineficiente, traslada el problema a la etapa siguiente de poscosecha, dado que se parte de un grano con cierto deterioro por la demora en el inicio de cosecha, al que le sigue el daño mecánico durante el proceso de cosecha con alta velocidad y agresividad de trilla que provoca excesivo daño mecánico al grano e impurezas por sobrecarga del sistema de limpieza de la cosechadora. Es sabido que los granos se conservan mejor cuantos más sanos, secos y limpios se encuentren en el almacenaje, ya sea este anaeróbico o aeróbico.

Cuanto mayor sea el daño mecánico que presenta el grano y más impurezas presenten una vez terminado el proceso de cosecha, mayor será el deterioro durante el almacenaje de los grano y mayores las pérdidas de este proceso.

Frente a un sistema como el que presenta la agricultura argentina, donde faltan camiones para trasladar el cereal de chacra a las plantas de acopio y acondicionado, donde existe un excesivo costo del flete en la época de cosecha, falta de caminos y rutas suficientes para extraer con agilidad los granos durante la cosecha, el productor argentino optó en los últimos años por tranqueras adentro más del 40 % de los granos producidos, realizando su propio almacenaje, el cual no siempre esta bien realizado y con muchas deficiencias de infraestructura. De los 30 millones de toneladas en chacra, 14 o más son almacenados en bolsas plásticas, otros 13 millones de toneladas almacenados en silos y celdas de campaña, mallas de alambre, sin aireación y el resto unos 6 millones de toneladas en plantas de silos con aireación y secado de regular eficiencia.

El almacenaje en silo de bolsas plástica (más de 14 millones de toneladas de grano), realizado sin el asesoramiento correcto, acerca de llenado de la bolsa con eliminación de aire, límite de humedad del grano, según el tiempo de permanencia y la temperatura de almacenaje, puede ocasionar pérdidas importantes de peso hectolítrico y de la calidad del grano almacenado, y si a esto se le añaden las pérdidas por rotura de bolsas por condiciones climáticas (granizada), o las roturas por animales (roedores, peludos, etc.), las producidas durante la extracción de la bolsa, o las provocadas por el hombre, llegan a ser importantes y merecen un especial tratamiento.

En los sistemas de silos de campaña, de almacenaje aeróbico, el productor no realiza un seguimiento correcto del grano, con inspecciones periódicas y medición de la temperatura, descubriendo al extraer el grano del silo los problemas y las pérdidas que se ocasionaron.

Todo este panorama indica que existe más del 40 % del volumen del grano almacenado con cierto grado de deficiencia por desconocimiento, falta de capacitación y también de información.

Por otro lado, teniendo en cuenta lo referente al transporte de los granos, los camiones que trasladan el cereal y oleaginosas, lo hacen con cierto grado de pérdida por sobrecarga, agujeros, roturas en la estructura, perdiendo una buena cantidad de grano en el proceso de traslado de chacra al acopio, por lo que aparece como necesario concientizar a los productores, transportistas, y participantes del mercado sobre las pérdidas en esta etapa y la forma de aumentar su eficiencia.

Se estima que el costo argentino debido a una insuficiente y deficiente infraestructura de almacenamiento, transportes y manejo del cereal en puertos, sumada a mayores costos de comercialización, y en ciertos casos a una menor calidad, insumiría aproximadamente 415 millones de dólares. Otros factores serían responsables de pérdidas por valor de 280 millones de dólares adicionales, tal como excesivo gasto de energía en el secado artificial, injustificadas mermas de peso y calidad, mal uso de insecticidas, sobresecado de granos y deterioros por mal manejo de mercaderías, que conducen a reducir su aptitud industrial y a disminuir su precio.

La cosecha anticipada, que es una de las respuestas para la reducción de las pérdidas de precosecha y cosecha, provoca una promoción del secado de los granos, que si bien deriva en un aumento de la producción, no es acompañado en igual medida en una calidad de secado, debido a la baja eficiencia y alto costo de la operación, ya por la falta en disponibilidad de instalaciones adecuadas para el secado como por el ineficiente funcionamiento de las mismas. Instruir al empresario y operario rural sobre los pros y los contras del secado y su correcta utilización también es una necesidad.

Es preciso informar que cada año se registran significativas pérdidas de cantidad y calidad, ocasionadas por condiciones climáticas adversas y por el mal manejo de los granos, tanto durante la cosecha como en el período de poscosecha, lo que representa un total de pérdidas de 4.357 millones de pesos/año (Tabla B). (68).

**Tabla B. Pérdidas totales de cosecha y poscosecha.**

<b>Eslabón</b>	<b>Pérdidas (en \$)</b>
Cosecha	2,289,839,112
Poscosecha	2,067,359,452
<b>Totales</b>	<b>4,357,198,564</b>

Fuente: IICA, Datos Campaña 2002/03; Bolsa de Cereales

De acuerdo al panorama descrito, vemos que la temática de la poscosecha es complicada dado el amplio rango de aspectos y consideraciones a tener en cuenta en el momento de evaluar la calidad de los granos. A los fines de acotar el presente trabajo nos ubicaremos dentro de una práctica común y arraigada de la poscosecha que es el secado de granos y el daño que esta operación ocasiona a la calidad intrínseca del mismo, cuando se realiza deliberadamente ya sea por errores en el manejo de estos equipos, como por falta de capacitación por parte del operario.

La selección del secado de granos como punto crítico de la operación en la poscosecha se justifica sabiendo que los peligros del grano almacenado son: la humedad, el calor, los hongos, las bacterias, los insectos y otras plagas. Controlando la humedad del grano, se pueden evitar los peligros debidos a la elevación de la temperatura, a los hongos y a los insectos. (51).

Además la temperatura alcanzada en el interior del grano durante el secado también es crucial en los efectos de permanencia de calidad en la poscosecha. Si bien el parámetro humedad es determinante ésta se mantiene si se controla la temperatura del grano (57).

Concluyendo, el presente trabajo abordará la problemática de calidad de los granos desde el eslabón de la poscosecha y dentro de ella el método de secado como principal causal del deterioro de la calidad intrínseca del grano ya limpio y en buenas condiciones físicas que proviene del eslabón anterior. A los fines de corroborar los daños ocasionados por el manejo incorrecto de la temperatura del secado, se realizarán determinaciones de parámetros físicos y químicos que pondrán en relevancia tales problemáticas, siendo luego las mismas interpretadas estadísticamente y discutidos a los fines de consolidar la hipótesis.

Otra cuestión, es la selección de los granos representativos para el presente estudio, dada la amplia variedad en el mercado argentino, es imposible realizar a cada uno de ellos los ensayos propuestos dado que no acotaría el problema sino que por el contrario abriría un abanico de nuevas problemáticas. Por esto, se decide elegir un grano representante de la familia de las Poáceas, como es el trigo y un grano representante de la familia de las



Fabáceas, como es la soja. La selección no obedece sólo a una cuestión botánica, sino que también tiene en cuenta la importancia económica e industrial de estos granos en nuestro país.

A los fines de facilitar la comprensión del lector, se divide el presente trabajo en seis secciones. A su vez cada sección está integrada por capítulos que abordan contenidos pertinentes. Complementan el trabajo las abreviaturas y siglas, referencias bibliográficas, anexos e índices de figuras, de tablas y general.



## **Sección 1**

### **Fundamento Teórico**

GENERALIDADES, CARACTERÍSTICAS FISICO-QUIMICAS DE LOS GRANOS Y USOS PRINCIPALES.

CALIDAD DE LOS GRANOS Y ESTIMADORES MAS COMUNES.

MANEJO POSCOSECHA Y OPERACIONES FUNDAMENTALES.

## **OBJETIVOS**

### **Generales**

Proporcionar el marco teórico necesario para comprender la problemática de la calidad en la poscosecha.

Mostrar una visión general de la producción de granos, sus características fisicoquímicas y utilidades.

Analizar los parámetros fundamentales que se relacionan con la calidad de los mismos.

### **Específicos**

Justificar las operaciones de conservación y acondicionamiento que se utilizan en la poscosecha para el logro de la calidad analizada. Considerar a la operación de secado como clave en este eslabón de la cadena alimentaria que lidera y consecuencia los demás métodos conservativos.



## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES, CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS GRANOS Y USOS PRINCIPALES**

GENERALIDADES

ESTRUCTURA DE LOS GRANOS

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS GRANOS

USOS PRINCIPALES DEL TRIGO Y SOJA

## **GENERALIDADES**

### **A. PRELIMINARES**

#### **A.1 CEREALES**

Los Cereales son frutos secos indehiscentes de algunas plantas herbáceas cultivadas, monocotiledóneas de la familia de las *Poáceas*. Los principales cereales son trigo, cebada, arroz, maíz, centeno, sorgo, mijo y avena. Especial importancia tienen el trigo y la cebada por ser los únicos cereales panificables.

Los productos obtenidos a partir de ellos ocupan un lugar destacado como alimentos básicos del hombre. En los países industrializados el consumo de pan cubre el 50 % de las necesidades de carbohidratos, un tercio de las necesidades de proteína, un 50 a 60 % de las vitaminas del grupo B. Asimismo contribuye en gran medida al aporte de minerales y oligoelementos. (12).

#### **A.2 LEGUMINOSAS**

Las Leguminosas son frutos secos dehiscentes de algunas plantas herbáceas cultivadas dicotiledóneas de la familia de las *Fabáceas* que se utilizan en la alimentación humana bajo el nombre de Legumbres.

Las legumbres tienen un contenido relativamente alto en proteínas. Son por lo tanto imprescindibles en lo que a aporte de éstas se refiere en los países en vías de desarrollo. La soja y el maní (cacahuetes) se consideran granos oleaginosos, aunque en los países industrializados también se utilizan cada día más como fuente de proteínas. (12).

Las principales leguminosas son soja, maní, porotos, garbanzos, lentejas, arvejas y habas. Especial importancia tiene la soja por su valor económico e industrial.

### **B. ORIGEN**

#### **B.1 CEREALES**

Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importante de la humanidad. Históricamente están asociados al origen de la civilización y cultura de todos los pueblos. El hombre pudo pasar de nómada a sedentario cuando aprendió a cultivar los cereales y obtener de ellos una parte importante de su sustento.

Cada cultura, cada civilización, cada zona geográfica del planeta, consume un tipo de cereales específicos creando toda una cultura gastronómica en torno a ellos. Entre los europeos domina el consumo del trigo; entre los americanos, el de maíz, y el arroz es la comida esencial de los pueblos asiáticos; el sorgo y el mijo son propios de las comunidades africanas.

Probablemente la primera especie cultivada en forma planificada fue la cebada (*Hordeum vulgare*) en el 5.000 a.C. por los sumerios y los asirios. El origen del trigo también se ubica en esos tiempos, siendo las especies *Triticum monococcum* y *T. turgidum* var. *dicoccum* con genoma diploide (AA, el número básico de cromosomas de todos los genomas de trigo es  $x = 7$ ) y tetraploide, respectivamente, los cultivares más antiguos, que en algunas zonas de Eurasia estaban muy extendidas ya en el Neolítico. Hoy en día están en vías de extinción. Sólo la serie Emmer (*T. turgidum* var. *durum*, AABB) sigue teniendo un papel importante con un 10 % de producción total de trigo. En todo el mundo se utilizan como trigos panificables los hexaploides desnudos (AABBDD). Se ha establecido a partir de datos arqueológicos que *T. aestivum* surgió hace 10.000 años. Su genoma A está estrechamente emparentado con el de *T. monococcum*. El origen del genoma B es desconocido. Probablemente proceda de especies del género *Aegilops*. El genoma D proviene probablemente de *Ae. squarrosa*. (46).

## B.2 LEGUMINOSAS

Las legumbres tienen diversos orígenes, según la especie: en Mesopotamia, en la América precolombina y en Asia oriental, adecuándose perfectamente a la agricultura mediterránea. Las leguminosas y los cereales fueron las primeras plantas cultivadas por el hombre. Hace unos diez mil años en la zona del Cercano Oriente, existía una asociación entre ciertas semillas como el trigo, cebada, lenteja, y guisantes, y los asentamientos humanos, que era un indicativo de una recolección preferencial: primer paso hacia el nacimiento de la agricultura. Las leguminosas aparecen pronto en la agricultura del Nuevo Mundo (4000a.C.), precediendo en casi mil años al maíz.

Los antiguos egipcios tuvieron en alta estima a las lentejas, cultivándolas extensamente y con mucho cuidado. Fueron también muy apreciadas por los romanos; se dice que en el barco especial en que se transportó un obelisco desde Egipto a Roma, durante el reinado de *Calígula*, se transportaron 840 toneladas de lentejas. Sin embargo, las habas fueron consideradas por los egipcios como alimento despreciable. Los sacerdotes no las comían, aunque el pueblo llano sí. Tampoco eran estimadas por los griegos y los romanos. La causa tal vez haya que buscarla en que pueden provocar fabismo. El poroto era alimento habitual en Roma, aunque tampoco muy apreciado. Fue en el siglo XVII cuando se popularizó su consumo en verde y se convierte, en la corte de *Luis XIV*, uno de los mejores gobernantes de Francia; en "una moda y una locura" en palabras de Madame Maintenont.

Corresponde a la soja (*Glycine max*) el orgullo de ser la primera leguminosa de la que se dejó constancia escrita: en los libros de *Shen Nung*, que datan del año 2800 a.C., se

describen los cinco cultivos principales y sagrados de China: arroz, soja, trigo, cebada y mijo. Con ella los antiguos elaboraban preparados de alto contenido proteínico (requesón, salsas, quesos, pastas) utilizadas para condimentar y enriquecer su alimentación básica en cereales. Es alrededor del siglo IV antes de Cristo cuando idearon métodos para extraer su aceite. (40).

## C. PRODUCCION

### C.1 CEREALES

#### C.1.1 Producción mundial

La Tabla 1.1 muestra la superficie cultivada, rendimiento y producción mundial de trigo correspondiente al quinquenio 1999/2003.

**Tabla 1.1. Superficie cultivada, rendimiento y producción en el contexto mundial para trigo.**

	Años				
	1999	2000	2001	2002	2003
Superficie cultivada (ha. 10 <sup>3</sup> )	216,57	219,26	215,22	213,87	212,91
Rendimiento (t/ha)	2,71	2,66	2,70	2,64	2,69
Producción (t. 10 <sup>3</sup> )	585,34	581,52	581,07	565,48	557,50

(Fuente: USDA Wasde & Wap, 2003)

#### C.1.2 Mercosur

Posee una producción total de trigo de 21.521.500 t., de las cuales Argentina aporta el 69 % y Brasil el 28 %, estas cifras representan un 3,45 % en la producción mundial (47).

#### C.1.3 Situación en Argentina

**Superficie sembrada:** La evolución de la superficie triguera en los últimos 15 años no ha presentado variaciones significativas, manteniéndose alrededor de 6.000.000 ha, llegando en la campaña 2004/05 a 6.233.050 ha. Este dato representa un porcentaje respecto al área total de granos de 21.05%. Durante este período, la superficie cultivada con granos se incrementó un 42,5 %, mientras que la superficie ocupada por cereales se mantuvo estable, lo cual indica que este aumento se debe exclusivamente al cultivo de soja; el mismo representa un 50,9 % del área total de granos.

**Producción y Rendimiento:** La producción en la última campaña fue de 16.000.000 t. En los últimos 15 años este valor se incrementó un 45,5 %, esta cifra ha aumentado en función de los mejores rendimientos obtenidos (40%) para igual período considerado.

**Campaña 2005/06:** Según información proporcionada por la Dirección de Estimaciones Agrícolas de la SAGPyA, se estima una reducción del área a implantar de alrededor del 10% con respecto a la pasada campaña, lo cual implica que, la superficie se ubicaría alrededor de 5,6 millones de hectáreas. El último informe de avance de siembra indica que la misma se encuentra en un 80 % del área destinada, llevando un retraso de 7 puntos respecto a la campaña 2004/05. Esta situación, acompañada por la disminución en la rentabilidad económica que el cultivo presentaba en el momento de decidir la siembra (marzo 05), ha tenido incidencia directa en los productores a volcarse a los cultivos de verano. De todas maneras la recuperación de precios ha mejorado las perspectivas del cultivo. Según los analistas de mercados de la SAGPyA, estos valores se mantendrían sostenidos hasta finalizar la cosecha.

**Acopio:** Argentina tiene una capacidad de acopio de 40,9 millones de t, que representa cerca del 60% de su cosecha. Existen más de 2.700 plantas de acopio, de las cuales unas 650 pertenecen a organizaciones cooperativas. Los datos sobre los silos existentes en todo el país surgen de un relevamiento realizado por la ONCCA, perteneciente a la SAGPyA (47).

## C.2 LEGUMINOSAS

### C.2.1 PRODUCCION MUNDIAL

La Tabla 1.2 muestra la superficie sembrada, rendimiento y producción mundial de soja en el período 2003/04.

**Tabla1.2 Superficie sembrada, rendimiento y producción mundial en el período 2003/04 para soja.**

	Año 2003/04
Superficie cultivada (ha)	83.600.000
Rendimiento (qq/ha)	22
Producción (t)	190.000.000

(Fuente: Elaboración propia según datos FAO)

### C.2.2 MERCOSUR

La producción del MERCOSUR es de 88.17 millones ton, lo que representa el 46.40% del total mundial. Hacia dentro del Mercado Común, 49.7 millones de toneladas se



producen en Brasil; 32 millones de toneladas en Argentina; 4 millones en Paraguay (50% transgénicos); 1.95 millones en Bolivia y 0.52 millones en Uruguay (47).

### C.2.3 SITUACIÓN EN ARGENTINA

**Producción Primaria (Campaña 2003/2004).** La Superficie ocupada con soja fue de 14.5 millones de ha, con una producción de 31.5 millones de t y un rendimiento promedio de 22.1 qq/ha, superando levemente el promedio mundial. En la región Pampeana se concentra el 83.68% del área sojera, mientras que las provincias extra pampeanas representan el 16.32% del área destinada a esta oleaginosa. Campaña 2004/2005: Según la Dirección de Coordinación de Delegaciones de la SAGPyA, las estimaciones agrícolas de la SAGPyA al 11 de febrero de 2005, para la campaña 2004/05, indican que la superficie que se implantará con soja alcanzará las 14,2 millones de hectáreas, mostrando una caída del área implantada con respecto a la campaña anterior de -2.1%, esto debido a las condiciones económicas que presentará el cultivo de soja, caracterizada por una baja importante en el precio del producto a cosecha, sumada a la falta de recarga hídrica en el norte argentino y la perspectiva de no incremento en la zona núcleo. Para esta estimación, contribuye la caída de área pronosticada para La Pampa, Córdoba, Chaco y Santiago del Estero, la cual no es compensada por el incremento que se produciría en Entre Ríos y provincias extrapampeanas, a lo que se suma el crecimiento nulo en Buenos Aires y Santa Fe. De continuar las condiciones del clima en la forma benigna actual, se puede pronosticar una producción que oscilará entre 36 y 38 millones de toneladas.

**Acopio:** a la ya mencionada capacidad de acopio debemos agregar que Aceitera General Deheza SAIC junto a sus controladas Niza, Aceitera Chabás y el 50% de Terminal 6, tiene hoy la mejor infraestructura logística del país, con 28 plantas de acopio que le permiten almacenar 2,75 millones de toneladas de granos (47).

## ESTRUCTURA DE LOS GRANOS

### A. CEREALES

El grano de los cereales es un fruto monocárpico, seco e indehiscente con una sola semilla, llamado cariopse, en el cual el tegumento o testa del fruto se encuentra adherido a la semilla (Figura 1.1). Mientras el fruto madura, el pericarpio (paredes del fruto) se adhiere fuertemente al tegumento. El pericarpio, las envolturas del grano y las células de aleurona forman lo que industrialmente se conoce como salvado o afrecho (Figura 1. 1).

La fertilización del óvulo da lugar a dos tejidos diferentes, el embrión y el endosperma. El endosperma (albumen) ocupa el 80 – 90 % del peso del grano en madurez y representa el principal tejido de almacenaje de almidón y proteína. En cambio, el embrión, representa un pequeño porcentaje del peso seco total del grano (menos del 2 %) (38). Se diferencia con un eje embrionario (que posteriormente da lugar a la plántula) y un solo cotiledón (escutelón), que contiene algunas reservas pero que también funciona como fuente de enzimas para la digestión del almidón y las proteínas del endosperma durante la germinación.

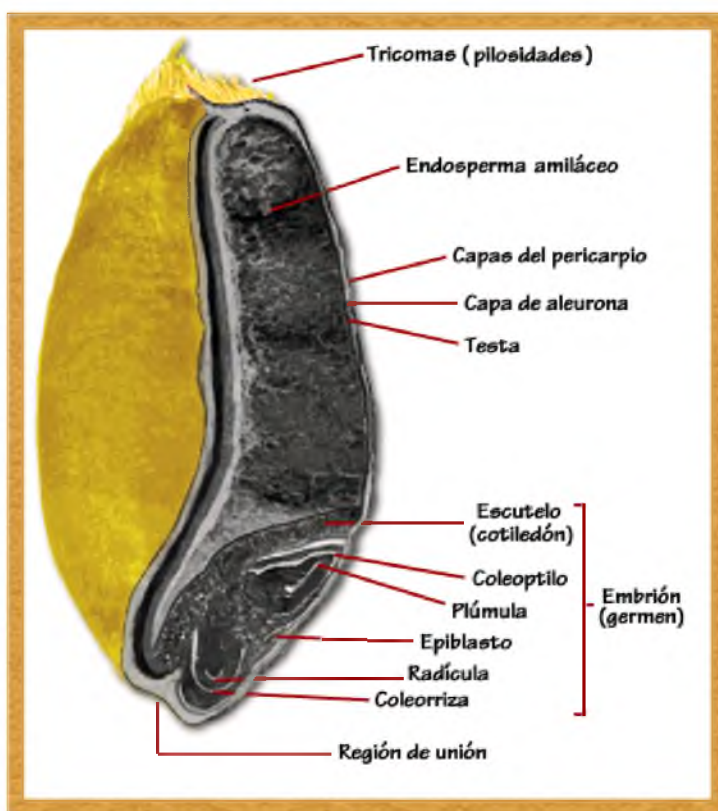


Figura1.1 Estructura de un grano de trigo. Tomado de [www.trigopan.com.ar](http://www.trigopan.com.ar)

Las distintas proporciones que conforman las partes principales de los granos en los cereales más importantes se pueden observar en la Tabla 1.3, existiendo variabilidad genética en el rango de peso de los granos y en menor medida en la proporción de cada parte respecto al peso final de los granos.

El endosperma está conformado por gránulos de almidón insertados en una matriz proteica. Existen diferentes tipos de gránulos que difieren principalmente en forma, tamaño y momento de aparición (51).

**Tabla 1.3 Proporciones de las distintas partes que componen los granos de los cereales.**

Especie	Peso (mg)	Embrión (%)	Escutelo (%)	Pericarpio (%)	Endosperma (%)
Trigo	25-45	1,5	1-2	8-10	80-85
Maíz	150-350	1,5	5-7	6-8	80-82
Cebada	30-50	1,5-2,0	1-2	10-15	80-85
Arroz	23-27	2,0-2,5	1-2	2-4	80-85

(Fuente: Aguirrezábal L. A. N et al, 1998; Egli, D. B 1998 y Simmonds, D.H. 1989).

Una de las características más importantes del endosperma es la textura que usualmente se describe como dura o blanda. Principalmente se refiere a propiedades de la molienda según la resistencia del grano a transformarse en partículas de harina. Cuanto mayor es la dureza de un endosperma mayor es la fuerza requerida al moler. Los endospermas duros se separan fácilmente del pericarpio, produciendo mayores rendimientos en harina con menores contenidos de contaminación (menor cantidad de cenizas). En los endospermas duros el almidón y las proteínas se encuentran fuertemente ligados mientras que lo están sólo débilmente en los endospermas blandos (43).

## **B. LEGUMINOSAS**

El fruto de las leguminosas es monocárpico, seco y dehiscente, tipo vaina denominada legumbre y contiene de tres a cuatro semillas. La semilla se encuentra formada por el embrión rodeado por un tegumento o testa (Figura 1.2). El embrión posee dos cotiledones que contienen los materiales de reserva de la semilla y representan alrededor del 90 % del peso seco total. El grano de soja pesa entre 100 y 400 mg, dependiendo del genotipo y de las condiciones ambientales. (29).

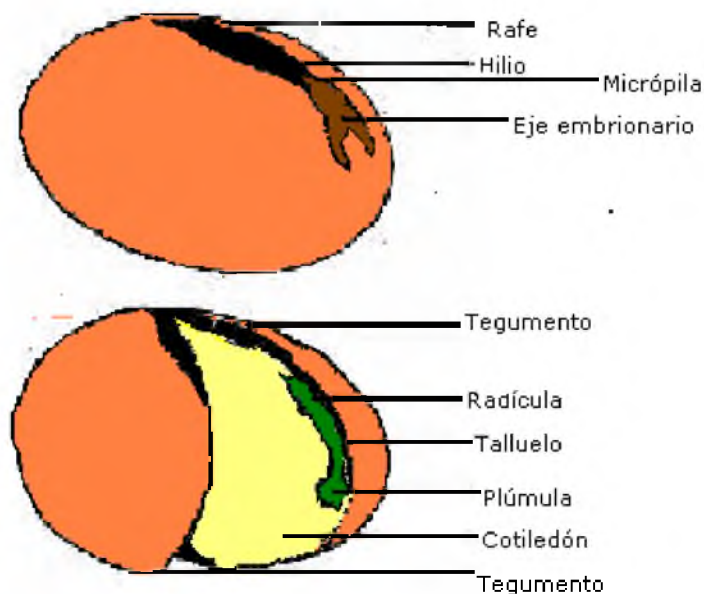


Figura 1.2 Semilla de soja. (Tomado de Casini, 2005 y modificado según Dos Santos Lara, 1969).

Respecto a la composición de la soja, la semilla o grano comprende tres partes principales: a) envoltura, cáscara o tegumento, b) cotiledones y c) talluelo, compuesto en ambos extremos por la plúmula y la radícula (34).

La cáscara comprende 4-5 capas superpuestas de células diferentes. Los cotiledones, células alargadas llenas de cuerpos proteicos rodeados por numerosos esferosomas de aceite. Los cuerpos proteicos son esferas de diámetro 2-10  $\mu\text{m}$ , que resisten la trituration moderada y pueden aislarse a partir de harina. Contienen la mayor parte de las proteínas del grano (proteínas de reserva) que se hidrolizan por la acción de proteasas durante la germinación y sirven de sustrato para el crecimiento del embrión. Las otras proteínas (estructurales y del metabolismo celular) se localizan en el resto de la célula.

Por otra parte, los esferosomas son pequeñas esferas de 0,1-0,5  $\mu\text{m}$  de diámetro. Contienen aceite compuesto mayoritariamente por triglicéridos y en menor proporción fosfolípidos. Están dispersos entre los cuerpos proteicos y se caracterizan por el alto grado de insaturación de los ácidos grasos que los componen: linoleico (18:2) 50-55%, linolénico (18:3) 6-9%.

Tanto los cuerpos proteicos, los esferosomas, como la pared celular son compartimentos bien diferenciados dentro de los cotiledones.

La composición media de los cotiledones (muy similar a la del grano entero) es: 43% proteínas, 23% lípidos, 29% hidratos de carbono y 5.9% cenizas (86).

## COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS GRANOS

### A. CEREALES

Los principales constituyentes de los cereales son muy uniformes (Tabla 1.4). Variaciones notables son, sin embargo, el elevado contenido de lípidos en la avena y el bajo contenido en almidón de avena, cebada y centeno. En vez de almidón, en estos cereales está aumentada la fracción de "otros carbohidratos" que consisten principalmente en polisacáridos no amiláceos. Estos cereales también difieren en el contenido de vitaminas del grupo B (Tabla 1.4). El valor biológico de estos vegetales no es completo, son deficitarios en los aminoácidos lisina y treonina.

Las cubiertas de los frutos y las semillas envuelven el tejido nutritivo, el endospermo, y el germen del grano (Fig. 1.1). Botánicamente, el endospermo está formado por el endospermo amiláceo (70 a 80 % del grano; Tabla 1.3) y la capa de aleurona (Fig. 1.1) que, con excepción de la cebada, es una monocapa. Para el grano de trigo, la capa de aleurona es rica en proteínas y contiene grandes cantidades de lípidos, enzimas y vitaminas (Tabla 1.5 y 1.6).

**Tabla 1.4 Composición química de los cereales (valores medios)**

	Trigo	Centeno	Maíz	Cebada	Avena	Arroz	Mijo
	% en peso						
Agua	13,2	13,7	12,5	11,7	13,0	13,1	12,1
Proteína	11,7	11,6	9,2	10,6	12,6	7,4	10,6
Lípidos	2,2	1,7	3,8	2,1	5,7	2,4	4,05
Almidón	59,2	52,4	62,6	52,2	40,1	70,4	64,4
Otros Carbohidratos	10,1	16,6	8,4	19,6	22,8	5,0	6,3
Fibra bruta	2,0	2,1	2,15	1,55	1,56	0,67	1,1
Minerales	1,5	1,9	1,3	2,25	2,85	1,2	1,6
	mg/kg						
Tiamina	5,5	4,4	4,6	5,7	7,0	3,4	4,6
Niacina	63,6	15,0	26,6	64,5	17,8	54,1	48,4
Riboflavina	1,3	1,8	1,3	2,2	1,8	0,55	1,5
Acido Pantoténico	13,6	7,7	5,9	7,3	14,5	7,0	12,5

(Fuente: BELITZ, H.D. et al. 1992)

Las proteínas de la aleurona de trigo, de las cuales la mitad son hidrosolubles, carecen de influencia sobre las propiedades panificables del trigo. Para ellas son decisivas las proteínas que se encuentran en las células de pared fina del endospermo amiláceo junto con su principal componente, el almidón, disminuyendo su concentración junto con la de otros componentes (vitaminas, minerales) de afuera hacia adentro. El embrión o germen se une al endospermo a través del escutelo. Es rico en enzimas y lípidos (Tabla 1.5). De la Tabla 1.6 se deduce que al moler el trigo, la separación del germen y el salvado, que comprende además de las cubiertas del grano la mayor parte de la capa de aleurona, supone una gran pérdida de vitaminas del grupo B y de minerales. (76). En la Tabla 1.7 se detallan las proporciones de minerales y vitaminas del grano de trigo, donde se aprecia la abundancia de minerales en las capas aleurónicas, la riqueza en vitamina B1 (Tiamina) en el germen, de vitamina B3 (Niacina) en la capa de aleurona y de vitamina B2 (Riboflavina) y vitamina B5 (Ac. Pantoténico) en el endospermo (12).

**Tabla 1.5 Composición química (valores medios) de las partes del grano de trigo (% en peso referido a la materia seca).**

	Cenizas	Proteína	Lípidos	Fibra bruta	Celulosa	Pentosanos	Almidón
Células longitudinales	1,3	3,9	1,0	27,7	32,1	50,1	-
Células suberosas y tegumentosas	10,6	10,7	0,5	20,7	22,9	38,9	-
Pericarpio	3,4	6,9	0,8	23,9	27,0	46,6	-
Células aleurónica	10,9	31,7	9,1	6,6	5,3	28,3	-
Germen	5,8	34,0	27,6	2,4	-	-	-
Endospermo farináceo	0,6	12,6	1,6	0,3	0,3	3,3	80,4

(Fuente: BELITZ, H.D.et al. 1992)

**Tabla 1.6 Proporción de minerales y vitaminas (%) en las fracciones del grano de trigo.**

Fracción	Mine- rales	Tiamina B1	Riboflavin a B2	Niacina B3	Piridoxina B6	Ac.Pantoténic o B5
Cubiertas	7	1	5	4	12	9
Germen	12	64	26	2	21	7
Capa de aleurona	61	32	37	82	61	41
Endospermo	20	3	32	12	6	43

(Fuente: BELITZ, H.D.et al. 1992)

## A.1 CARBOHIDRATOS

El almidón es el carbohidrato más importante en todos los cereales, constituyendo aproximadamente el 64 % de la materia seca del grano completo de trigo y un 70 % de su endospermo (51).

El grano de almidón esta formado por dos componentes principales: amilasa, un polímero esencialmente lineal de  $\alpha$ -(1,4) glucosa; y amilopectina, una estructura ramificada al azar de cadenas  $\alpha$ -(1,4) glucosa unidas por ramificaciones  $\alpha$ -(1,6)(constituyendo estas últimas un 4 % de los enlaces entre unidades).

La cantidad de amilosa en el almidón de los genotipos corrientes del cereal es de 25-27 %. En las variedades llamadas “céreas” de cebada, maíz, arroz y sorgo, el almidón está formado exclusivamente por amilopectina. Las moléculas de amilosa pueden contener hasta 5.000 unidades de glucosa; la amilopectina tiene de 18 a 20 mil unidades en la cadena unidad y puede contener hasta  $10^6$  unidades de glucosa en cada molécula.

La celulosa y hemicelulosa (pentosanas), son los principales constituyentes de la pared celular de los granos de cereal, y junto con la lignina constituyen el grueso de la “fibra cruda”. La celulosa es un polímero de la glucosa con la misma fórmula empírica que el almidón, pero con la unión  $\beta$  mucho más estable. El contenido en fibra cruda del grano completo de trigo es de un 2 %, en el endospermo está el 0,1 %, y en el salvado en 9-13,5 % según el grado de extracción.

*Pentosanas.* Un 75 % de la pared de las células del endospermo de trigo, está formado por pentosanas, principalmente al estado de arabinoxilana (56). Las pentosanas

son azúcares de polímeros pentosas, tales como arabinosa y xilosa. La harina de centeno contiene un 6-8 % de pentosanas que son importantes a causa de su capacidad para unirse al agua. La avena contiene pentosanas y una poliglucosana que es soluble en agua caliente dando una solución viscosa. La poliglucosana de la avena se parece a la de la cebada y a la liquenina del liquen de Islandia; esta fracción es responsable de alguna de las propiedades gelificantes de los productos cocinados con harina de avena. Letzig (1951) encontró un 3,5 % de liquenina en las semillas de avena.

*Azúcares.* La riqueza de los granos de cereal en azúcar libre es de 1-3 %, abundando la sacarosa. Los oligosacáridos de la harina de trigo y de centeno son: maltotriosa, tetrosa y pentosa, que dan glucosa por hidrólisis. También están presentes en las harinas las dextrinas, compuestos intermedios entre el almidón y los azúcares (46).

## A.2 LIPIDOS

El contenido lipídico del trigo, cebada, centeno, triticale, arroz y los mijos *finger, japonés y kodo* es de 1-3 %; el de sorgo 3.4 %, el de maíz, avena completa y los mijos *perlas, proso* es de 4- 6%. Como el pericarpio de la avena contiene cantidades despreciables de lípidos, la riqueza lipídica de la semilla de avena es todavía mayor, del orden de 5-10 % (51).

En el trigo, el germen tiene 6-11% de lípidos, el salvado 3-4 % y el endospermo 0,8-1,5 %. En el maíz, el germen es todavía más rico en lípidos, contiene 35 %, pero el salvado es más pobre, tiene un 1 %.

*Ácidos grasos.* Los lípidos de los cereales son triglicéridos de ácidos grasos. Los ácidos grasos saturados constituyen el 11-26 %, los insaturados 72-85 %. El arroz y la avena son particularmente ricos en ácido oleico, el centeno en linoleico, la cebada de seis carreras en linolénico. Los ácidos linoleico (omega 6) y alfa-linolénico (omega 3) son esenciales para los animales.

*Fosfolípidos.* Los cereales también contienen fosfolípidos. Ejemplo de ello es la lecitina, compuesta por una molécula de glicerol combinada con dos ácidos grasos y una de ácido fosfórico, el cual a su vez, está unido a la colina. La grasa de los cereales contiene hasta un 4 % de fosfolípidos (51).

## A3. PROTEINAS

El contenido proteico de los cereales es importante por dos motivos: en primer lugar la proteína es un nutriente valioso en nuestra dieta porque contiene aminoácidos esenciales, por lo que el tipo y calidad de proteína es importante desde el punto de vista de la nutrición;



en segundo lugar, la cantidad y tipo de proteína es importante desde el punto de vista funcional en la utilización de la harina, y por esto, el contenido proteico es probablemente el factor más importante en la calidad de la harina (46).

Las proteínas de las diferentes harinas de los cereales varían en su composición aminoacídica. El contenido en lisina de todos los cereales es bajo y también el de metionina, especialmente en trigo, centeno, cebada avena y maíz comparados con las proteínas de la carne, los huevos y la leche. (49).

En 1907, *T.B. Osborne* separó las proteínas del trigo en cuatro fracciones en función de sus solubilidades, extrayendo sucesivamente de una muestra de harina las *albúminas* con agua, las *globulinas* con una disolución salina (por ej., NaCl 0,4 mol/L) y las *prolaminas* con etanol acuoso al 70 %. Las *glutelinas* quedan en el residuo de harina. Pueden seguir separándose en dos subfracciones disolviendo las proteínas que quedan en el residuo por reducción de los puentes disulfuro por ejemplo con ditioeritritol a 60 °C en 1-propanol acuoso al 50 %. Aumentando la concentración de propanol a 60 % precipitan las subunidades de elevado peso molecular (HMW), quedando en disolución las de bajo peso molecular (LMW). (12).

Las albúminas y globulinas derivan probablemente de los residuos citoplasmáticos y de otras fracciones subcelulares que toman parte en la génesis del grano. También existen enzimas en las dos primeras fracciones de *Osborne* siendo éstas proteínas activas. Prolaminas y Gluteninas son proteínas de reserva.

Los distintos cereales contienen niveles diferentes de las mencionadas fracciones de Osborne (Tabla 1.7).

**Tabla 1.7 Reparto de las fracciones de Osborne en las proteínas de los cereales (%)**

Fracción	Trigo	Centeno	Cebada	Avena	Arroz	Mijo	Maíz
Albúmina	14,7	44,4	12,1	20,2	10,8	18,2	4,0
Globulina	7,0	10,2	8,4	11,9	9,7	6,1	2,8
Prolamina	32,6	20,9	25,0	14,0	2,2	33,9	47,9
Glutenina	45,7	24,5	54,5	53,9	77,3	41,8	45,3

(Fuente: Belitz, H. D. et al 1992)

#### **A.4 POSICIÓN ESPECIAL DEL TRIGO: FORMACIÓN DEL GLUTEN**

Solamente con la harina de trigo al añadir agua se forma una masa viscoelástica cohesiva que se puede trabajar (amasar). El principal responsable de dicha estabilidad es el

gluten que se forma durante el amasado, que se aísla como residuo si se lava la masa con agua eliminándose así el almidón y los componentes solubles (12).

El gluten está formado por un 90 % de proteínas, además de lípidos (8%) y de carbohidratos (2 %). Estos últimos son principalmente pentosanos solubles e insolubles que fijan una cantidad considerable de agua. Los lípidos se asocian con determinadas proteínas del gluten formando lipoproteínas. Además en el gluten se encuentran enzimas (proteinasas y lipooxigenasas). La composición proteica del gluten consiste principalmente en prolaminas (gliadinas en trigo) y glutelinas (gluteninas en trigo) y proteínas del residuo proteico (estas últimas son las que permanecen insolubles después de haber extraído las demás). Las gliadinas le confieren extensibilidad, mientras que las gluteninas y las proteínas del residuo le confieren elasticidad a la masa. Tales propiedades reológicas confieren a la masa la capacidad de retener gas durante la fermentación (esponjamiento) y dan un producto que después de horneado es poroso y esponjoso con una corteza elástica (74).

## **A.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROTEINAS DE RESERVA EN EL TRIGO**

### **A.5.1 Composición de aminoácidos**

La composición de aminoácidos de las fracciones de gliadinas y gluteninas muestra algunas similitudes, aunque hay ciertas diferencias entre ambas. Se acepta generalmente que en las proteínas de reserva del trigo 1/3 o más de sus residuos aminoacídicos corresponden a restos de glutamina, y 1/7 o más a residuos de prolina. Una proporción de glutámico está como glutamina, y la mayor parte del aspártico está como asparagina. Esto, junto con los contenidos relativamente bajos de aminoácidos básicos, ha hecho que algunos autores consideren a ciertas gliadinas dentro de las proteínas conocidas menos cargadas (50).

Los homopolipéptidos sintéticos de glutamina forman estructuras que son estables en condiciones muy severas (52), debido al gran número de puentes de hidrógeno que se pueden formar. Hay observaciones que sugieren que los puentes de hidrógeno juegan un papel importante en las interacciones entre las proteínas del trigo. Además, la presencia de niveles relativamente altos de aminoácidos con cadenas laterales hidrofóbicas indica que hay también una alta proporción importante de estas interacciones en las proteínas (74).

### **A.5.2 Gliadinas**

Las gliadinas comprenden un grupo heterogéneo de proteínas, que se clasifican por su movilidad electroforética en geles con buffer lactato de aluminio, en *gliadinas*  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\omega$  (93).

Casi todos sus restos de glutámico están como glutamina que provee una fuente de nitrógeno que puede ser fácilmente utilizada por la semilla en germinación. Las gliadinas tienen también altos contenidos en prolina (entre el 15 al 30 % de los restos aminoácidos). La presencia de prolina facilita el plegamiento de las cadenas polipeptídicas, que en estas proteínas adoptan conformaciones de tipo globular (94).

Las gliadinas están presentes en el gluten o en la harina en forma monomolecular, y la evidencia disponible sugiere que tienen estructuras algo simétricas, compactas, que están estabilizadas por puentes disulfuro intramoleculares. En general, contienen una importante proporción en estructura  $\alpha$ -hélice (94) (aproximadamente el 35 % de la estructura de algunas  $\alpha$ -gliadinas es  $\alpha$ -hélice) y cantidades menores (10%) de estructura  $\beta$ -plegada. Las  $\omega$ -gliadinas son ricas en una estructura llamada giros- $\beta$ , y parecen no tener estructura en  $\alpha$ -hélice o en  $\beta$ -plegada, mientras que las  $\alpha$ -gliadinas, y probablemente en las  $\beta$ - e  $\gamma$ -gliadinas, los giros- $\beta$  están concentrados en dominios específicos. (80).

Los pesos moleculares de la mayoría de las gliadinas caen en el rango de 30 a 45 kDa (18). Las  $\omega$ -gliadinas, sin embargo, tienen pesos moleculares mucho mayores, como 75 y 79 kDa, y son además deficientes en aminoácidos sulfurados por lo que no tienen, o tienen muy pocos, puentes disulfuro intramoleculares (17).

### A.5.3 Gluteninas

En general se considera que las gluteninas son complejos de alto peso molecular formados por subunidades unidas por puentes disulfuro (50), aunque hay otros modelos propuestos para esta estructura. El peso molecular de estos complejos va de 50 a varios miles de kDa (50). Además de los puentes disulfuro, los enlaces no covalentes tienen una considerable importancia en las interacciones entre subunidades de gluteninas, y entre gluteninas y gliadinas y otras proteínas de trigo. (74).

Las subunidades de proteínas tienen pesos moleculares entre 11 y 133 kDa, determinados por electroforesis en geles de poliacrilamida con dodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE) (18). Aunque las gliadinas y la mayor parte de las glutelinas reducidas tienen pesos moleculares similares (65), y frecuentemente su composición de aminoácidos es similar, pueden tener secuencias parciales idénticas de restos aminoácidos en sus cadenas polipeptídicas (37), debe haber diferencias significativas entre estas dos fracciones ya que tienen estructuras diferentes. Las diferencias en la estructura primaria darían a las gluteninas una estructura plegada más laxa y una tendencia a formar puentes disulfuro intermoleculares, en contraste con las gliadinas que poseen puentes disulfuro intramoleculares y estructuras estrechamente plegadas (50). Se ha propuesto que el entrecruzamiento de las subunidades de glutenina es limitado dando principalmente

polímeros lineales. La formación de estos agregados de subunidades proteicas explica la viscoelasticidad de las gluteninas, debido a las fuertes interacciones que habría entre ellos. La gran cantidad de glutaminas en las proteínas de almacenamiento hacen que necesariamente muchos de estos residuos estén en la superficie de las subunidades, haciéndolas pegajosas debido a su capacidad de formar puentes de hidrógeno. Habría también interacciones hidrofóbicas e iónicas (50).

Las subunidades de gluteninas de alto peso molecular tienen, en su dominio central, una estructura del tipo giro- $\beta$ , que está regularmente distribuída, reflejando una secuencia de restos de aminoácidos regular. Los dominios N- y C- terminales de estas subunidades probablemente tengan una estructura de  $\alpha$ -hélice, y contienen los únicos residuos de cisteína detectados en estas proteínas. En esta referencia sus autores proponen, además, que estas subunidades son los principales componentes elásticos del gluten. Los giros- $\beta$  repetidos en el dominio central forman una espiral elástica, y estos monómeros elásticos estarían ensamblados en polímeros de gluten por puentes disulfuro intermoleculares entre los residuos de cisteína de los dominios de la  $\alpha$ -hélice cercanos a los extremos N- y C-terminales (80).

## **A.6 ENZIMAS DEL TRIGO**

De las enzimas presentes en el grano de trigo, sólo expondré las que poseen una participación importante en la evaluación de la calidad en la poscosecha: las amilasas, que si bien son dos ( $\alpha$  y  $\beta$ ), la más decisiva es la alfa amilasa.

La  $\alpha$ -amilasa (EC N° 3.2.1.1), que pertenece a la categoría de las hidrolasas y dentro de ellas a las carbohidrasas, es decir que cortan los enlaces C-O de los polisacáridos tales como el almidón, glucógeno y otros 1,4  $\alpha$ -glucanos. Más precisamente cortan al azar los enlaces  $\alpha$ -1,4 glicosídicos. Liberándose oligosacáridos de 6-7 unidades de glucosa. Es activada por los iones  $\text{Ca}^{2+}$  (71).

La viscosidad de una solución de almidón disminuye rápidamente ante la hidrólisis efectuada por la  $\alpha$ -amilasa (licuefacción del almidón), y la coloración por adición de yodo desaparece. Las dextrinas producidas en un primer momento son posteriormente hidrolizadas si se continúa la incubación, y como producto final aparecen azúcares reductores, fundamentalmente  $\alpha$ -maltosa. La actividad de la enzima decrece rápidamente con el menor grado de polimerización del sustrato (12).

En los granos maduros la actividad alfa amilasa es mínima, en tanto aumenta de modo abrupto en la germinación. Como todas las enzimas, se inactiva con el calor, empleándose el ensayo del índice de caída para medir la actividad de esta enzima en el grano y en las harinas (12).

## B. LEGUMINOSAS

A diferencia de los cereales, la composición química de las leguminosas es más heterogénea (Tabla 1.8). Hay dos leguminosas, soja y maní, que poseen una proporción alta de proteínas y lípidos, comparadas con el resto en las que predominan los carbohidratos. El valor biológico de estos vegetales no es completo, siendo en general deficitarios en el aminoácido esencial metionina (19).

Algunas leguminosas poseen sustancias tóxicas (por ej., glucósidos cianogénicos y aminoácidos no proteicos) y factores antinutritivos (inhibidores de las proteinasas, lectinas), los cuales constituyen un impedimento para su consumo directo siendo preciso recurrir a técnicas de tratamientos térmicos adecuados a los fines de eliminarlos. (12).

**Tabla 1.8. Composición química de las leguminosas (base seca)**

Nombre	Nombre botánico	Proteína Bruta (%)	Lípidos (%)	Carbo-Hidratos (%)	Fibra Bruta (%)	Sustancias Minerales (%)
Soja	<i>Glycine max.</i>	39,0	19,6	35,5	4,7	5,5
Maní	<i>Arachis hipogaea</i>	24,8	47,9	24,6	3,1	2,7
Poroto	<i>Phaseolus vulgaris</i>	25,7	1,6	68,6	1,6	3,0
Arveja	<i>Pisum sativum</i>	24,1	1,8	65,2	4,5	4,4
Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i>	22,7	5,0	66,3	3,0	3,0
Haba	<i>Vicia faba</i>	26,7	2,3	64,0	7,2	3,6
Lenteja	<i>Lens culinaris</i>	28,6	0,8	67,3	0,8	2,4

(Fuente: Belitz, H. D. et al 1988)

### B.1 CARBOHIDRATOS

El almidón que está presente en una proporción de 75-80 % es el carbohidrato predominante en las legumbres. La presencia de almidón en la soja no es segura, se han

encontrado arabinosilanos y galactanos (3,6 % y 2,3 %, respectivamente. En el maní un tercio de los carbohidratos es almidón (12).

Los oligosacáridos son más abundantes en las legumbres que en los cereales, siendo los principales sacarosa, rafinosa, estaquiosa y verbascosa. En la soja la sacarosa está en el orden de 4,5 %, la rafinosa, 1,1 % y la estaquiosa 3,7 %. Los oligosacáridos y pentosanos son causantes de la flatulencia cuando se ingieren legumbres, porque los microorganismos del intestino los hidrolizan con formación de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>.

El 5,5% de fibra cruda (fracción de la fibra dietaria resistente a la hidrólisis ácida y alcalina) consiste primariamente en lignina, celulosa y hemicelulosa (arabinogalactanos). La cáscara de la soja contiene la mayoría (87%) de la fibra dietaria del grano (87).

## B.2 LIPIDOS

Los triglicéridos también predominan en la fracción lipídica de las leguminosas. El aceite de soja ocupa actualmente el primer lugar en la producción mundial de aceites vegetales comestibles. El grano de soja contiene de 18 a 23 % de TG, con una composición media en ácidos grasos de 15 % de ácidos grasos saturados (esteárico, palmítico, aráquico, behénico) y un 75 % de ácidos grasos insaturados de los cuales el 21 % es el oleico, el 53 % es el linoleico (omega-6) y el 8 % es el linolénico (omega-3). A diferencia de todos los otros aceites comestibles, el de soja contiene los dos ácidos grasos esenciales, linoleico (omega 6) y linolénico (omega 3) justo en la proporción que deben estar en la dieta (6:1, respectivamente). Los demás aceites comestibles contienen sólo omega 6 (linoleico, 18:2, 9-12). La carencia de omega 3 (linolénico, 18:3, 9-12-15) en la dieta humana causa trastornos de crecimiento, cambios en la piel, alteraciones inmunológicas, neurológicas y cardíacas (84).

Este aceite también contiene pequeñas cantidades de ácidos grasos furánicos (de 120 a 170 mg/kg), que se oxidan muy deprisa por acción de la luz. Dos de estos ácidos grasos, cuyas estructuras difieren sólo en la longitud del extremo carboxilo, dan lugar a una reacción secundaria con el oxígeno singulete formándose la 3-metil-2,4-nonadiona, compuesto de aroma intenso, que participa de modo decisivo en un aroma extraño (*a heno*), que se conoce como *sabor a reversión*. En ausencia completa de luz, el aceite de soja es estable. La hidrogenación parcial hasta una zona de fusión de 22- 28 °C mejora la estabilidad frente a la oxidación (12).

El índice de yodo del aceite de soja oscila entre 125 y 140. Permanece líquido en un amplio rango de temperaturas y puede ser hidrogenado parcialmente (disminución del ácido linolénico a menos del 3 %). Durante la refinación química, las "gomas" recuperadas en el proceso de desgomado son fuente de la lecitina comercial, constituida por una mezcla

de fosfolípidos tales como fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina y fosfatidilinositol, fundamentalmente (12). La presencia de antioxidantes naturales (tocoferoles), que no son completamente eliminados en la refinación, también contribuye a su estabilidad (84).

### B.3 PROTEINAS (SOJA)

Aproximadamente el 80 % de las proteínas de la soja se extraen a pH 6,8, la mayor parte de las cuales se reprecipitan por acidificación a pH 4,5. Esa dependencia de la solubilidad respecto al pH se utiliza para la obtención industrial de las proteínas de soja (12).

El fraccionamiento de las proteínas de las legumbres en función de la solubilidad con el procedimiento de *T.B. Osborne* utilizado en cereales, conduce sólo a tres fracciones: albúminas, globulinas y gluteninas, de las que predominan las segundas (Tabla 1.9) (19).

**Tabla 1.9 Reparto de las fracciones de Osborne en las proteínas de las leguminosas.**

	Soja	Maní	Guisantes	Arvejas	Habas
Albúminas	10	15	21	4	20
Globulinas	90	70	66	67	60
Gluteninas	0	10	12	29	15

(Fuente: (Belitz, H.D. p 799, 1992)

El elevado contenido de globulinas en la semilla indica que su función es principalmente como reserva, que se movilizan durante la etapa de germinación.

El fraccionamiento y caracterización de las proteínas de soja se puede realizar por ultracentrifugación, cromatografía de exclusión molecular, precipitación fraccionada o electroforesis en geles de poliacrilamida. Por ultracentrifugación en gradientes de sacarosa se clasifican en 4 fracciones: 2S, 7S, 11S y 15S. La fracción 2S, 20% del total de proteínas, está compuesta por inhibidores de tripsina, citocromo c, a-conglicina y proteasas. La 7S, 35% del total, son lectinas (o hemaglutinina), lipoxigenasas, amilasas, y b- y g-conglicinas. La fracción 11S, es mayoritaria con 35%, es la glicina; y la 15S son polímeros de esta última (86).

En la Tabla 1.10 se indican los pesos moleculares y los coeficientes de sedimentación, medidos en unidades *svedberg* (S) de las fracciones 7S y 11S. Las globulinas 11S y 7S fueron mejor estudiadas, por ello se hará un breve comentario de las mismas (12).

**Tabla 1. 10 Coeficientes de sedimentación y pesos moleculares en las globulinas 7S y 11S de leguminosas.**

Leguminosas	Globulinas 7S		Globulinas 11S	
	Coeficiente de sedimentación (S)	Peso molecular (kDa)	Coeficiente de sedimentación (S)	Peso molecular (kDa)
Soja	7,9	193	12,3	360
Maní	8,7	190	13,2	340
Poroto	8,1		13,1	398
Arveja	7,6	140	11,6	340
Haba	7,1	150	11,4	328

(Fuente: (Belitz, H.D. p 799, 1992)

Las globulinas 11S están formadas por protómeros de aproximadamente 60 kDa, que por escisión del enlace peptídico entre Asn (417) y Gly (418) da lugar a un polipéptido  $\alpha$  ácido ( $pI \approx 5$ ) y a un polipéptido  $\beta$  básico ( $pI \approx 8,2$ ) unidos por un puente disulfuro entre Cys (92) y Cys (424) y que se determinan juntos como una unidad (ver Anexo 1). Seis de estas unidades forman una globulina 11S, formando al parecer los polipéptidos  $\beta$  hidrófobos el núcleo de las subunidades y de la estructura global. Se sabe poco acerca de las estructuras terciaria y cuaternaria (12). Ambas son proteínas solubles a pH mayor que 8 y precipitables a pH 4,5 (pH isoelectrico 4.2-4.8), de alto peso molecular ( $>2.105$  kDa) y escasas en número pero mayoritarias en grano maduro, tienen bajo contenido en metionina y cisteína y están localizadas en cuerpos proteicos. (10).

Existen homologías entre las globulinas 11S de diferentes leguminosas. Las regiones variables se encuentran sobre todo en el polipéptido  $\alpha$  ácido, mientras que el polipéptido  $\beta$  básico es más conservativo, con una cierta variabilidad en la región C Terminal. El punto de escisión  $\alpha/\beta$  se conserva en todas las proteínas estudiadas hasta ahora. Las globulinas 11S, con algunas excepciones, no están glicosiladas.

Las globulinas 7S están formadas por tres protómeros de aproximadamente 50 kDa, que pueden ser idénticos o diferentes (formas homo y heteropoliméricas). Las subunidades constan de hasta tres polipéptidos ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ), como las secuencias aminoacídicas de los puntos de escisión  $\alpha/\beta$  (239/240) y  $\beta/\gamma$  (367/377) son variables (ver Anexo 2), al contrario que en las subunidades de las globulinas 11S, se observan subunidades intactas y subunidades con un único enlace escindido. Así, el enlace entre Asn (376) y Asp (377) de la vicilina 47 kDa se



escinde, pero los enlaces ED (E = Glu) correspondientes de otras vicilinas parece que no. (12).

Se conocen las secuencias aminoacídicas de las subunidades 7S de una serie de leguminosas y se dedujeron principalmente de las secuencias nucleotídicas de los ácidos nucleicos codificantes. El Anexo 2 reúne a modo de ejemplo las secuencias de las faseolinas de las arvejas (*Pisum sativum*) y de la  $\beta$ -conglucina ( $\beta$ ) de la soja (*Glycine max*). Las homologías entre las proteínas de distintas leguminosas son más extendidas que el caso de las globulinas 11S. Los dominios variables se encuentran en las regiones N y C-terminales.

Las globulinas 7S se encuentran glicosiladas. La fracción carbohidratada representa 2,7 a 5,4 % de la  $\beta$ -conglucina de la soja. Las estructuras de los restos de oligosacáridos se conocen parcialmente. En la  $\beta$ -conglucina existen 6-8 restos de manosa con estructura ramificada ligados por dos restos N-acetilglucosamino a la Asn (12).

Las globulinas 7S y 11S muestran una tendencia, fuertemente dependiente del pH y de la fuerza iónica, a la disociación/asociación reversible en condiciones no desnaturizantes. Las globulinas 11S son más estables que las 7S porque sólo se asocian en torno al punto isoeléctrico, en el cual se produce una precipitación isoeléctrica a fuerza iónica baja. En disoluciones salinas 10 % la globulina 7S coagula a 99 °C, la globulina 11S permanece en solución.

Las proteínas de la soja muestran una amplia capacidad para formar geles. Son adecuadas para preparar espumas y emulsiones.

En el intervalo de pH de 4- 10, la globulina 7S es mejor emulsionante que la 11S para las emulsiones Aceite/Agua. (7).

Las proteínas del suero de la soja son solubles en todo el rango de pH. Están presentes en el sobrenadante de la precipitación isoeléctrica de las globulinas de reserva, son de baja masa molecular, biológicamente activas (numerosas enzimas e inhibidores enzimáticos), localizadas en el resto de la célula y tienen un alto contenido en metionina y cisteína. (86).

## **B.2 ENZIMAS DE LA SOJA**

Las enzimas más importantes de la soja son las lipooxigenasas, lipasas y ureasas.

Las *lipooxigenasas* (EC N° 1.13.11.12) catalizan la oxigenación de ciertos ácidos grasos insaturados a monohidroperóxidos. Peroxidan solamente los ácidos grasos que poseen un sistema pentadieno 1-cis, 4-cis. Los sustratos son, por lo tanto, los ácidos linoleico (18:2) y linolénico (18:3). El ácido oleico (18:1) no se transforma. Son metaloproteínas con el ión hierro como centro activo. El resultado es la formación de

hidroperóxidos (13-LOOH y 9-LOOH, si partimos de linoleico). Las lipooxigenasa-II de la soja (pH óptimo 6,5) atacan también directamente los triglicéridos, a diferencia de la lipooxigenasa-I, pH óptimo 9, que sólo ataca los AG escindidos primeramente por las lipasas. Los hidroperóxidos más tarde se escinden dando lugar a la formación de compuestos aldehídicos y cetónicos que contribuyen al olor a rancio. Las lipooxigenasas tipo II, cooxidan carotenoides, formando productos incoloros. Se utiliza esta propiedad para "blanquear la harina" (12).

Las *lipasas* (EC N° 3.1.1.3) son estearasas que escinden los AG de los TG. Su pH óptimo está entre 4,5 a 5,0. Las lipasas que escinden los enlaces éster de los fosfolípidos se llaman *fosfolipasas*. Proporcionan los sustratos a las lipooxigenasas tipo I o bien proporcionan los sustratos para la oxidación lipídica no enzimática (48). Los ácidos grasos liberados, suelen comunicar un sabor jabonoso al producto y aumentar la acidez del producto (12).

Las *ureasas* (EC N° 3.5.1.5) son hidrolasas que se encuentran en concentración bastante elevada y catalizan la hidrólisis de la urea, liberando amoníaco y dióxido de carbono. La efectividad del tratamiento térmico de los preparados de soja, puede seguirse determinando esta enzima, también es útil para detectar los daños ocasionados a las proteínas como consecuencia del excesivo secado del grano (Ver en sección desarrollo experimental) (12).

## USOS PRINCIPALES DEL TRIGO Y SOJA

### A. TRIGO

Del grano de trigo (*T. aestivum*) se obtiene como producto principal harina (partículas de 0,1 mm de diámetro) provenientes del endosperma del grano para producir pan, galletitas, pastelería. Del endosperma también se obtienen sémolas (0,3 mm de diámetro) y almidón el cual se utiliza como adhesivo, en la industria del papel, y en la obtención de alcohol (43).

Las envolturas del grano de trigo (salvado), constituyen el 15 % del peso del grano, y se utilizan como ingrediente en alimentos para ganado.

El germen de trigo posee proteínas que no forman gluten pero que son ricas en aminoácidos esenciales, por lo que se utiliza como enriquecedor de alimentos para desayunos, alimentos para lactantes, etc.

En cuanto al aceite, su contenido es reducido, y del orden del 1-2 %. En este sentido, hay que tener en cuenta que en el trigo molido, el aceite puede sufrir oxidación o hidrólisis y

transferirle sabores desagradables a la harina por lo cual, en la molienda, el germen se debe separar intacto del endospermo.

Del grano de trigo para fideos (*T. durum*), el principal producto buscado es la sémola, y en segundo lugar la harina. Cabe señalar que las sémolas de los trigos Candeal argentinos, son reconocidas internacionalmente por constituir productos de excelente calidad industrial (ver Anexo 3).

## **B. SOJA**

El procesamiento de la soja conduce a la obtención de dos productos principales: aceite y harina, siendo la harina proteica o pellet el primer producto (43 % aproximadamente) y el aceite el subproducto de la industria aceitera (20 % aproximadamente), a diferencia de otras oleaginosas empleadas en la industria aceitera (girasol, maní, etc.) donde el principal producto es el aceite.

El aceite luego de ser refinado es destinado principalmente a aceites comestibles. Mientras que la harina es utilizada para la alimentación humana y animal, principalmente en forma de "pellets" (89) (ver Anexo 4).



## **CAPÍTULO 2**

### **CALIDAD DE LOS GRANOS Y ESTIMADORES MAS COMUNES**

EL CONCEPTO DE CALIDAD EN LOS GRANOS.

PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LOS GRANOS

EFFECTOS DE LA TEMPERATURA Y DE LA HUMEDAD DEL GRANO DURANTE EL  
ALMACENAMIENTO.

## **EL CONCEPTO DE CALIDAD DE LOS GRANOS**

### **A. CONCEPTO GENERAL DE CALIDAD DE LOS GRANOS**

La calidad de los granos es un atributo muy importante, ya que es la razón por la cual se cultivan sólo un pequeño porcentaje de especies en relación con las existentes. El uso que tendrá un lote particular de granos se encuentra fuertemente asociado a su composición final. Por lo tanto, podemos definir la calidad como el grado de aptitud de un producto para un uso determinado y se halla fijada por los requerimientos específicos de aquellos que desean moler, procesar o comer un grano determinado, más que por las propiedades inherentes a dicho grano. En general, un producto posee más calidad cuando es superior basándose en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente (2).

En nuestro trabajo se hará la distinción entre dos tipos de calidades, relacionadas con el acopio de granos: intrínseca y extrínseca. La calidad intrínseca, hace referencia al grano propiamente dicho, fundamentalmente a su composición química, que lo hará apto para un uso determinado. Los granos a la cosecha presentan su máxima calidad intrínseca, y esta no puede ser mejorada, solo puede plantearse como objetivo mantener la calidad de la materia seca constituyente tratando de que el deterioro sea el menor posible. La calidad extrínseca, hace referencia al lote de granos e involucra a la materia extraña y a las plagas. Esta calidad, a diferencia de la anterior, sí puede ser mejorada mediante técnicas de limpieza y control de plagas (7).

Los mercados de granos son cada vez más especializados y existirá, en el futuro, mayor presión para producir granos con mayor uniformidad y de características más marcadamente definidas. La selección de cultivares con capacidad de suministrar granos de buena calidad y estable en condiciones de estrés, jugará un rol importante en los programas de mejoramiento. Por otra parte, un manejo adecuado de los cultivos en la etapa de la cosecha y de los granos en la poscosecha será primordial para obtener mayores beneficios económicos. (92).

Los requerimientos de los granos de un lote particular de trigo o de soja (granos involucrados en este trabajo) estarán determinados por el mercado y el producto final que la industria desee obtener. Por lo tanto, los criterios de calidad de algunos mercados pueden ser diametralmente opuestos. El concepto de calidad es variable, ya que depende del criterio especificado en relación al mercado y la industria que utilice dichos granos y, además es dinámico, ya que se modifica en el tiempo con los distintos usos y necesidades

de cada región o país, que puede cambiar de acuerdo a nuevos conocimientos o criterios de evaluación. (43).

## **B. CALIDAD COMERCIAL Y NORMAS VIGENTES**

El comercio de los granos se rige por normas que tratan de relacionar la calidad de la producción con el precio. Estas normas pueden establecer: a) grados, que determinan la calidad propiamente dicha y establecen factores de condición que son mejorables en una planta de acopio (humedad, insectos, etc.) como en el caso de trigo pan (Norma XX, Res. SAGPYA 1962/04, Anexo 5) y b) bases, que establecen tolerancias mínimas y máximas de cada rubro como en el caso de la soja (Norma XVII, Res. SAGPYA 220/05, Anexo 6).

Es importante aclarar que las normas que se presentan en este trabajo son las vigentes al momento de edición del mismo (2006). Sin embargo, a pesar de ser factibles los cambios es importante tener una idea de cuales son los atributos que se incluyen en las mismas para poder comprender su importancia económica.

Por ejemplo, en 1994 la SAGPyA lanzó el programa de Mejoramiento de la Calidad del Trigo Argentino. Uno de sus puntos más relevantes de esta iniciativa fue la modificación del estándar de comercialización de trigo pan, incluyendo en el mismo el rubro proteína con una base de 11 % y bonificaciones del 2 % en los precios, por cada punto adicional de proteína logrado por los productores. También se creó a fines de 1996, un estándar específico para trigo forrajero, que permite distinguir calidad y destino de la mercadería, obteniendo precios diferenciales. Más recientemente, con el objetivo de diversificar la oferta de la producción triguera argentina, la SAGPyA definió los atributos de un trigo pan de alta calidad industrial, denominado Trigo Plata Argentino, como así también incorporó una especificación indicativa del primer Trigo Blando Blanco Argentino.

*Trigo forrajero.* Es trigo que tiene como destino la alimentación animal. Incluye el cereal que exceda la tolerancia del grado 3 del estándar general y cuyos rubros de condición son humedad 14 %, 1% granos picados, 8 % de trébol de olor y esté libre de arácnidos, de los hongos *Scierotinia* y Cornezuelo (Tolerancia 0,06 en el grado 3 del estándar).

*Trigo Plata Argentino.* Definido para reunir las características físicas del grado 1 estándar general y requerimientos de calidad industrial: 13 % en proteína, 23 % en gluten, un "falling number" mínimo de 350 segundos y un contenido de cenizas máximo de 1,7 %.

*Trigo Blando Blanco Argentino.* Se trata de trigos de coloración blanca para un uso industrial específico, especialmente para la fabricación de galletitas, que debe tener un contenido proteico inferior (63).

El peso hectolítrico, es un importante factor de calidad en todas partes del mundo y está influenciado por la uniformidad, forma, densidad y tamaño del grano, además del

contenido de materias extrañas y granos quebrados de la muestra. Se lo define como el peso de un volumen de 100 L de grano tal cual, expresado en kg/hL. Se determina mediante el uso de la balanza Schopper. A mayor peso hectolítrico, mayor rendimiento de harina.

El rubro granos quebrados y/o partidos para la soja adquiere especial importancia dado que, debido a la morfología del grano, la Soja posee el eje hipocótilo-radícula muy expuesto debajo del tegumento, por lo que el daño mecánico puede determinar la imposibilidad futura de germinar y la merma de peso por su desprendimiento. Este problema es de menor relevancia en aquellos granos que son morfológicamente frutos (Maíz, Girasol, Sorgo), ya que la menor exposición del embrión como resultado de la presencia de mayor cantidad de tejido materno, determina un mejor comportamiento. A causa de la estructura del grano de soja, su tegumento se desprende fácilmente, siendo ésta otra causa de pérdida de peso, ya que los tegumentos desprendidos en general se pierden y los cotiledones se vuelven más frágiles. (25).

### **C. CALIDAD INDUSTRIAL Y ESTIMADORES MÁS COMUNES**

La calidad industrial depende del uso al que será destinado el grano, por ello cada uno posee estimadores diferentes.

#### **C.1 ESTIMADORES PARA TRIGO PAN**

Como se describió en el capítulo anterior, la particularidad que presentan las proteínas de reserva del trigo por formar el gluten es esencial para establecer la calidad panadera. Las propiedades de extensibilidad de la masa conferida por las gliadinas y la elasticidad / fuerza dada por las gluteninas, va a depender en gran medida del balance entre ambas que, junto con el resto de las proteínas, determinarán que la masa de pan tenga propiedades aceptables. Cuando este balance es óptimo, la masa resultante no requiere excesiva energía de mezclado porque es lo suficiente fuerte como para atrapar las burbujas de gas producidas durante la fermentación, que se expandirán durante la cocción y podrán mantenerse separadas para dar, como resultado, un volumen de pan alto. Si la relación gliadinas/gluteninas es baja, la masa es excesivamente fuerte y relativamente poco extensible. El resultado es una masa que requiere mucha energía para mezclar y, por lo tanto, mayor costo. Además la baja elasticidad impide que el gas se expanda y el resultado final es un volumen de pan bajo con una alta densidad. Las masas que provienen de harinas con una relación alta gliadinas/gluteninas requieren energía de mezclado más baja, resultando una masa más débil, pegajosa, de difícil manejo incapaz de mantener separadas las burbujas de gas, que tienden a converger y formar grandes alvéolos en la miga (63).

Además, es importante establecer que la composición de proteínas se encuentra determinada fundamentalmente por el genotipo. De hecho, la composición de las proteínas del gluten se utiliza para identificar los cultivares, de un modo similar que las huellas digitales se utilizan para identificar a los humanos. La electroforesis de proteínas se presenta así como una técnica más fina de identificación de proteínas y valedera a los fines de constatar cambios y/o daños provocados en ellas (93).

La panificación experimental es el análisis más representativo de la calidad industrial del trigo ya que es una prueba directa, en pequeña escala, donde se evalúa la aptitud de las harinas para formar un pan de buenas características. Permite valorar las diferentes etapas de la fabricación, observando el tiempo que tarda la masa en desarrollar y tomar consistencia, el comportamiento durante la fermentación y el aspecto interior y exterior del mismo.

Existen métodos indirectos para estimar la calidad panadera de una harina, algunos de ellos requieren poca cantidad de harina (porcentaje de gluten, test de sedimentación en SDS, falling number) y otros requieren cantidades superiores (farinograma de Brabender y alveógrafo de Chopin).

Las tres primeras determinaciones, contenido en gluten, índice de sedimentación y falling number, junto con la electroforesis y la determinación de proteína serán llevadas a cabo en el presente trabajo como prueba experimental del daño ocasionado por el secado en los granos de trigo.

El gluten es una sustancia gomosa de color blanco amarillento que se obtiene lavando la masa mediante una corriente de agua para eliminar el almidón y las proteínas solubles (albúminas y globulinas), quedando las proteínas insolubles (gliadinas y gluteninas) que constituyen el gluten húmedo y seco. El resultado se expresa como porcentaje en base a harina. La característica principal del gluten es la de dar coherencia y aglutinar a los gránulos de almidón. El gluten, en panificación, es el que retiene los gases que se desprenden durante la fermentación de la masa por efecto de las enzimas presentes en la levadura.

El test de sedimentación en SDS es orientativo de la calidad de la proteína, estimando la fuerza del gluten. Está asociado con la cantidad y calidad de las proteínas. El ácido láctico es el reactivo que interactúa con el gluten produciendo su hinchamiento. Cuanto mayor sea éste, mayor volumen precipitado se obtendrá y por lo tanto, mejor será el volumen de pan. El resultado se expresa en mL de sedimento.

El "falling number" o índice de caída, mide la actividad amilásica de las harinas, dependiendo de ellas la capacidad fermentativa de las masas de panificación. La actividad de estas enzimas en un trigo es variable, influyendo las condiciones climáticas al momento



de la cosecha. Clima húmedo y caluroso favorece un aumento de la actividad enzimática, sobre todo en granos germinados, licuando las masas, provocando panes de estructura pegajosa. Para determinar la actividad de las mismas se utiliza el "falling number". Por este método, de acuerdo al tiempo de licuefacción del almidón, se tiene una idea de la actividad enzimática. El resultado se expresa en segundos de caída, tiempo que tarda en desplazarse el émbolo dentro del tubo de ensayo que posee el equipo. Tiempos reducidos de caída indican una mayor actividad amilásica.

El farinógrafo *Brabender*, se utiliza para probar dinámicamente las propiedades del amasado, con el fin de evaluar la calidad de la harina y las propiedades de procesamiento de la masa. Los parámetros registrados durante el análisis evidencian el comportamiento en el amasado, la capacidad de absorción de agua, el tiempo que tarda la masa en alcanzar la consistencia óptima y la estabilidad o tolerancia al amasado.

El alveógrafo de *Chopin* simula gráficamente el comportamiento de la masa en la fermentación, imitando en gran escala la formación de alvéolos originados en la masa por el gas dióxido de carbono. Mide la resistencia a la deformación y extensibilidad insuflando aire sobre una lámina de masa que se hincha hasta su rotura, dando curvas llamadas alveogramas donde la superficie bajo la misma indica la fuerza panadera ( $W$ ), la altura mide la tenacidad y el largo de la curva la extensibilidad. La relación tenacidad/ extensibilidad expresa el equilibrio de la masa (73).

## C.2 ESTIMADORES PARA SOJA

El principal producto de la soja es su harina proteica, por lo que más allá de la estimación de la calidad de su aceite, tiene un mayor peso las características de su proteína. No obstante, en nuestro trabajo de seguimiento del deterioro provocado por el secado, indagaremos también en la alteración de los lípidos.

La composición de aminoácidos tiene carencia para la formulación de balanceados, propias de las leguminosas en general, como la baja cantidad del aminoácido esencial metionina y en algunas variedades de soja, también es baja la cisteína, que si bien no es esencial, puede reemplazar en algo a la metionina (Tabla 2.1). La presencia de factores anti-nutricionales como inhibidores de la tripsina en la harina, limitan su aprovechamiento y obligan a realizar procesos industriales costosos para destruirlos o inactivarlos. Existen diversos métodos para evaluar la calidad de la harina de soja. Por ejemplo, la prueba de actividad ureásica que se basa en el incremento del pH por la presencia de amonio liberado por la enzima. La destrucción de esta enzima por acción del calentamiento de la harina se encuentra relacionada con la destrucción de los inhibidores de la tripsina. En nuestro trabajo, emplearemos este método para corroborar el daño del secado excesivo.

La prueba de la solubilidad de la proteína mediante solución de hidróxido potásico es utilizada para detectar el sobrecalentamiento de la harina de soja, mientras que los índices de dispersabilidad proteica (PDI) o solubilidad de nitrógeno (NSI) determinan la solubilidad de la proteína en agua y permiten identificar las harinas de mejor calidad proteica. La reducción de la calidad de las proteínas de la soja como consecuencia del calentamiento se debe, principalmente, a la combinación de la destrucción de parte de la lisina y de la cisteína y la reducción de la digestibilidad de la lisina y la cisteína que no son destruidas (35).

La digestibilidad es un parámetro que se halla asociado a la calidad de las proteínas alimentarias. En las proteínas de origen vegetal se halla dentro del 60 a 70 %. Es decir del total de proteína que contiene un alimento sólo es aprovechable por el organismo el 60 a 70 %. La digestibilidad de las proteínas alimentarias está limitada por diversas causas, como ser: efecto de la conformación estructural de las proteínas; interacciones con iones metálicos, lípidos, ácidos nucleicos, celulosa; factores antinutricionales; tratamientos térmicos; tamaño y superficie de la partícula de proteína; diferencias biológicas entre individuos, etc. (26).

**Tabla 2.1 Composición de aminoácidos esenciales (%) en el grano de soja y su comparación con la proteína estándar establecida por la FAO.**

	Met	Lys	Ile	Leu	Phe	Thr	Trp	Val	Cys (*)
Soja (a)	1,3	6,4	4,5	7,8	4,9	3,9	1,3	4,8	1,3
FAO (b)	3,5	5,5	4,0	7,0	6,0	-	-	5,0	-

(Fuentes: a) Belitz, H. D. 1992; b) Hosney, R.C. 1991). [\*] No esencial.

En cuanto a la composición de aceites existen diversas metodologías disponibles para evaluar el porcentaje de aceite, la más extendida es la extracción de aceites por solventes orgánicos como el hexano. Para ello se evalúan en el laboratorio muestras molidas y su contenido de humedad ajustado para obtener el valor porcentual de contenido en aceite, de allí se puede posteriormente determinar la acidez del mismo. La composición en ácidos grasos del aceite es un importante estimador de la calidad, mediante cromatografía gaseosa es posible establecer dicha composición (45).

## PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LOS GRANOS

Se dividirán los factores que afectan la calidad del grano en dos categorías: genéticos y ambientales. Los ambientales a su vez los podemos dividir en bióticos (plagas, insectos) y abióticos. Dentro de los abióticos, los que nos interesan son los factores determinados por el manejo poscosecha, tales como el acarreo, acondicionamiento (secado) y almacenamiento. Los factores genéticos y los ambientales bióticos están más relacionados con la calidad del grano en el eslabón de la cosecha, por ello se tratarán ocasionalmente.

### A. FACTORES GENÉTICOS

#### A.1 Trigo

La elección del genotipo a sembrar determina en gran medida el uso final del producto y el mercado en el que el producto podrá ser comercializado. Por ejemplo, la textura o el tipo de endosperma, que permite clasificar a los trigos en duros y blandos, se encuentra fuertemente gobernada por el genotipo. Generalmente los trigos duros tienen mayor rendimiento de harina y mayor porcentaje de proteína que los trigos blandos. Las harinas provenientes de trigos duros son utilizadas para pan (43).

En muchos países los cultivares son clasificados de acuerdo a las características intrínsecas de la calidad. El comité de cereales de invierno de la Comisión Nacional de Semillas (CONASE) ha propuesto para la Argentina la clasificación de tres grupos basadas en el peso hectolítrico, proteína del grano, rendimiento en harina, cenizas, gluten húmedo, fuerza panadera, estabilidad farinográfica y volumen de pan (63). Las variedades correspondientes a cada grupo presentan valores dentro de un rango similar para los parámetros mencionados. Sin embargo, en cada grupo de cultivares existe variabilidad. Además, debido a la fuerte interacción genotipo-ambiente para calidad industrial y a la posibilidad de tener que modificar criterios, esta clasificación no es rígida y se actualiza anualmente (Tabla 2.2).

Un importante componente a considerar es que cuando se comparan diferentes cultivares de un mismo grupo de calidad habitualmente se encuentra una relación negativa entre el rendimiento y el porcentaje de proteínas. De hecho, resulta frecuente encontrar en la literatura de que los cultivares más modernos de mayor rendimiento potencial (y real) tengan menos porcentaje de proteínas (80). Una serie de investigaciones recientes conducidas en nuestro país parecen indicar que habría localizaciones cromosómicas específicas que permitirían modificaciones en el porcentaje de proteínas con mínimos efectos en el rendimiento (8).

**Tabla 2.2 Calidades industriales de algunas variedades de trigo pan (Categorización del comité de cereales de invierno de la CONASE, 2002)**

<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
Trigos correctores Panificación industrial <i>(alta calidad)</i>	Trigos para Panificación tradicional ( + 8 h fermentac) <i>(calidad media)</i>	Trigos para Panificación directa ( - 8 h fermentac) <i>(calidad inferior)</i>
Buck Poncho	ACA 303	Baguette 10
Buck Arriero	Buck Guatimozín	Buck Chambergo
Buck Guapo	Buck Mataco	Buck Halcon
Coop. Liquen	Klein Volcán	Buck Guarani
Klein Sagitario	Klein Don Enrique	Coop. Millán
Klein Delfín	Klein Estrella	Klein Cacique
ACA 302	ProINTA Imperial	Klein Pegasso
ProINTA Alazán	ProINTA Federal	ProINTA Quintal
ProINTA Molinero	Klein Escudo	Triguero 100

(Fuente: Ing. M. Cuniberti INTA Marcos Juárez)

Aunque parece posible generalizar que el mejoramiento ha tendido a aumentar el rendimiento potencial pero reduciendo el porcentaje de proteínas por un efecto de dilución, el aumento del rendimiento potencial estuvo también asociado a un aumento en la tolerancia al vuelco y, de este modo, en la posibilidad de fertilizar con mayores dosis de nitrógeno, sin aumentos en los riesgos de pérdidas (78).

## **A.2 Soja**

En el caso de la soja y de otras oleaginosas, generalmente existe una relación negativa entre la concentración de proteínas y de aceite, sumada a la relación negativa entre proteína y rendimiento. Sin embargo, existe gran diversidad genética que permitiría obtener, por ejemplo, en el caso de la soja semillas con un porcentaje de proteínas cercano al 44 % y un contenido de aceite no inferior al 18 %.

Muchas de las especies oleaginosas productoras de granos tienen actualmente variantes del producto tradicional, generadas por modificaciones en la composición acídica de los aceites mediante diferentes tecnologías de manejo genético. Esto implica cambios en la proporción de algunos ácidos grasos, como el erúico, en la colza; el alto oleico, en soja,

girasol y maní. Por otra parte, debido a que la composición de los ácidos grasos es gobernada por un reducido número de genes, ha sido posible obtener en los programas de mejoramiento genotipos desarrollados con distinta composición de ácidos grasos en diversas especies de oleaginosas (85).

## **B. FACTORES AMBIENTALES**

Existen factores ambientales que influyen en la calidad del grano en la etapa del cultivo/cosecha y otros que influyen en la poscosecha. A su vez de los factores ambientales tenemos aquellos que pueden ser considerados abióticos y los bióticos. Factores ambientales importantes en el eslabón del cultivo son la disponibilidad de nitrógeno (biótico) y la temperatura ocurrente en el momento de llenado del grano (abiótico). Mientras que factores ambientales en la etapa de la poscosecha están relacionados con las prácticas de manejo: acarreo, acondicionamiento y almacenamiento.

### **B.1 DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO**

Es difícil *a priori* determinar el efecto de agregado de nitrógeno sobre la calidad de los granos, ya que existen muchos factores intervinientes que podrían variar la respuesta final esperada. Entre estos factores se encuentran: la disponibilidad inicial de nutriente, el momento de su aplicación, disponibilidad de lluvias, temperatura, fecha y densidad de siembra, el potencial de rendimiento de ese genotipo, etc. En trigo, el agregado de fertilizante nitrogenado en dosis no muy elevadas tendería a aumentar el rendimiento del grano, con ello el rendimiento está fuertemente limitado por la disponibilidad de nitrógeno y responde aumentando casi linealmente al agregado de nutriente. Cada unidad de nitrógeno agregada es usada muy eficientemente en la formación de destinos reproductivos (flores fértiles-granos). El nitrógeno presente en la espiga se diluye en el conjunto de carbohidratos aumentado el rinde (mayor número de granos) y se observa que aumentos en el rendimiento pueden ir acompañados de mermas en el porcentaje de proteínas de los granos. El nitrógeno aplicado excedente, si no se pierde por lavado, puede ser absorbido por el cultivo y aumentar la cantidad de proteína del grano. Una estrategia de manejo certera para aumentar la cantidad de proteína del grano es aplicar tardíamente el nitrógeno durante la *encañazón*, período del cultivo que corresponde, en el trigo, a la elongación del tallo luego de la aparición del primer nudo (73).

Este aumento de proteína puede estar acompañado de un cambio en la composición de las fracciones proteicas. En diversos ensayos, se ha informado que aumentos en el porcentaje de proteína en trigo, debido a aumentos en las disponibilidades de nitrógeno, determinan aumentos proporcionales en la fracción de las gliadinas en relación a las

gluteninas (47). Esto introduce otro nivel de complejidad ya que por un lado aumentos en el porcentaje de proteínas tienden a aumentar la fuerza de la masa, pero por otro, aumentos en la fracción de las gliadinas tienden a disminuir la fuerza de la masa. Entonces, ¿Cuál es el efecto neto en la fertilización nitrogenada sobre la calidad de los granos? En términos generales los aumentos en la fertilización nitrogenada aumentan la fuerza de la masa, debido a que el aumento en el porcentaje de proteínas tiene mayor influencia y tiende a compensar el efecto negativo del aumento de la relación de gliadinas-gluteninas (82).

Trabajos recientes en trigo, determinan que la relación rinde- proteína podría estar asociada a los cultivos antecesores y a su ubicación en el perfil del lote. En efecto se ha demostrado, empleando modelos estadísticos avanzados como el de regresión espacial (SAR) donde la respuesta a las dosis de N y a la eficiencia del mismo por parte del cultivo es mayor cuando el cultivo antecesor es soja y mejor aún si la zona es baja donde existe mayor agua disponible (18). Estos resultados corresponden a trabajos experimentales realizados con dosis variables de N en franjas paralelas de terreno (12, 37, 62, 88 y 112 kg/ha) donde se ha podido determinar un mayor beneficio económico comparados con dosis constantes usuales de 60 kg/ha en todo el cultivo (16).

En el caso de los cultivos de oleaginosos, en la mayoría de las situaciones el porcentaje de aceite tiende a decrecer a medida que aumenta el porcentaje de proteínas debido a los incrementos en la disponibilidad de nitrógeno. En el caso del cultivo de soja, un alto aporte de nitrógeno durante el llenado de los granos no siempre resulta en aumentos en el porcentaje de proteínas, ya que mayor disponibilidad de nitrógeno favorece el aumento de peso de los granos y, de esta forma, se mantendrá la relación negativa entre rendimiento y porcentaje de proteínas. Además, el mayor aporte de nitrógeno en la etapa previa al llenado de los granos podría favorecer la producción de vainas y de semillas diluyendo, de este modo, la concentración de proteínas en más semillas por unidad de superficie (90).

## **B.2 ALTAS TEMPERATURAS EN EL LLENADO DE GRANOS**

Las altas temperaturas durante el llenado de granos, etapa desde la floración hasta la madurez fisiológica, frecuentemente reducen el rendimiento (por efecto directo en el metabolismo de los granos) y alteran la calidad de los mismos de modo variable, según como se dan los eventos de altas temperaturas. Cuando las temperaturas son consistentemente más altas en una condición que en otra (por ejemplo, por estar en una localidad de menor altitud o, frecuentemente como consecuencia de atrasos en la fecha de siembra) el rendimiento de granos en el caso de los cereales de invierno disminuye aproximadamente en 3- 4 % por cada °C de incremento de la temperatura media durante el

llenado de los granos por encima de los 15 °C (88). Esto ocurre principalmente porque la acumulación de almidón se reduce con el aumento de la temperatura. La acumulación de proteína también se reduce ante aumentos de temperatura, pero con menor sensibilidad que el almidón, por lo tanto aumentos de temperatura en el llenado de los granos se traducen en incrementos del porcentaje de proteínas. Esto significa un aumento en la calidad de los granos debido a que la harina será más tenaz.

Sin embargo, cuando los eventos de altas temperaturas en el llenado de granos alcanza valores elevados entre 33 °C y 40 °C de máxima diaria aún por pocos días, la relación positiva entre porcentaje de proteína y fuerza de la masa no se expresa y puede llegar a ser negativa. En muchos genotipos el aumento de temperatura de este tipo provoca aumentos en la relación gliadinas/gluteninas porque ante estas temperaturas elevadas, la síntesis de gliadinas se afecta en menor proporción que las gluteninas (92).

En el caso de los cultivos oleaginosos, en diversos trabajos se ha observado que el aumento de la temperatura durante el llenado de los granos de girasol produce un aumento del porcentaje de aceite (3). Sin embargo las altas temperaturas reducen el período de llenado de los granos, acortando la etapa de síntesis de aceite (32). Además, en girasol y en soja las altas temperaturas pueden modificar la composición final de los ácidos grasos. En general, la respuesta encontrada para distintos genotipos y distintas condiciones de crecimiento, cuando aumenta la temperatura durante el llenado de granos aumenta la proporción de oleico y disminuye la proporción de linoleico (44).

Este hecho está ligado a la inhibición de la enzima oleato desaturasa, responsable de la formación de linoleico a partir de oleico en semillas en desarrollo (41).

También se ha detectado una influencia del ambiente con los contenidos de proteína y materia grasa. El efecto de la latitud sobre el contenido de proteína y aceite fue significativo. En las latitudes más bajas la relación proteína vs. aceite fue positiva, asociada con temperaturas más altas. El grado de madurez (GM) tuvo influencia sobre el contenido de proteína y de aceite, aumentando 1,5% el promedio de proteína y disminuyendo 0,98 % el contenido de aceite con el aumento de una unidad en el GM en la última fecha de siembra. La composición de los ácidos grasos fue influenciada por las fechas de siembra, GM y latitudes. El ácido palmítico no fue afectado por estas variables. El nivel de ácido esteárico permaneció sin cambios en las diferentes fechas de siembra y latitudes, con una leve tendencia a disminuir con GM más largos. El ácido oleico mostró un aumento en la fecha de siembra más temprana, en el GM más corto y en la latitud más baja. Los ácidos linoleico y linolénico incrementaron con el aumento de GM y latitud. En la última fecha de siembra aumentó también el ácido linolénico (58).

## **C. FACTORES MANEJO POSCOSECHA**

A partir del instante inmediato posterior a la cosecha se pueden generar sucesos que determinen mermas y/o deterioros en los granos cuyas implicancias pueden ser de importancia dependiendo del destino final de los mismos. A diferencia de los factores que determinan la calidad durante el ciclo de cultivo, la mayoría de los problemas generados en la poscosecha pueden ser paliados, reducidos o evitados por el hombre si el diagnóstico es temprano y se utilizan las prácticas adecuadas.

De todos los esfuerzos destinados a preservar la calidad de los granos poscosecha, el estudio del efecto de factores abióticos quizás haya sido el que más energía y atención a demandado. Esto obedece a las fuertes inversiones necesarias para lograr un acondicionamiento y almacenaje del grano sin deterioro considerable (57).

Las principales operaciones implicadas en esta etapa son el acarreo, acondicionamiento y almacenamiento.

### **C.1 ACARREO**

El movimiento del grano, ya sea en el transporte o en la descarga favorece el deterioro del producto, lo cual será de particular importancia para granos utilizados como semillas o para uso industrial que requiere la germinación de la misma. En este sentido la soja es la más afectada debido a su morfología (ya expuesta en el Capítulo 1), con lo que el daño mecánico puede determinar la imposibilidad futura de germinar. El quebrado del tegumento o partido del grano tiene consecuencias directas para la germinación en este caso.

En esta etapa del proceso de poscosecha resulta difícil observar daños causados por agentes bióticos; no obstante aquí es donde se pueden generar contaminación entre lotes de granos que provienen de diferentes condiciones de producción, pues los contaminantes bióticos pueden quedar en la maquinaria usada en este proceso y pasar de un lote de grano afectado a uno no afectado. Los controles y la limpieza empleada en los procedimientos son de vital importancia para restringir este tipo de problemas.

### **C.2 ACONDICIONAMIENTO**

Los factores abióticos de mayor influencia sobre la calidad y el valor del producto, durante esta etapa del proceso, son la humedad inicial del grano y la temperatura de secado.

El abordaje de la humedad de los granos se expondrá en el próximo capítulo y con más detalles, aquí sólo se dirá que, tanto el aire como los granos son higroscópicos, es decir intercambian fácilmente humedad con otros cuerpos (57). Durante el secado, que es la



práctica clásica del acondicionamiento, un aspecto de gran importancia es la humedad de equilibrio entre los granos y el aire que los rodea. En el proceso de secado es de esperar variaciones grandes en el contenido de humedad del grano en breves lapsos, así como también el sometimiento del grano a temperaturas elevadas, muy alejada de los valores normalmente manejados en el almacenaje. El éxito de este proceso radica en utilizar apropiadamente la temperatura y la humedad de equilibrio. Durante el secado se produce el grueso de las mermas de calidad como consecuencia del descuido de los niveles de estos factores. Así es que el peso hectolítrico depende directamente del proceso de secado empleado, como así también el cuarteado y fisurado de los granos, particularmente en maíz y soja. En soja, las altas temperaturas asociadas a altas velocidades de secado ocasionan rotura de tegumento o, más aún, quebrado de la semilla. Por otro lado, temperaturas más altas pueden afectar determinadas proteínas reduciendo severamente la calidad de los granos. Este último aspecto rara vez es tenido en cuenta, pues las bases de comercialización de soja no bonifican por su contenido o composición. La relación descripta entre grano y ambiente también está sujeta a otro tipo de influencias como la que resulta de la relación peso- superficie de los granos, porosidad, el calor de vaporización, la conductividad térmica, el calor específico, el coeficiente de difusión de humedad, etc. (30).

El proceso de secado determina mermas en el peso, que redundan en una merma del valor final del producto a ser comercializado. En soja, hubo años en que la humedad del producto se llevó a 11,5 %, cuando la base era 13 %. Este 1,5 % de diferencia en el contenido de humedad, tan sólo para un millón de toneladas, representa, con valores promedio de peso de grano, unos 3,5 a 4 millones de dólares (57). Además, si bien el menor contenido de humedad permite un mejor manejo en el almacenaje, también implica pérdidas por mayor consumo de energía (secado severo).

El aire comúnmente usado en el secado de granos está a altas temperaturas (por ejemplo 90 °C), con lo cual posee baja humedad relativa (0,5-2 %) lo que determina un fuerte gradiente de humedad del grano hacia el aire circulante. El secado debe hacerse a tiempos y temperaturas determinados, pero esto no siempre es posible. Zonalmente, el proceso suele concentrarse en determinados momentos del año lo que, en la práctica, muchas veces determina temperaturas de secado que resultan mayores a las apropiadas con desnaturalización de proteínas incluídas y de esta forma se reducen, quizás costosamente, los tiempos de secado. Esto determina un secado intenso en capas externas del grano, pero no en su interior. De este modo, terminado el secado, durante el enfriamiento, el grano en el caso de la soja puede verse sometido a presiones internas que determinan aumento del quebrado, rotura de tegumentos o revenido.

El trigo no requiere normalmente secado para las condiciones de producción argentinas; pero en casos de adelanto de la cosecha o lluvias en el momento de la recolección, se recurre a esta práctica. Así la temperatura máxima aconsejada para no deteriorar las proteínas es de 90 °C, de modo tal que la temperatura del grano no supere los 50 °C a 60 °C. Si el destino es semilla, la temperatura no debe superar los 43 °C. Más aún, con variaciones relativamente pequeñas en el tiempo de secado, la temperatura y la humedad inicial pueden afectar el poder germinativo de la semilla, así como también el volumen relativo (31).

El grano de soja, que se seca más rápidamente debido a la menor interacción del agua con los componentes del grano (alto contenido en lípidos), posee una temperatura óptima para secado inferior a 80 °C; temperaturas más altas, destruyen un cierto contenido en lisina, incrementan el quebrado y el desprendimiento del tegumento, lo que redundaría en acidificación y mayor deterioro en el almacenaje.

Los daños por factores bióticos son altamente improbables en el secado ya que, para las humedades normalmente observadas, se utilizan de 40 °C a 120 °C por períodos de 4h a 0,5 h, respectivamente. Estos son períodos muy breves como para que ocurra deterioro causado por agentes bióticos; sin embargo, no son tan breves como para que no se produzca quebrado o alteración en las proteínas, lo que puede traer problema cuando el grano es destinado a la alimentación de monogástricos. En relación a esto último, es conocido que el contenido en lisina no debe bajar más allá de 10 % del contenido inicial para evitar problemas con la alimentación animal; sin embargo, una reducción de esta magnitud se alcanza en trigo durante 3 h de exposición del grano a 100 °C (43).

La seca-aireación, es un proceso alternativo al secado que produce menos deterioro de calidad, ya que disminuye mucho el quebrado y aumenta levemente el peso hectolítrico (31). El proceso es similar al secado común hasta que la humedad haya descendido a 16-17 %. En ese momento el grano se pasa caliente a silos acondicionados con equipos de aireación que utilizan la temperatura ambiente y dentro de los cuales se produce el enfriamiento. El proceso requiere un adecuado manejo de todas las variables, calculadas con anterioridad, para lograr utilizar los elementos que llevan al equilibrio de humedad como herramienta de secado de menores insumos. La temperatura del grano caliente, sube la temperatura del aire que ingresa y disminuye su humedad relativa, con lo cual, se generan gradientes que favorecen la terminación del secado.

En relación al efecto de impurezas, como tierra, restos de vegetales, insectos, etc., sobre la operación de secado solo debe tenerse presente que la operación previa de limpieza es fundamental para que la operación de secado resulte más sencilla, más rápida y de menor costo. La limpieza del grano, la acción de aventadoras, prelimpiadoras y

limpiadoras-separadoras puede ser de gran influencia sobre la eficiencia del proceso si el lote de granos a secar posee algún tipo de impurezas en magnitud económicamente desfavorable (73).

### **C.3 ALMACENAMIENTO**

En el almacenamiento el mantenimiento de la temperatura y la humedad de equilibrio dentro de valores adecuados, es el principal objetivo a lograr. Es importante resaltar que con grano en equilibrio con más de 70 % de humedad relativa en el ambiente intergranario, comienza el deterioro por acción de los hongos en cereales almacenados. El contenido de agua en el grano suele expresarse sobre base húmeda. En forma simplificada, el grano tiene *agua absorbida*, vinculada por enlaces químicos a determinadas sustancias y *agua adsorbida*, es decir, retenida por fuerzas de atracción molecular. En el equilibrio, hay intercambio recíproco de humedad entre aire y grano, porque no hay diferencia de presión parcial de vapor entre la humedad de la superficie del grano y la del aire (57).

### **EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y LA HUMEDAD DEL GRANO DURANTE EL ALMACENAMIENTO.**

La temperatura y la humedad son parámetros que afectan la calidad del grano almacenado. Calidad que puede ser alterada por efectos directos o indirectos. Los efectos directos provocan transformaciones bioquímicas sobre los componentes del grano, tales como proteínas, ácidos grasos, azúcares, etc. Pueden ser considerados menores y poco frecuentes, sobre todo cuando se los compara con la alteración provocada por los efectos directos, estos últimos ocasionados por factores bióticos, tales como microorganismos, insectos y plagas.

#### **A. DAÑO POR FACTORES BIOTICOS**

Los factores bióticos pueden comenzar a actuar en el establecimiento agrícola, pues muchos agricultores almacenan total o parcialmente su producción sin dar un tratamiento adecuado a los granos. En el almacenamiento a gran escala, la temperatura y la humedad contribuyen de manera determinante a acelerar o retrasar el desarrollo de insectos y microorganismos. Estos factores pueden confluír en distintas proporciones y determinar situaciones de mayor o menor seguridad de almacenamiento (62).

Hongos, levaduras y bacterias son agentes presentes en el medio, que transportados por el aire o el agua, pueden infectar los productos antes, durante o después de la cosecha.

Los daños principales que originan son alteraciones del valor nutritivo y modificaciones de las características organolépticas de los granos (sabor, olor, aspecto). Todas las materias extrañas favorecen el desarrollo de microorganismos y la tasa de propagación de los mismos es regulada, fundamentalmente, por variaciones en niveles de humedad y temperatura. Además, zonas de alta actividad de microorganismos, producen en el grano, una elevación de la temperatura que, en condiciones favorables del contenido de humedad, y nivel de oxígeno pueden favorecer el ardido del grano o la combustión del depósito. En este aspecto, el girasol es particularmente propenso dado su alto contenido en aceite (62).

La acción de microorganismos determina un incremento de la respiración de las semillas por aumento de la temperatura. Cuando dichos microorganismos utilizan azúcares como fuente de energía, se genera calor y se produce dióxido de carbono. En etapas tempranas de este proceso, se afecta la viabilidad y se producen cambios de coloración. Si el proceso continúa, la semilla toma un color oscuro hasta adoptar el aspecto de una masa negra inutilizable. Bajos niveles de humedad evitan este tipo de daño (39).

Los insectos pueden infectar el grano en el campo o en el lugar de almacenamiento. Hay fundamentalmente dos órdenes de insectos responsables de estos daños: los coleópteros (daño causado por larvas y adultos) y los lepidópteros (daño causado por larvas). Su actividad deja residuos adicionales (trozos de granos, heces) que favorecen la proliferación de microorganismos determinando pérdidas importantes de calidad. Sus ciclos se desarrollan con temperaturas entre 15 °C y 35 °C. Falta de humedad u oxígeno detienen su accionar (39).

Otra plaga de los granos almacenados son los roedores. Estos son habitantes habituales de los lugares de almacenamiento y se sabe que, comen el 10 % de su peso por día y contaminan 10 veces más por sus heces. Además de las pérdidas en peso se pierde calidad por las deyecciones y secreciones que favorecen el ataque de otros agentes bióticos y producen o pueden ser vehículos de graves enfermedades. Es por ello que desde siempre han sido ampliamente combatidos. No obstante, en nuestros días siguen siendo un problema a pesar del masivo uso de anticoagulantes (39).



### **CAPÍTULO 3**

#### **MANEJO POSCOSECHA Y OPERACIONES FUNDAMENTALES**

LA PLANTA DE ACOPIO COMO AMBITO DE LA POSCOSECHA.

HUMEDAD DE LOS GRANOS Y SU ENTORNO

GENERALIDADES DEL PROCESO DE SECADO

CARACTERÍSTICAS DEL SECADO DE TRIGO Y SOJA

## LA PLANTA DE ACOPIO COMO ÁMBITO DE LA POSCOSECHA

### DIAGRAMA DE FLUJO DEL GRANO EN LA POSCOSECHA

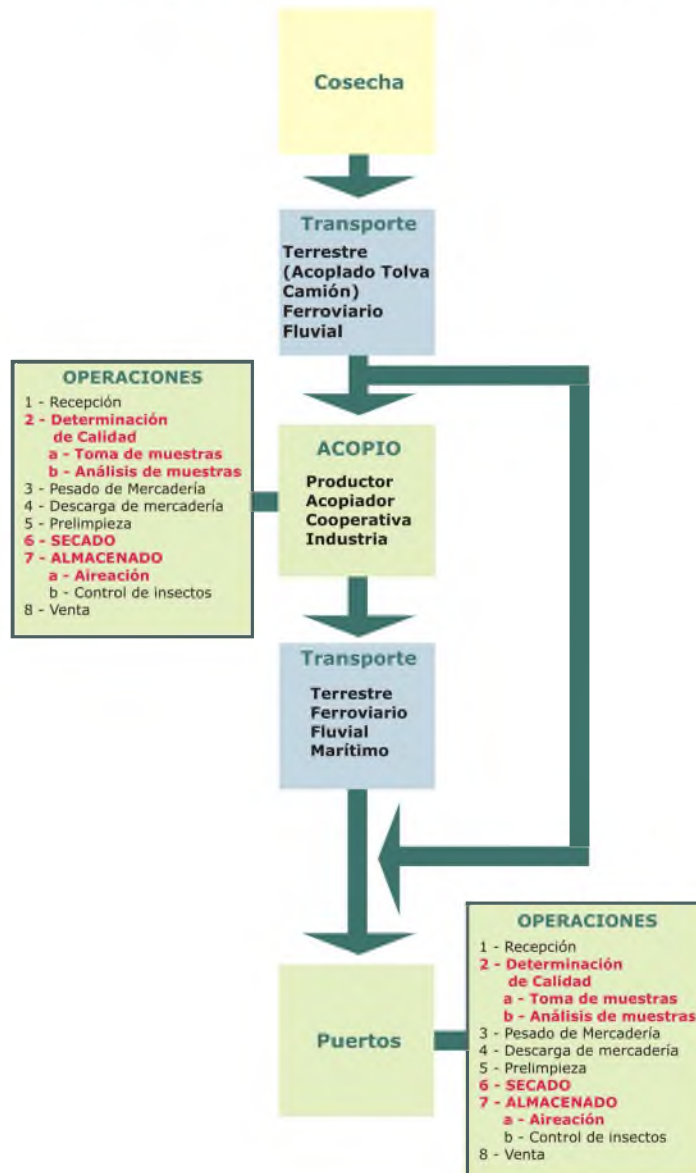


Figura 3.1 Diagrama de flujo del grano en la poscosecha (Tomado de *Curso de secado y aireación de granos*, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, 2004. Badiali, Giambastiani y Viciano).

En el ámbito de una planta de acopio (que puede ser propiedad del productor, de una empresa dedicada al acopio, de una cooperativa agropecuaria o de una industria) se realizan diversas operaciones específicas. Algunas de ellas son la determinación del contenido de humedad, el secado y la aireación de los granos (60).

Una planta de acopio para el procesamiento de los granos está constituida por: estructuras para el ingreso de los granos, laboratorio para ensayos de calidad del grano, estructuras destinadas al almacenamiento (silos y celdas), limpiadora de granos, o "chamiquera" (para la prelimpieza y la separación de semillas, especialmente de "chamico" (*Datura ferox*)), secadora de granos, sistema de transporte interno, silos elevados (pulmón) en los que se depositan los granos para su descarga a camión o ferrocarril.

En el ingreso de granos, la tolva de recepción es una especie de rejilla con una estructura con forma de pirámide invertida que se encuentra debajo del nivel del piso, comunicada con el sistema de transporte. Desde esta tolva el grano es transportado hacia la limpiadora de granos, los silos de almacenamiento o a la secadora, de acuerdo a las condiciones en que ingrese a la planta.

El laboratorio es el lugar físico donde se realiza el análisis de calidad y condición de los granos, en el que se encuentra el instrumental necesario para tal fin, y que depende del tipo de granos que cada planta acopie habitualmente. En común se usan el divisor de muestras, la zarandas para separación de material extraño, granos quebrados y partidos; la balanza de precisión y el humedímetro; y para uso específico otros como, por ejemplo, la balanza de Schopper para determinación de peso hectolítrico en trigo y maíz; y el analizador Butt para materia grasa en girasol, maní-industrial y soja (6).

Los silos son estructuras cilíndricas de metal o concreto, con techo cónico. El piso puede tener fondo plano, inclinado o cónico, por sobre o debajo de nivel del suelo. Las celdas son construcciones de concreto de forma rectangular, de diferente altura, con techo a dos aguas y que pueden tener piso plano o inclinado (pirámide invertida) bajo el nivel del suelo. El ingreso y egreso de granos se realiza a través del sistema de transporte de la planta (6).

En los silos y celdas, el almacenamiento requiere condiciones adecuadas de temperatura y de humedad para una conservación prolongada de la calidad de los granos o de la viabilidad de las semillas. Para esto se debe contar dentro de los silos y celdas con sistemas de termometría para detectar las variaciones de temperatura que ocurren dentro de la masa de granos (6).

La aireación en los silos y celdas es la operación de hacer pasar aire de menor temperatura que la del grano a través de la masa de granos almacenados por medio de ventiladores. Esto permite controlar los procesos de calentamiento y disminuir la

temperatura de manera de prolongar el tiempo de almacenaje seguro (TAS) de los granos y semillas (6).

La máquina limpiadora de granos está constituida por una serie de zarandas inclinadas que a través de un movimiento de vaivén separan los contaminantes que acarrear los granos (6). La prelimpieza es la operación que se realiza con la limpiadora y facilita las operaciones de secado, aireación y almacenamiento, ya que los contaminantes que acompañan a los granos y semillas ocupan lugar e incrementan el consumo de energía para el secado o impiden el flujo normal del aire en la operación de aireación. Esta operación, denominada también acondicionamiento, permite además, adecuar la calidad de los granos a las normas de tipificación vigentes.

En la secadora se elimina el exceso de humedad con el que pueden ingresar los granos o semillas a la planta de acopio hasta alcanzar valores aceptables para la conservación de la calidad de la mercadería y los estándares de comercialización. La humedad es el contaminante más perjudicial que afecta la calidad de los granos y semillas almacenados y que puede deteriorar completamente a la mercadería de manera que la solución es el secado que tiene distintas pautas de manejo de acuerdo a sí se trata de granos o de semillas (6).

Los sistemas de transporte de granos dentro de las plantas de acopio incluyen a las norias, cintas transportadoras y tornillos sin fin. Estos elementos vinculan a los distintos componentes de la planta, y su correcto manejo y mantenimiento permite conservar la calidad de los productos transportados y la durabilidad del sistema. La cantidad y capacidad de estos dispositivos deben ser adecuadas a las dimensiones de la planta para evitar congestionamientos (“cuellos de botella”) que puedan entorpecer el desarrollo fluido de las operaciones. Los silos elevados, o silos pulmón, se encuentran en la playa de carga y descarga, muchas veces sobre las vías del ferrocarril, donde los vehículos de transporte se ubican para ser cargados con la mercadería que sale de la planta (6).

## **A. SECUENCIA DE OPERACIONES**

### **A.1 INGRESO DEL GRANO A LA PLANTA.**

Recepción: El grano puede llegar a la planta transportado por diversos medios. En ese momento el recepcionista, habitualmente un Perito Clasificador de Granos, controla la documentación correspondiente a la carga (Carta de Porte).

Toma de muestras: de la carga para controlar la calidad de la mercadería ingresada. Se realiza por medio de un calador-sonda manual o hidráulico, haciendo varias tomas que



luego se mezclan sobre el catre donde el Perito Clasificador verifica que la mercadería sea aceptable de acuerdo a las normas de tipificación.

Análisis de la muestra: si la mercadería es de recibo se embolsa la muestra y se la lleva al laboratorio para determinación de su contenido de humedad y calidad. Esto determinará si el grano deberá pasar por la secadora, cuanto será el descuento de peso por merma y los gastos de secado.

Pesado y descarga de mercadería: para establecer la cantidad de grano que se recibe. En la descarga, el medio de transporte se estaciona sobre la rejilla de recepción y descarga el grano en la tolva (6).

## **A.2 FLUJO DEL GRANO EN LA PLANTA.**

De acuerdo a los resultados del laboratorio, a través de la noria es tomado desde la tolva de recepción para ser transportado a: silos o celdas de almacenaje, cuando las condiciones de limpieza y humedad del grano son adecuadas; limpiadora donde se elimina el exceso de materias extrañas, y si el contenido de humedad es adecuado pasa luego a los silos o celdas de almacenamiento de grano seco y limpio, en caso contrario pasa a la secadora; secadora, si el contenido de materias extrañas no es significativo pero el contenido de humedad es elevado, para el secado previo al almacenaje definitivo y otros movimientos, cuando se supere la capacidad de secado, el grano húmedo puede ser almacenado transitoriamente en silos de almacenamiento para grano húmedo, hasta que pueda pasar luego por la secadora (6).

## **A.3 CONTROL DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO.**

Puede realizarse a través de: aireación, cuando el grano ingresa al silo o a la celda caliente, proveniente del campo o de la secadora, se utiliza la aireación para disminuir su temperatura. Si existieran variaciones en el contenido de humedad, estas se pueden uniformar también por medio de la aireación; control de insectos, mediante el empleo de insecticidas; eliminación de la mercadería, si esta llegara a deteriorarse por ataque de hongos, como consecuencia de excesos de humedad no controlados (6).

## **A.4 EGRESO DE LA MERCADERÍA.**

La noria la lleva desde los silos de almacenaje a los silos elevados o silos pulmón para ser descargada en los medios de transporte (6). En la Figura 3.2 se puede apreciar un esquema-resumen de las operaciones implicadas en la planta de acopio.

El contenido del subtítulo "El acopio como ámbito de la poscosecha" fue extraído textualmente del cuadernillo del curso de Secado y Aireación de Granos, 2004, cuyos autores son Ing. Orlando Badiali y otros, editado por la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (6).

### OPERACIONES SOBRE UNA CARGA DE GRANOS QUE LLEGA A UNA PLANTA DE ACOPIO

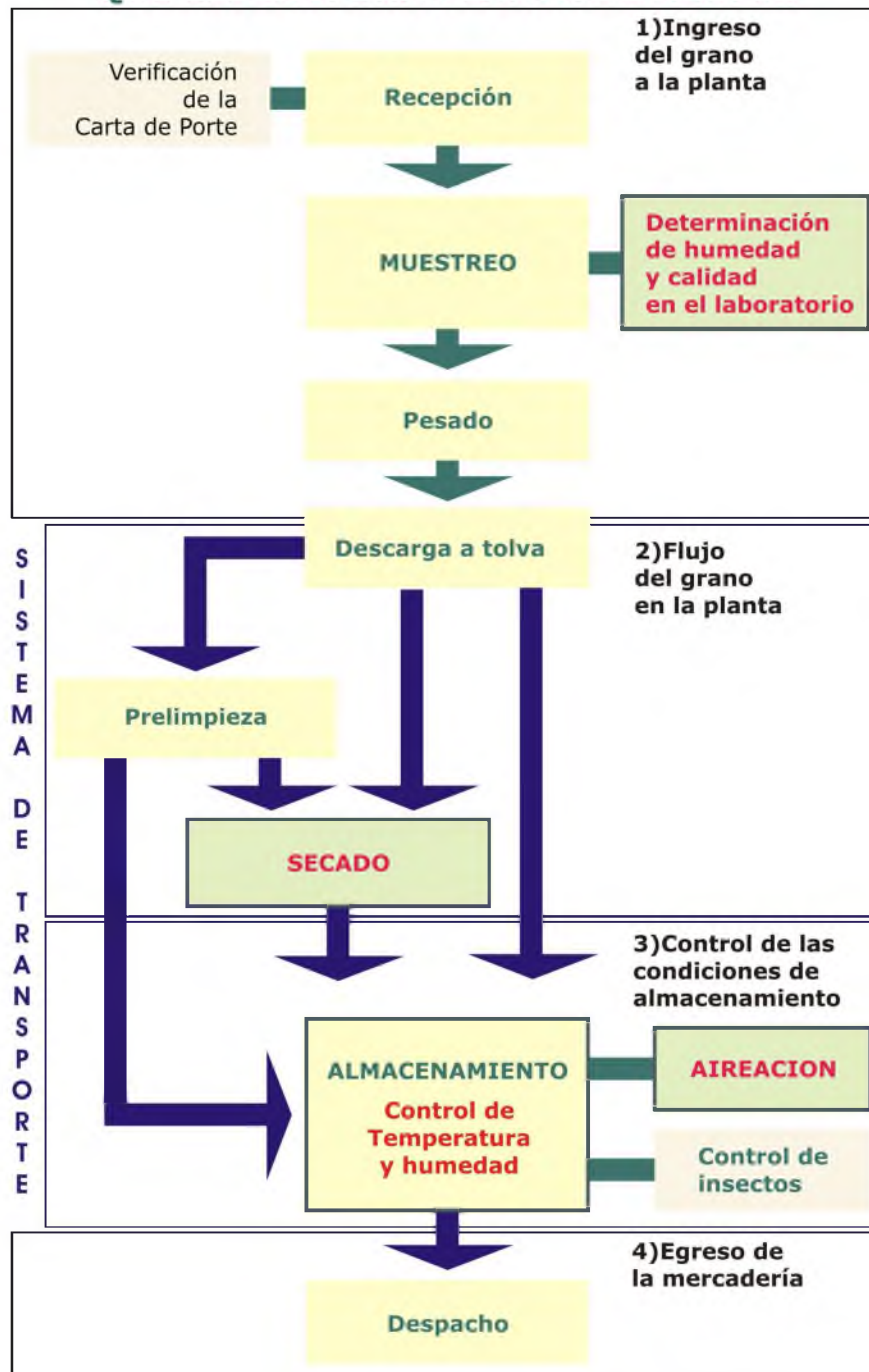


Figura 3. 2 Operaciones que se realizan en una Planta de Acopio. (Tomado de Curso de Secado y Aireación de granos, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, 2004, Badiali, Giambastiani y Viciano).

## HUMEDAD DE LOS GRANOS Y SU ENTORNO

### A. AGUA CONTENIDA EN LOS GRANOS

Debemos considerar que el agua no se encuentra repartida uniformemente dentro del grano. Así es como el agua se encuentra en aquellas partes del grano ricas en hidratos de carbono y proteínas, sustancias que son altamente hidrofílicas. El comportamiento inverso ocurre con la materia grasa, sustancia hidrofóbica.

Además, el agua dentro del grano se encuentra fijada de diferentes maneras. La fuerza con que es retenida el agua en el interior del grano es importante desde dos puntos de vista: por la función de solvente biológico de reacciones químicas del metabolismo del grano y por la facilidad de extracción durante el proceso de secado (6).

Se puede simplificar como el agua está fijada en el grano. Y en base a ello comprender mejor algunos comportamientos de la humedad de los granos. Los especialistas han determinado que el agua se presenta bajo cuatro formas distintas en función de la naturaleza de las uniones físico-químicas inherentes entre los componentes de la materia y las moléculas de agua y desde luego variando con los niveles de hidratación del producto (96).

Agua tipo 1 (Agua ligada vecinal). Está constituida por una capa monomolecular ligada a ciertos grupos moleculares de la materia y fuertemente polarizados. No es congelable a temperaturas de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y tampoco es evaporable. Actúa con sitios hidrofílicos de los constituyentes no acuosos por asociaciones agua-ión y agua dipolo. Cubre con una capa simple los grupos fuertemente hidrofílicos accesibles de los constituyentes no acuosos; también incluye el agua presente en microcapilares. La entalpía de vaporización comparada con el agua pura está grandemente aumentada. Se estima que el % de esta agua en alimentos de alta humedad (90 %) es del orden de  $0,5 \pm 0,4\%$ . Su capacidad disolvente es nula (38). Para el caso del maíz (baja humedad) comprende valores de 0 a 5 % (6).

Agua tipo 2 (Agua ligada multicapa). Es el agua que ocupa los restantes sitios de la primera capa y forma varias capas adicionales en torno a grupos hidrofílicos de constituyentes no acuosos; predominan los enlaces de hidrógeno agua-agua y agua-soluto. La mayoría es incongelable a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (es agua ligada); el resto congelable posee un punto de congelación grandemente reducido. La entalpía de vaporización comparada con el agua pura está ligeramente aumentada. Se estima que el % de esta agua en alimentos de alta humedad (90 %) es del orden de  $3 \pm 2\%$ . Su capacidad disolvente es moderada (38). Para el caso del maíz (baja humedad) comprende valores de 5 a 13 % (6).

Agua tipo 3 (Agua de la fase masiva libre). Es el agua que ocupa las posiciones más alejadas de los constituyentes no acuosos; predominan los enlaces agua-agua; tiene propiedades similares al agua de las soluciones salinas diluídas; su flujo macroscópico se halla impedido. Es congelable. Es evaporable cuando el grano desea alcanzar su equilibrio higroscópico. La entalpía de vaporización comparada con el agua pura está inalterada. Se estima que el % de esta agua en alimentos de alta humedad (90 %) es del orden de 96 % (38). Para el caso del maíz (baja humedad) comprende valores de 13 a 27 % (6).

Agua tipo 4 (Agua de la fase masiva atrapada). Es el agua que ocupa posiciones alejadas de los constituyentes no acuosos; predominan los enlaces de H agua-agua: tiene propiedades similares al agua de las soluciones salinas diluídas, excepto que su flujo macroscópico está impedido por el tejido del vegetal (39). Se halla atrapada en los poros de los granos (7). La entalpía de vaporización comparada con el agua pura está inalterada. Se estima que el % de esta agua en alimentos de alta humedad (90 %) es del orden de 96 % (38). Para maíz (baja humedad) comprende valores superiores al 27 % (6).

El término general "sorción" se usa para denotar la interacción agua-sustancia absorbente. También se puede utilizar, el término "equilibrio higroscópico". Los términos absorción y desorción (resorción) se usan especialmente para el proceso de ganar o perder agua por medio de sorción (6).

En un grano seco industrialmente, existe agua del tipo 1 y 2, ya que no es eliminable por desecación.

El contenido de agua para el almacenamiento seguro varía según el tipo de grano. Los granos de cereales, con predominancia de hidratos de carbono en su composición, admiten contenidos de agua superiores a los granos ricos en materia grasa (96). En el anexo 7 se pueden observar las gráficas correspondientes a las isotermas de sorción de trigo pan y soja. Se deduce de éstos gráficos, que para una humedad relativa del 70 % (actividad de agua de 0,7) (cuando se inicia la proliferación de microorganismos) y temperaturas de 20 °C, para el trigo corresponde 14 % de humedad de los granos y para soja corresponde 12 % de humedad de los granos. A temperaturas menores se permite mayor contenido de humedad y viceversa a temperaturas mayores que la del ejemplo (6).

## **B. EQUILIBRIO DEL AGUA EN EL GRANO**

El contenido de humedad del grano, que es un proceso dinámico, está en equilibrio con el contenido de humedad del aire que lo rodea cuando las presiones de vapor del grano y del aire son iguales.

Los granos son higroscópicos y ganan o pierden humedad dependiendo de la presión de vapor del grano en relación con la presión de vapor del aire o cualquier otro material en contacto con el grano. Las situaciones en que dicho equilibrio se rompe, el agua en forma de vapor se traslada de un medio a otro (6).

El conocimiento del contenido de humedad de equilibrio de los granos tiene implicancias prácticas en los procesos de secado y aireación.

Una pequeña capa de granos con un contenido de humedad o presión de vapor elevada expuesta a una atmósfera con baja presión de vapor o humedad relativa cederá vapor de agua al ambiente hasta que ambas presiones de vapor se equilibren, o lo que es lo mismo, se alcance el equilibrio entre el contenido de humedad de la semilla y la humedad relativa ambiente del aire que rodea a la capa de granos. A la inversa, si la presión de vapor del ambiente es mayor que la correspondiente al contenido de humedad de los granos, estos absorberán humedad del ambiente hasta que se logre el equilibrio. Cuando ambas presiones de vapor son equivalentes, no existe diferencia entre la humedad de los granos y del ambiente que los rodea: es la humedad de equilibrio (6).

Para cada humedad relativa del ambiente le corresponde un contenido de humedad o presión de vapor de equilibrio. Estos contenidos de humedad de equilibrio han sido determinados experimentalmente para varios tipos de granos.

También se presentan gráficamente en la forma de isotermas de sorción. Una isoterma de sorción es una curva que relaciona el contenido de humedad de equilibrio de un producto, con la humedad relativa del aire a una determinada temperatura (ver Anexo 7) (6).

La humedad del grano aumenta con el incremento de la humedad relativa y disminuye ligeramente con el incremento de la temperatura.

Los datos experimentales de contenidos de humedad de equilibrio muestran considerable variación aún a la misma temperatura y humedad relativa, lo que puede deberse, además del consabido error experimental a numerosos factores tales como variedad de grano, estado de madurez, variaciones en composición química, entre otros. La composición química de los granos afecta al contenido de humedad de equilibrio. Las proteínas y el almidón son hidrofílicos mientras que el aceite es hidrofóbico, por lo tanto, a una determinada temperatura y contenido de humedad de los granos, la humedad relativa de equilibrio de las oleaginosas es más alta que la correspondiente a los granos sin aceites. Por ejemplo, el almacenamiento de la soja debe realizarse con humedad del grano 1-2 % menor que la mayoría de los granos de los cereales debido a que contiene un porcentaje más alto de aceite (6).

El contenido de humedad de equilibrio que alcanzan los granos con la humedad relativa del aire es diferente cuando el grano absorbe humedad del ambiente (absorción) que

cuando el grano pierde humedad (desorción). La diferencia entre la isoterma de absorción y desorción se denomina "histéresis". Se han postulado varias teorías para explicar el fenómeno de histéresis en los granos. La teoría de la "botella de tinta" de Kraemer y Taylor (1931) es la mejor conocida. Esta teoría asume que el grano es un cuerpo poroso con capilares consistentes de cuellos estrechos de pequeño diámetro con tubos de gran diámetro. Durante la desorción los radios pequeños de los cuellos controlan el vaciado de los capilares resultando en la disminución de la humedad relativa por encima de los granos porosos capilares. Por el contrario, durante la absorción los capilares no se llenan completamente hasta la humedad relativa correspondiente a los radios mayores de los tubos más grandes. Otras teorías atribuyen el fenómeno de histéresis a la reducción molecular del grano, lo que implica la reducción de la disponibilidad de sitios polares para la unión con agua sobre la superficie del grano que sigue a la desorción (21).

El máximo contenido de humedad permisible para el almacenaje seguro de los granos depende casi exclusivamente de sus propiedades higroscópicas. Cuando se almacena una masa de granos en un silo, la humedad del aire intergranos alcanza rápidamente el equilibrio con el contenido de humedad de los granos. Si la humedad relativa del aire intergranos es lo suficientemente baja, los microorganismos, en particular los hongos, no crecen.

El contenido máximo de humedad en base húmeda aconsejados para el almacenaje de hasta un año para diferentes granos son: maíz, 13 %; trigo, 13-14 %; cebada, 13 %; avena, 13 %; sorgo, 12-13 %; arroz, 12-13 % y soja, 11-12 %. Estos contenidos de humedad son válidos para el caso de que el contenido de humedad sea uniforme en toda la masa de granos y que los insectos están ausentes (22).

## GENERALIDADES DEL PROCESO DE SECADO

El secado de granos, consiste en hacer pasar una corriente de aire (natural o caliente) a través de la masa de granos, cuya humedad relativa (presión de vapor) sea inferior a la del equilibrio de manera que el grano ceda humedad al aire hasta que se logre un nuevo equilibrio o se alcance el contenido de humedad deseado. El secado de granos, se corresponde dentro de los métodos para secar productos alimenticios al *Secado con aire caliente* (20). Es una práctica común en el acopio, en la actualidad se seca el 80 % de la soja, el 70 % del maíz, el 60 % de girasol y sorgo y el 30 % del trigo (96). Esta metodología de trabajo surge como consecuencia de la realización de cosechas anticipadas una vez que el grano alcanzó su madurez fisiológica. Entendiendo por madurez fisiológica (MF), a la etapa de desarrollo del cultivo cuando el grano alcanza un peso seco constante (23).

Las ventajas de la cosecha anticipada, aunque el grano no tenga el contenido de humedad apropiado, son las siguientes:

- Aumenta el rendimiento, al producir menor vuelco de plantas (insectos, enfermedades, viento, etc., causan el vuelco); al retrasar la cosecha se incrementa el porcentaje de plantas volcadas; por otra parte, las plantas verdes se pueden levantar con más facilidad; se evita la gran invasión de malezas, que dificultan la cosecha y perjudican el manejo, acondicionamiento y conservación.
- Permite anticipar la fecha de siembra del cultivo siguiente (por ejemplo, soja sobre el rastrojo de trigo).
- Evita la madurez heterogénea del cultivo, ya sea genéticamente determinada o como producto de la interacción genotipo-ambiente.
- Disminuye los problemas de escasez de almacenamiento.
- Beneficia económicamente, al poder negociar los precios (96).

## **A. PROPIEDADES DEL AIRE DE SECADO**

Durante el secado de un sólido húmedo en atmósfera de aire caliente, el aire proporciona a la humedad el calor sensible y latente de evaporación y, a la vez, actúa como transportador para la separación del vapor de agua formado, alejándolo de la proximidad de la superficie de evaporación. La cantidad de agua extraída durante este proceso puede seguirse a través del estudio de la psicrometría del aire (20).

La psicrometría se define como "aquella rama de la física relacionada con la medición o determinación de las condiciones del aire atmosférico, particularmente respecto de la mezcla de aire seco y vapor de agua", o bien "aquella parte de la ciencia que está íntimamente ligada a las propiedades termodinámicas del aire húmedo". Las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua revisten gran interés en la etapa de poscosecha de productos agrícolas, por el efecto que tiene la humedad del aire atmosférico sobre el contenido de humedad de los productos.

El medio de secado es aire húmedo, que consiste en una mezcla de aire seco y vapor de agua. El aire seco está compuesto de varios gases y una cantidad variable de vapor de agua. Aunque la fracción de peso del vapor de agua en el aire usado para el secado de granos es siempre menor a un décimo, la presencia de moléculas de vapor de agua tiene un marcado efecto sobre el proceso de secado. Se usan varios términos para expresar la cantidad de vapor de agua en aire húmedo. Estos y otros términos termodinámicos empleados en la descripción de las propiedades del aire húmedo se definen a continuación (42).

## A.1 DEFINICION DE TERMINOS PSICROMETRICOS

Tres propiedades hacen referencia a la cantidad de vapor de agua retenida en el aire de secado: presión de vapor, humedad relativa y humedad absoluta.

Otras tres propiedades están en relación a la temperatura del aire: temperaturas del bulbo seco, del bulbo húmedo, y del punto de rocío.

Dos propiedades adicionales frecuentemente usadas en cálculos de secado de granos son la entalpía y el volumen específico.

Estas ocho propiedades termodinámicas del aire húmedo se definen en los siguientes párrafos (6).

### **Presión de Vapor**

La presión de vapor ( $P_V$ ) es la presión parcial ejercida por las moléculas de vapor de agua en el aire húmedo. Cuando el aire está completamente saturado con vapor de agua, su presión de vapor se denomina presión de vapor saturado ( $P_{VS}$ ). La presión de vapor en el aire usada para secado de granos es pequeña (menor de 6,9 kPa) cuando se la compara con la presión atmosférica de 101,35 kPa (6).

### **Humedad relativa**

La humedad relativa ( $H_r$ ) es la relación entre la fracción de vapor de agua en el aire y la fracción de vapor de agua en el aire saturado a la misma temperatura y presión atmosférica, o lo que es igual, la relación entre la presión de vapor del aire y la presión de vapor del aire saturado. La humedad relativa es adimensional y se expresa de forma decimal o como un porcentaje (al multiplicar el valor decimal por 100). En secado de granos se encuentran valores de humedad relativa entre 0,5 y 100 % (6).

### **Humedad absoluta**

La humedad absoluta ( $H_a$ ) es la masa de vapor de agua contenida en el aire húmedo por unidad de masa de aire seco. Otros términos usados para humedad absoluta son relación de humedad y humedad específica. Los valores de humedad absoluta del aire de secado de granos son relativamente pequeños, variando desde 0,005 kg a 0,2 kg de agua por kg de aire seco (6).

### **Temperatura del Bulbo Seco**

La temperatura del bulbo seco ( $T_{bs}$ ) es la temperatura del aire húmedo indicada por un termómetro común. En este texto, en cualquier lugar que el término temperatura se usa sin prefijo implicará temperatura del bulbo seco. Las temperaturas del aire de secado de granos varían desde 4,4 °C a 287,8 °C (6).



### **Temperatura del Punto de Rocío**

La temperatura del punto de rocío ( $T_r$ ) es la temperatura a la cual se produce condensación de la humedad cuando el aire, con una determinada humedad absoluta es enfriado. Entonces, la temperatura del punto de rocío puede considerarse como la temperatura de saturación correspondiente a la humedad absoluta y la presión de vapor del aire húmedo (6).

### **Temperatura del Bulbo Húmedo**

Debería realizarse una distinción entre las temperaturas psicrométricas y termodinámicas del bulbo húmedo. La temperatura psicrométrica del bulbo húmedo ( $T_{bh}$ ) es la temperatura del aire húmedo indicada por un termómetro cuyo bulbo está cubierto por una tela húmeda y expuesto a una corriente de aire que pasa sobre la tela a una velocidad de al menos 4,6 m/s (6).

Un psicrómetro es un aparato que permite medir la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo.

### **Entalpía**

La entalpía ( $H$ ) de una mezcla de aire seco-vapor de agua es el contenido de energía del aire húmedo por unidad de masa de aire seco por encima de una cierta temperatura de referencia. Dado que para el secado de granos nos interesan las diferencias en entalpía, la elección de la temperatura de referencia no tiene importancia. Los valores de entalpía del aire húmedo empleadas en secado de granos varían desde 23 kJ/kg a 314 kJ/kg de aire seco (6).

### **Volumen Específico**

El volumen específico ( $v_e$ ) del aire húmedo se define como el volumen por unidad de masa de aire seco. La densidad específica del aire húmedo es igual a la recíproca de su volumen específico. El volumen específico del aire usado para secado de granos está entre  $0,78 \text{ m}^3/\text{kg}$  y  $1,59 \text{ m}^3/\text{kg}$  de aire seco (6).

### **Calor Específico**

Representa la cantidad de calor necesaria para aumentar en una unidad la temperatura del aire, del agua u otro material. El calor específico usado para aire es  $1,00693 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$ ; para vapor de agua, el valor es  $1,87569 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$  (6).

## **A.2 CARTAS PSICROMETRICAS**

Para evitar cálculos psicrométricos que consumen tiempo, los investigadores han preparado cartas especiales que contienen valores de las propiedades termodinámicas más comunes del aire húmedo. Se las denomina cartas psicrométricas (23). Se usan diferentes cartas psicrométricas que difieren entre si con respecto a la presión barométrica, rango de temperaturas, número de propiedades termodinámicas incluidas y elección de coordenadas.

En Europa se usa la carta Mollier con la humedad absoluta y la entalpía como coordenadas. La Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire (ASHRAE) ha desarrollado varias cartas en el rango de  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $121\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Una de ellas ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) se reproduce en el anexo 8.

El eje horizontal presenta valores para la temperatura del bulbo seco (Figura 3.3a). Las líneas de temperatura del bulbo seco constante corren rectas y hacia arriba. Las líneas de humedad absoluta (razón de humedad) son horizontales y los valores se leen sobre el eje vertical a la derecha de la carta. Las líneas de temperatura de bulbo húmedo, también denominadas líneas de enfriamiento adiabático, son rectas y hacen ángulos agudos con el eje vertical (Figura 3.3c).

Las líneas de entalpía son oblicuas, líneas paralelas en la misma dirección que las líneas de temperatura de bulbo húmedo. Los valores de las líneas de entalpía se indican en una escala sobre el lado superior izquierdo de la carta (Figura 3.3f).

El eje horizontal representa la línea de 0 % de humedad relativa (aire seco). Las líneas de humedad relativa más altas son curvadas y se desvían hacia arriba, comenzando en el ángulo inferior izquierdo de la carta. La curva de 100 % de humedad relativa es la curva de saturación. Los valores para la temperatura del punto de rocío, la temperatura de bulbo húmedo, y la temperatura de bulbo seco están indicadas sobre la curva de saturación. Las tres temperaturas son iguales en el punto de saturación (Figura 3.3b).

Las líneas de volumen específico son rectas, oblicuas y con ángulos más agudos con respecto al eje vertical que las líneas de entalpía y de temperatura de bulbo húmedo. Las líneas de volumen específico también representan valores de densidad constante, ya que la densidad es igual a la recíproca del volumen específico (Figura 3.3d).

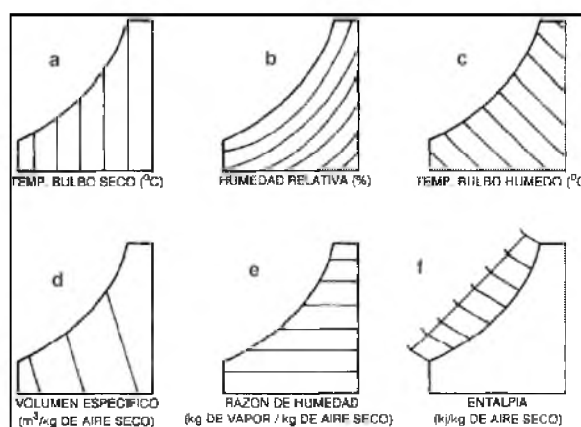


Figura 3. 3 Representación en la carta psicrométrica de las propiedades del aire (tomado de Curso de Secado y Aireación de Granos, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. 2004. Badiali, Giambastiani y Viciano)

Las cartas ASHRAE son para presión barométrica estándar (a nivel del mar). A alturas significativas tales como 1500 m, las cartas estándar no pueden ser usadas, y deben usarse las ecuaciones termodinámicas o cartas psicrométricas especiales (6).

## B. ACONDICIONAMIENTO DE GRANOS

Varios procesos relativos al acondicionamiento de granos pueden ser representados convenientemente sobre la carta psicrométrica: calentamiento y enfriamiento sensible, calentamiento con humidificación, enfriamiento con deshumidificación y secado. El secado de granos es un proceso adiabático, esto significa que el calor requerido para la evaporación de la humedad del grano lo suministra únicamente el aire de secado, sin transferencia de calor o radiación del medio circundante.

El aire ambiente se calienta por el accionar de los quemadores, pasando desde el punto de estado 1 al punto de estado 2 (Fig. 3.4). Se produce un aumento de la temperatura de bulbo seco, de la temperatura de bulbo húmedo, de la entalpía y del volumen específico; también se produce la disminución de la humedad relativa, en tanto que se mantiene constante o aumenta ligeramente la humedad absoluta (6).

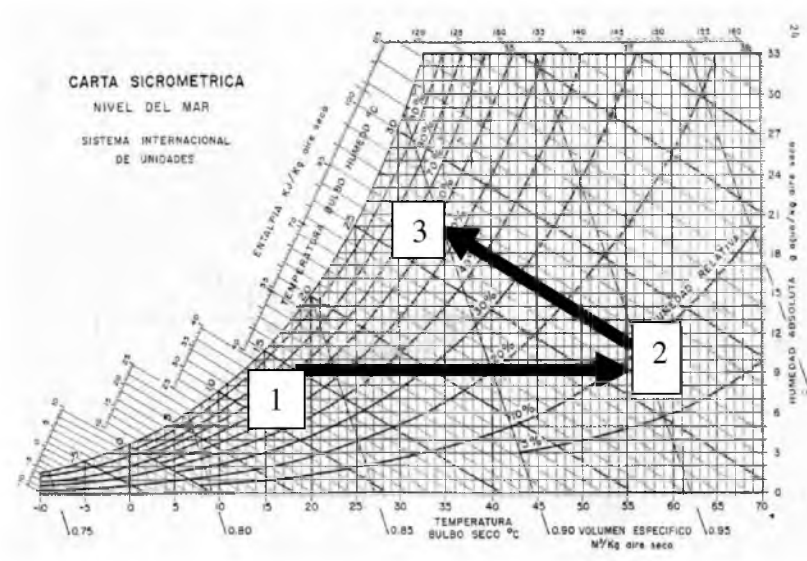


Figura 3. 4 Representación gráfica sobre la carta psicrométrica del proceso de secado.

A medida que el aire pasa a través de la masa de grano húmedo, una gran parte del calor sensible del aire es transformado en calor latente de vaporización como resultado de la cantidad creciente de vapor retenido en el aire. Como consecuencia del paso a través de la masa de granos, el aire pasa desde el punto de estado 2 al punto de estado 3. Se produce la disminución en la temperatura del bulbo seco, e incrementos en la humedad absoluta, la

humedad relativa, y la temperatura del punto de rocío. La entalpía y la temperatura del bulbo húmedo permanecen constantes durante el proceso adiabático de secado (6).

## **C. MÉTODOS DE SECADO**

El secado de granos, según la existencia o no del flujo de aire, puede clasificarse en natural o artificial (6).

### **C.1 SECADO NATURAL**

Se emplea el calor del sol y/o la baja humedad relativa del aire ambiente. Los granos se extienden en capas delgadas sobre una superficie plana y firme como un piso de concreto. También pueden emplearse mallas de alambre con orificios de menor tamaño que el de las semillas, con marco de madera y elevados de manera de aumentar la superficie de contacto entre las semillas y el aire que las rodea y acelerar el proceso de secado. En otros casos se construyen estructuras rectangulares con malla de alambre, con la cara de mayor superficie expuesta hacia los vientos dominantes, cubiertas con un techo protector y que aísla a las semillas de probables precipitaciones mientras dura el proceso de secado (6).

### **C.2 SECADO ARTIFICIAL**

El secado artificial consiste en hacer pasar una corriente de aire, a temperatura ambiente o calentada artificialmente, a través de la masa de granos por medio de ventiladores. Los requerimientos de infraestructura son ventiladores para mover el aire, fuente de calor (para el secado con aire caliente), depósito de granos (silo o secadora) y sistemas de control del proceso (6).

El aire utilizado para extraer el agua desde el grano puede tener la temperatura del ambiente o puede ser calentado artificialmente. Una parte del calor del aire aumenta la temperatura del producto (calor sensible) y otra parte proporciona el calor requerido para la vaporización del agua contenida en los granos o calor latente de vaporización (67).

A pesar del costo que implica el secado artificial, presenta una serie de ventajas respecto del secado natural: puede realizarse independientemente de las condiciones ambientales, se pueden programar las operaciones con más facilidad y la rapidez del proceso impide la proliferación de hongos.

Los granos pueden encontrarse en movimiento o estáticos durante el proceso, por lo cual el secado también puede ser clasificado en: estacionario y continuo (6).

### **C.3 SECADO ESTACIONARIO**

El secado estacionario puede clasificarse según donde se lleve a cabo: en secadoras estáticas o en silos de secado.

Las secadoras estáticas se caracterizan por que el grano permanece dentro de la máquina sin movimiento hasta que se termina el secado. Disponen de un dispositivo

generador de calor donde se quema el combustible para calentar el aire y un sistema de ventilación que impulsa el aire caliente a través del grano. Una vez que los granos están secos, se apaga el quemador, dejándose prendido solo el ventilador hasta que los granos se enfrían. Luego se extraen, y se carga nuevamente la máquina con grano húmedo.

El uso de este tipo de secadoras está circunscrito a establecimientos rurales pequeños a medianos. La capacidad de secado es de 5 a 7 t /h y tienen la ventaja de que pueden usarse en el mismo establecimiento durante la cosecha debido a su característica de ser transportable (6).

#### **C.4 SECADO CONTÍNUO**

El secado continuo normalmente se realiza con secadoras de gran capacidad, sin embargo también puede realizarse en silos en los que el grano esta permanentemente en circulación.

El secado en secadoras es considerado de alta capacidad ya que la cantidad de grano procesado por unidad de tiempo es mucho mayor que en el sistema de “secado en silo”. Estas secadoras utilizan altas temperaturas de secado que varían desde 50 a 300°C. También es variable el consumo específico de energía, que es la suma de la energía proveniente del combustible y la energía eléctrica utilizada para evaporar una cantidad unitaria de agua desde los granos. En secadoras que trabajan en el rango de 50-200 °C, el consumo específico de energía oscila entre 3 a 10 MJ/kg de agua (720 a 2400 kcal/kg). El consumo específico de energía de una secadora disminuye con el incremento de la temperatura del aire de secado, y con el aumento de la humedad relativa del aire de salida o usado. El aumento de la temperatura del aire de secado permite que este absorba más humedad, de esta manera, el flujo de aire requerido por unidad de masa de grano es menor para secadoras de alta temperatura respecto de secadoras de baja temperatura. La disminución del flujo de aire tiene la ventaja de que disminuye el tamaño del ventilador y la polución del ambiente. Mientras mayor es la humedad relativa del aire de salida, mayor es la cantidad de agua extraída a partir de los granos lo cual implica un menor consumo (6).

Las secadoras pueden clasificarse en: flujo concurrente, contraflujo, flujo cruzado, flujo mixto. Esta clasificación se refiere a la dirección relativa de movimiento del grano y del aire a través de la secadora (Fig. 3.5). En las secadoras de flujo cruzado el grano y el aire se mueven en direcciones perpendiculares (6).

Las direcciones de movimiento son paralelas y en el mismo sentido en las secadoras de flujo concurrente; y en sentido opuesto en secadoras de contraflujo. Las secadoras de flujo mixto son una combinación de flujo cruzado, flujo concurrente y contra flujo.

Además de estas se conocen varios tipos más de secadoras (23; 33), pero las secadoras de flujo cruzado, también conocidas como de columnas y las secadoras de flujo mixto o de caballetes son las más utilizadas en Argentina (6).

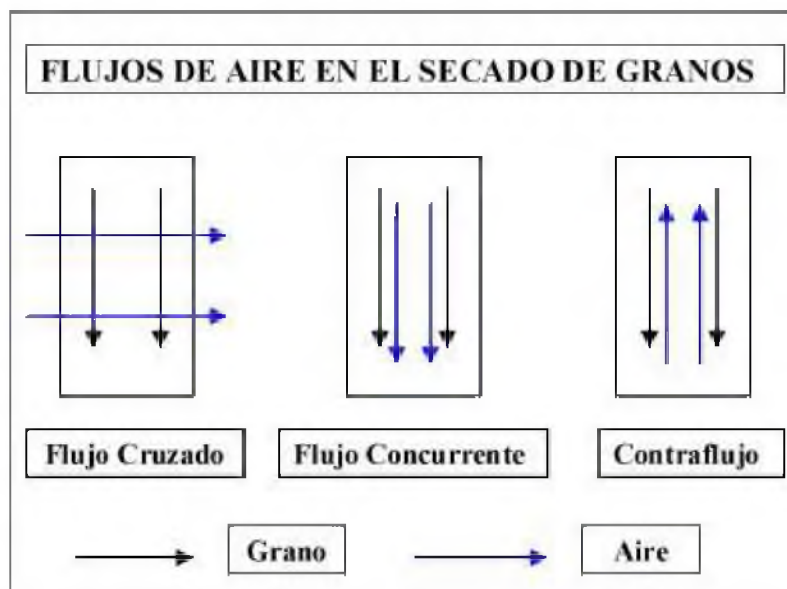


Figura 3. 5 Esquema de los flujos de granos y de aire en las diferentes clases de secadoras continuas. (Tomado de: Curso de Secado y Aireación de Granos. 2004. Badiali, Giambastiani y Viciano).

#### **D. VELOCIDAD DE SECADO**

Es el porcentaje de humedad extraído por hora, para que el grano no sufra deterioro. Por ejemplo: con baja temperatura y empleando una velocidad elevada se producen efectos perjudiciales. Secando de 22 a 14 % se puede lograr en 2 horas, extrayendo 4 % por hora (secado suave). También en 45 minutos, extrayendo más de 10 % por hora (secado forzoso). Lo recomendable es: maíz, sorgo y girasol, menos del 5 % por hora; trigo menos del 4 % y soja menos del 3 % por hora. Y en general, una recomendación permanente es no extraer más de un 3 o 4 % por pasada por la secadora. A mayor humedad es más delicado y requiere menos temperatura, por el contrario a menor humedad, es más resistente a entregar humedad y requiere mayor temperatura, para extraer igual cantidad de agua por unidad de tiempo. En estas circunstancias, la temperatura máxima del grano no debe ser superior a: 55 °C (sorgo); 50 °C (trigo, maíz); 45 °C (girasol y soja); 35 °C (arroz) (96).

Si el grano se expone a un secado excesivamente rápido (violento), la velocidad de evaporación del agua de la capa superficial se torna superior a la velocidad de reposición del agua líquida del interior hacia la periferia, favoreciéndose la interrupción de la circulación

de agua en los interiores de los capilares y generando vapor de agua, que lo atraviesa dificultosamente. Este efecto, que perjudica al grano físico como químicamente, propicia el enfriamiento rápido, que termina por contraer en forma diferencial las estructuras del grano, favoreciendo el fisurado en el maíz o el descascarado en la soja. La evolución de este proceso puede comprenderse en las siguientes etapas: a) entrada del grano húmedo a la secadora, b) rápida evaporación del agua de la periferia, c) el grano queda seco y caliente en la periferia y húmedo y frío en el interior, los poros periféricos se cierran y dificultan el movimiento del agua de la zona central, d) en el centro se ocasionan contracciones y se acentúan las tensiones internas, el grano se fragiliza y e) el grano sale excesivamente seco a la periferia, busca el equilibrio, movilizándolo el agua interna hacia fuera y si se dan las condiciones busca absorber agua ambiente, fenómeno conocido como revenido (96).

## **CARACTERISTICAS DEL SECADO DEL TRIGO Y SOJA**

### **A. TRIGO**

El trigo rara vez se cosecha a humedades superiores al 20%. Esto se debe a varias razones; en primer lugar es un cereal que se recolecta en pleno verano, con altas temperaturas ambiente, de manera que el secado natural en planta es muy rápido; en segundo lugar, como es perjudicado por un secado artificial de elevadas temperaturas en la secadora, se trata entonces de cosechar lo más seco posible. Hace unos años, cuando el doble cultivo de trigo-soja se había extendido en buena parte del área agrícola, se intensificó una tendencia a cosechar más húmedo el trigo para poder sembrar temprano la soja en el mismo lote. Como había poca experiencia en el secado de trigo, se emplearon las mismas temperaturas que en el maíz, lo cual trajo aparejado un deterioro notable en la calidad de ese grano, que ocasionó grandes quejas por parte de la industria molinera y panadera (31).

El hecho de disminuir pocos puntos de humedad en el secado de este grano ocasiona un aumento del caudal de grano dentro de la máquina casi dos veces superior al del maíz, detalle que debe ser considerado en los equipos de movimiento del cereal antes y después de la secadora, y en el tiempo disponible para el enfriamiento, que puede ser insuficiente. Estas son buenas razones para rebajar las temperaturas de secado, de manera que pueda crecer el tiempo de residencia dentro de la secadora. Se debe considerar, además, que normalmente el caudal de aire en las secadoras de flujo mixto, por el peligro de arrojar semillas hacia el exterior. Como norma general aceptada, en la mayoría de los países se ha establecido una temperatura máxima del aire de secado de 90 °C. A estos valores el grano de trigo no superará los 50-60 °C de temperatura y mantendrá así una calidad aceptable para la industria.

Según otros autores, la sensibilidad del trigo a las altas temperaturas de secado es función del contenido de proteínas. Cuanto mayor es su contenido de proteínas mayor la temperatura de secado. En Canadá, con trigos de 16% de proteínas, fijan un límite de 50 °C a dichas temperaturas. Con respecto al grano, no debiera superar los 45 °C. Este hecho de reducir la temperatura del aire de secado al grano que ingresa con poca humedad, conduce a un consumo específico de energía mayor que en el caso del maíz, que puede situarse entre valores de 1.500 a 2.000 kcal/kg de agua evaporada (31).

Las determinaciones más corrientes para evaluar la calidad de una partida de trigo son el alveograma y el volumen de pan (para la calidad panadera) y las pruebas de Hagberg-Perten (para cuantificar factores físico-químicos).

Las características de la masa, el valor de la fuerza panadera W y el volumen de panificación se mantienen estables hasta una temperatura de secado de 80 °C. A partir de 100 °C el valor panadero se degrada, el gluten se desnaturaliza en parte y este fenómeno repercute sobre el amasado y, por supuesto, sobre el aspecto interior y exterior del pan. A partir de los 120 °C, el trigo es inapto para la panificación. Los trigos blandos cosechados húmedos (más de 18%) deberían ser secados a temperaturas no superiores a 90°C. Los trigos casi secos (15 % a 16% de humedad) para ser llevados a 14% requieren una temperatura inferior a 80 °C. Estos trigos casi secos que se sobresecan a propósito a 10 %-12% para futuras mezclas con trigos húmedos, no deberían ser secados a temperaturas mayores a 60 °C. Experiencias llevadas a cabo por Tosi et al (1986) indican que trigos con 31% de humedad inicial, no deben superar los 58 °C de temperatura del grano, para no ver comprometida su calidad; trigos cosechados a 26%, no debieran superar los 62°C, mientras que los trigos con 21% y 17% de humedad inicial, pueden soportar temperaturas de 66 °C y 70 °C, respectivamente (14).

## **B. SOJA**

El grano de soja es muy higroscópico y absorbe humedad y pierde humedad con mayor facilidad que otros granos. Es posible que en horas de la mañana, un grano ya maduro y en la planta de soja en pie, tenga 18% de humedad, pero a las dos de la tarde, la misma haya bajado a 12%. Si cae una lluvia o en la mañana siguiente con niebla, recuperará la humedad anterior. Por esta razón, y por ofrecer menor resistencia al paso del aire, el secado de soja es más rápido. En las secadoras comerciales corrientes no se aconseja emplear temperaturas de secado mayores de 80°C. Valores superiores a éste



ocasionan una serie de daños, en particular: desprendimiento de cáscara (muchoa soja partida) (31).

Este deterioro es provocado, principalmente por secar granos a menos de 12% de contenido de humedad. Ensayos realizados en INTA Pergamino (32) han demostrado que soja secada a 11,5% ha alcanzado porcentajes de partido (grano partido por la mitad en sus dos cotiledones) de un 10% cuando era destinada a la exportación. Se calcula que un 5% lo partía la operación de la cosechadora, un 2% el secado y el resto el manipuleo posterior del grano. Si se secaba a 14%, estos porcentajes se reducían en buena proporción (31).

El exceso de cáscara suelta no es un problema en algunos países, como Estados Unidos, donde la soja se descascara antes de su industrialización en los molinos aceiteros. Tampoco un porcentaje de soja partida resulta ser un problema grave para dicha industria, si la soja es procesada al poco tiempo de su cosecha. El problema se agrava cuando debe ser almacenada por períodos prolongados, pues soja con altos porcentajes de grano partido y cáscara está más expuesta a los problemas de acidificación y deterioro mayor. En estos casos la calidad del aceite obtenido desmejora en forma notable. Otros inconvenientes observados por secados inadecuados es la reducción del peso hectolítrico, del índice de yodo, del índice de peróxidos y la destrucción de un cierto contenido de lisina. Sin embargo, no se afecta mayormente el contenido total de aceite y proteína. Este grano se presta para el utilizar el método de seca-aireación (31).

La soja, igualmente, puede ser secada con aire caliente en silos secadores. Esta práctica es común en Estados Unidos, empleando silos secadores de fondo perforado. Los productores suelen cosechar con humedades del 16 a 18% para reducir así las pérdidas de cosecha por desgrane. Luego secan a temperaturas inferiores a 50 °C en dichos silos; reducen de esta forma la humedad de 16 % a 12% en sólo 45 minutos (31).

Del mismo modo se puede secar con aire natural, pero requiriendo mayores caudales de aire, de hasta 100 m<sup>3</sup> por hora y m<sup>3</sup> de grano, valores que exigen altas potencias de ventiladores. Se puede demorar en estos casos unas dos semanas (31).

Este tipo de secado puede producir una soja de excelente calidad, casi sin rotura de cáscara ni partido. Se ha comprobado que la rotura de cáscara está directamente relacionada con la humedad relativa del aire de secado y con la humedad inicial del grano. En las secadoras comerciales tipo torre la humedad relativa del aire de secado es muy baja, del orden del 1 al 3%, lo cual origina mucha rotura de cáscara y partido. En cambio con secado natural o a baja temperatura es posible tener aire con 30 - 40% de humedad relativa,

que no causa dicho deterioro. Se aconsejan las siguientes humedades relativas mínimas para diferentes humedades iniciales del grano y para secado a baja temperatura: para 15 % de humedad inicial, 19 % de humedad relativa; para 20 % de Hi, 25 % de HR y para 24 % de Hi, 35 % de HR (33).

Las secadoras comerciales tipo torre, empleando temperaturas de unos 80°C, pueden aumentar el porcentaje de soja rota y partida en un 10%, el daño de tegumento en un 23%, reducir el peso hectolítrico en una unidad aproximadamente y el poder germinativo en un 30%. Hay que tener presente que la soja suele sufrir un proceso ulterior de secado, generalmente previo a la industrialización, o a su empleo como alimento animal, proceso que se conoce como "tostado", y que se realiza en hornos especiales. Este tostado tiene como finalidad la de destruir por calor algunas enzimas, como la lipoxigenasa que produce un desagradable sabor a "vaina", o para destruir un inhibidor de tripsina, que la hace indigestible para animales monogástricos (aves). El tratamiento requiere temperaturas de 370 °C por un minuto, o una hora a 120 °C (33).

A modo de resumen, en la Tabla 3.1 se detallan las temperaturas de secado de diferentes granos.

**Tabla 3.1 Temperaturas máximas de secado de diferentes granos.**

Producto	Destino	Humedad base (%)	Temperatura (°C)
Maíz	Semillas	-	44
	Almidón	18	55
	Alimentación animal	-	82
Arroz con cáscara		< 20	44
		> 20	40
Trigo	Semilla	< 20	49
		> 20	44
	Molienda	14	66
Soja	Semillas	19	48
	Agroindustria	-	37
Maní	Semillas	-	37
Girasol	Semilla	17	45

Fuente: Muckle y Stirling (1971), Review of Drying of Cereals and Legumes in the Tropics. Citados por Puzzi D, 1984



## **Sección 2**

### **Hipótesis**

#### **Enunciado**

La calidad intrínseca de los granos de trigo y soja en la poscosecha se ve afectada, fundamentalmente, por la operación de secado cuando es llevada a cabo en condiciones no óptimas. El exceso de temperatura en el interior del grano produciría cambios en las propiedades físico-químicas de sus componentes, en especial las proteínas, modificando la calidad tecnológica y las propiedades nutricionales de los productos obtenidos a partir de estos granos.



**Sección 3**  
**Desarrollo Experimental**

PLAN DE ENSAYOS DE CALIDAD DE GRANOS

MATERIALES Y MÉTODOS

INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN

## **OBJETIVOS**

### **Generales**

Realizar ensayos experimentales en muestras de trigo y soja secadas a diferentes temperaturas superiores a las permisibles a los fines de comprobar la hipótesis.

### **Específicos**

Evaluar parámetros indicadores del deterioro de la calidad de los granos en función de la temperatura del mismo.

Describir los métodos realizados.

Obtener resultados e interpretarlos estadísticamente.



## **CAPÍTULO 4**

### **PLAN DE ENSAYOS DE CALIDAD DE GRANOS**

TIPOS DE ENSAYOS

PREPARACION DE LA MUESTRA

## TIPOS DE ENSAYOS

Con la finalidad de evaluar los cambios ocasionados en la calidad intrínseca de los granos debido a un secado excesivo, se seleccionaron los ensayos a realizar de acuerdo a la disponibilidad de equipos y reactivos, tiempos y costos, entre otras. (Tabla 4.1)

**Tabla 4.1 Determinaciones a realizar durante el desarrollo experimental.**

Tipo de Grano	Determinación
Trigo	Temperatura de grano
	Peso hectolítrico
	Índice de Sedimentación en SDS
	Gluten húmedo
	Nitrógeno total
	Índice de caída
	Electroforesis de proteínas y Multistacking
Soja	Temperatura de grano
	Porcentaje de quebrados y/o partidos
	Actividad Ureásica
	Materia Grasa
	Acidez
	Nitrógeno total
	Índice de dispersión proteico
	Electroforesis de proteínas

La temperatura del grano será el referente (variable independiente) para las interpretaciones y conclusiones.

Todos Las experiencias, requieren molienda de la muestra, a excepción de: humedad, temperatura de grano, porcentaje de quebrados y/o partidos y peso hectolítrico. Empleando para ello un molinillo de granos con cuchilla horizontal y un tamiz de malla N° ASTM 60 (250 µm), envasándose en recipientes de plástico con tapa (identificados) y guardados en la heladera para su posterior ensayo.

## PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras de trigo y soja se obtuvieron de la Planta El Maná de San Francisco (Cba), que posee una capacidad de acopio de 25.000 t de granos. Las variedades seleccionadas fueron:

Trigo (*Triticum aestivum* L)

Soja (*Glycine max*)

Las muestras de los granos se extrajeron antes y después de la secadora. En la misma planta de Acopio, se determinó la humedad, como humedad inicial (Hi) y humedad final (Hf). Se registró la temperatura del aire en la secadora (Ta) y la temperatura del grano (Tg) (Tabla 4.2).

**Tabla 4.2 Parámetros de las muestras de trigo y soja determinados en la planta de acopio.**

Grano	Humedad inicial (Hi) %	Humedad final (Hf) %	Temperatura del aire (Ta) °C	Temperatura del grano (Tg) °C
Trigo	19,8	13,5	68	50
Soja	14,5	12,3	78	60

### A. SECADORAS EMPLEADAS EN LA PLANTA DE ACOPIO

Para trigo: de flujo continuo mixto tipo caballete, con una capacidad de secado de 6 puntos /h y para soja, de flujo continuo cruzado tipo columna., con una capacidad de secado de 4 puntos/h. (Entendiéndose por puntos/hora la disminución del contenido inicial de humedad del grano al cabo de una hora) (31).

### B. TRATAMIENTO TÉRMICO DE LAS MUESTRAS.

Una vez extraídas las muestras, se toma como testigo (T) la muestra a la salida de la secadora que se supone en condiciones estándares y como muestras problemas, porciones de la muestra húmeda (antes de entrar a la secadora) sometidas a diferentes temperaturas y tiempos en el laboratorio. Se adopta como tiempo máximo de secado el lapso de 1 hora, que es el tiempo habitual en ensayos a nivel laboratorio y como temperaturas, aquellas próximas a los máximos permitidos y otras superiores a ellos, cubriendo así aquellos casos en que las mismas resultan agresivas para la calidad de los granos.



Las muestras problemas son llevadas a estufa de secado con circulación de aire por un cierto lapso de tiempo, luego del cual se calcula, en cada caso la disminución de la humedad, y la temperatura del grano, que debido a su capacidad calorífica, no es la misma que la del aire de secado, resultando algo inferior.

La determinación de humedad del testigo se realiza midiendo la diferencia de pesada antes y después de calentar a 130 °C (para trigo) y 105 °C (para soja). (Método AACCC, 55-10, 2000). Las demás muestras, se someten a secado a temperaturas de 70 °C, 90 °C y 120 °C (para trigo) y a temperaturas de 90 °C, 120 °C, 150 °C y 200 °C (para soja) por lapsos máximos de tiempos de 1 hora.

Para trigos y soja se consideran temperaturas agresivas las superiores a 60 °C en el grano (31).

### **C. DETERIORO POR SECADO Y MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA**

Se colocan en una cápsula de aluminio, 5 g de muestra de grano ligeramente molida y en una bandeja de aluminio perforada de 30 cm de largo por 20 cm de ancho y 7 cm de alto, se pesan unos 250 g de muestra lo suficientemente repartida para que las altas temperaturas lleguen a todos los granos, los dispuestos en la parte superior y en la inferior. Ambas muestras (cápsula y bandeja) se someten a la misma temperatura durante el mismo tiempo en una estufa con circulación de aire. En la muestra de la cápsula se determina la pérdida de humedad y con la muestra de la bandeja se determina la temperatura del grano.

El grano calentado en la bandeja del ensayo anterior, se vierte en un calorímetro que consiste en un recipiente cilíndrico de aluminio con sus paredes y tapa aisladas en telgopor, presentando esta última un orificio para la entrada del termómetro. Se emplea para ello un termómetro digital de cobre constantán con el objetivo de registrar más rápidamente las mediciones de temperatura y evitar las pérdidas de calor.

### **D. DISEÑO EXPERIMENTAL**

En la Tabla 4.3 se muestra un resumen de los tratamientos realizados a las muestras en el laboratorio para evaluar la influencia de la temperatura de secado, de acuerdo a la metodología explicada en el párrafo anterior. Así figuran para cada condición de secado, la temperatura de secado, el tiempo de secado, el contenido de humedad final y la temperatura del grano. Para cada una de las muestras de la primera columna de dicha Tabla, se realizan los ensayos propuestos en la Tabla 4.1 por duplicado, cuyos resultados figuran en los Anexos 10 y 11.

**Tabla 4. 3 Condiciones de secado y parámetros obtenidos en el laboratorio durante la preparación de las muestras.**

<b>Muestra</b>	<b>Temperatura de secado °C</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Humedad Final %</b>	<b>Temperatura del Grano °C</b>
Humedad	-	-	19,8	20
Testigo	68	-	13,5	50
70/40	70	40	12,9	53
70/60	70	60	12,6	55
90/40	90	40	11,0	70
90/60	90	60	9,6	73
120/40	120	40	9,3	90
120/60	120	60	8,5	95
Humedad	-	-	14,5	20
Testigo	78	-	12,3	60
90/60	90	60	9,5	75
120/60	120	60	9,1	90
150/60	150	60	8,5	120
200/50	200	60	8,0	170

El contenido de humedad admitido para comercialización de granos es de 14 % para trigo y 13,5 % para soja. El contenido máximo de humedad aconsejado para un almacenaje de un año es para trigo de 13 a 14 % y para soja de 11 a 12 % (59).



## **CAPÍTULO 5**

### **MATERIALES Y METODOS**

DETERMINACIONES EXPERIMENTALES EN TRIGO

DETERMINACIONES EXPERIMENTALES EN SOJA

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

## DETERMINACIONES EXPERIMENTALES EN TRIGO

### A. PESO HECTOLÍTRICO (PH) (AACC 55-10) (1).

#### A.1 FUNDAMENTACIÓN

El peso hectolítrico o densidad aparente del lote de granos, es proporcional al tamaño del grano y a su rendimiento en harinas. Se determina a través de la balanza de Schopper de ¼ L de capacidad, haciendo luego la conversión a kg/hL multiplicando por 4 o bien empleando las tablas de peso hectolítrico.

### B. INDICE DE SEDIMENTACION EN SDS (Dick and Quick, 1983) (33)

#### B.1 FUNDAMENTACIÓN

El IS en SDS es indicador de la calidad panadera ya que permite determinar la capacidad de una harina para formar la red de gluten.

Consiste en medir el volumen de sedimentación de una suspensión de harina en una solución de ácido láctico-SDS, y se fundamenta en el esponjamiento que la fracción de gluten experimenta en ése medio durante un cierto intervalo de tiempo. A mayor calidad de gluten, corresponde mayor volumen de sedimento asociado a una menor degradación proteica.

El agregado de detergente (SDS) facilita la rotura de las células de endospermo y la dispersión de las proteínas provocando la ruptura de las uniones no covalentes de las proteínas (76).

#### B.2 REACTIVOS

- Ácido láctico: el ácido láctico puro se diluye 8 veces en agua destilada (1:8 V/V).
- SDS 2 %: pesar 20 g y disolverlos en 1000 mL de agua destilada (probeta).
- SDS- Ácido Láctico: a 480 mL de la solución de SDS agregar 10 mL de la solución de ácido láctico (1:48 V/V).
- Azul de Coomasie: pesar 10 mg de azul de coomasie y disolver en 1000 mL de agua destilada (probeta).

#### B.3 PROCEDIMIENTO

Pesar 1,0000 g de cada una de las muestras en probetas de 25 mL perfectamente graduadas y con tapa.

Agregar 8 mL de la solución de azul de coomasie 10 mg/L y poner en marcha el timer (minuto cero). Agitar con cinco inversiones para solubilizar y luego con vórtex hasta 1 minuto.

Dejar reposar hasta 3 min 40 s.

Agitar en vórtex 5 s.

Dejar reposar hasta el minuto 5 min 40 s.

Agitar en vórtex 5 s.

Agregar los 12 mL de la solución SDS-Acido Láctico, empleándose no más de 5 s en esta operación, con lo que el timer marcará 5 min 45 s.

Tapar y llevar a agitador oscilatorio por espacio de 8 min.

Sacar la probeta, dejar sedimentar durante 14 min.

Leer el volumen de sedimento (línea entre el líquido y la suspensión) y anotar como índice de sedimentación.

Nota: a los 8 min de sedimentación de la primera probeta se puede empezar el segundo ensayo (duplicado).

## **C. GLUTEN HUMEDO (AACC 38-10, 1995) (1).**

### **C.1 FUNDAMENTACIÓN**

El gluten es un complejo de proteínas insolubles en agua que forman, por arrastre de almidón de la harina mediante lavado, una masa gomosa muy extensible. Es una aproximación al contenido de proteínas de los trigos pero importante dado su papel en la retención de gas de la masa panaria. Actualmente se emplea como un parámetro más en el análisis comercial de los trigos.

### **C.2 PROCEDIMIENTO**

Pesar 20,0 g de trigos molidos tamizados a través de malla de 60 mesh.

Agregar 10 mL de agua y formar una masa consistente. Darle forma esférica.

Lavar sobre tamiz realizando un suave masaje sobre la masa.

Secar levemente. Pesar.

Expresar como % de gluten húmedo, de acuerdo a:

$$\% \text{ Gluten} = \frac{\text{Peso gluten}}{\text{Peso harina}}$$

**D. NITROGENO TOTAL (Nt). (HACH 8038)-** (Adaptado de Journal of Agricultural and Food Chemistry, 33(6) 1117 (1985).)

### **D.1 FUNDAMENTACIÓN**

El contenido en Nitrógeno total puede determinarse colorimétricamente utilizando el reactivo de Nessler (coloración amarilla con las proteínas) previa digestión y disolución de la muestra. Las absorbancias son traducidas a % N mediante la confección de una curva de calibrado. Para hallar los correspondientes valores de proteína total los % de N son transformados en % de P multiplicando por el factor 5,75 (para proteínas vegetales).

(Resolución GMC N° 046/03, Código Alimentario Argentino). (En la Tabla 6.4, correspondientes a los resultados obtenidos, figuran los % Nt a los fines de no distorsionar los resultados experimentales para luego procesarlos estadísticamente).

## D.2 MATERIALES

Equipos .Digester Digesdahl Hach y espectrofotómetro Hach 2000.

Patrón empleado: p-toluensulfonato de amonio,  $C_7H_{11}O_3SN$  que posee 7,4 % de N y 46,26 % de P empleando factor de 5,75.

Nessler Solución A: Yodo en Ioduro de potasio con mercurio.

Nessler Solución B: hidróxido de sodio.

Mezclar en volúmenes iguales A y B

## D.3 PROCEDIMIENTO

**Programa en HACH: 399    Longitud de onda: 460**

- Pesar 0,25 g de muestra en un matraz base plana de 100 mL.
- Agregar 4 mL de  $H_2SO_4$  98 %.
- Llevar al digester. Poner la pesa. Colocar columna extractora. Encender calefactor.
- Digerir 4 min. a la temperatura de 440 °C.
- Agregar 10 mL de  $H_2O_2$  50 % por el embudo.
- Sacar del digester. Enfriar.
- Enrasar a 100 mL con agua destilada.
- Pipetear 0,4 mL de esta solución y verterla en la cubeta del espectro.
- Diluir a 25 mL con alcohol polivinílico (APV). (Solución 10g/L).
- Agregar 1 mL del reactivo de NESSLER (Solución A + B)
- Mezclar por inversión.
- Leer las absorbancias y calcular el % de N correlacionándolo con las absorbancias de las muestras patrón a una longitud de onda de 460.

## E. INDICE DE CAIDA (AACC 56-81, 1995, Método de Harberg-Perten) (1).

### E.1 FUNDAMENTACIÓN.

El método del índice de caída o método del Falling Number, se basa en el principio de la gelatinización rápida de una suspensión de harina y la medición de la licuefacción del almidón por acción de la enzima alfa-amilasa. Este principio se corresponde a la acción química que ocurre en el momento de la panificación.

Con este ensayo se determina la cantidad de enzima alfa-amilasa de la muestra en función del tiempo de caída, debido a la hidrolización del almidón por parte de la enzima. A menor tiempo de caída, mayor cantidad de enzima presente. Equipo utilizado: Falling Number automático (Perten, Suecia).

## **E.2 PROCEDIMIENTO**

- Pesar  $7,00 \pm 0,05$  g de la muestra molida y colocarla en el tubo viscosímetro.
- Añadir 25 mL de agua destilada.
- Agitar el tubo vigorosamente hasta obtener una suspensión uniforme. Reintroducir las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes del tubo.
- Colocar el tubo viscosímetro junto con el agitador en un baño de agua hirviendo que posee el equipo e inmediatamente el motor comienza la agitación.
- El viscosímetro agitador se libera automáticamente al cabo de 60 s desde su posición superior, y se hunde libremente en la suspensión calentada de harina en agua.
- Leer los segundos de caída cuando el agitador llega al fondo del tubo, operación totalmente automática.

## **F. ELECTROFORESIS DE LAS PROTEÍNAS (Ng, P.K.W. and Bushuk, W 1987) (64).**

### **F.1 FUNDAMENTACIÓN**

La mayoría de los polímeros biológicos poseen carga eléctrica y, por lo tanto, son capaces de migrar bajo la influencia de un campo eléctrico. El transporte de partículas a través de un disolvente mediante un campo eléctrico recibe el nombre de electroforesis.

Una forma usual de caracterizar una macromolécula es la determinación de la velocidad con que se mueve al someterla a un campo eléctrico. Esta propiedad puede ser utilizada para calcular el peso molecular de una proteína, para distinguir moléculas por su carga neta o su forma, para detectar cambios de aminoácidos, de restos polares o no polares y viceversa, y para separar cuantitativamente distintas especies moleculares.

La muestra a tratar se aplica como una mancha o como una banda sobre un soporte inerte y homogéneo, y las partículas migran hacia uno u otro polo del campo eléctrico a través de un disolvente, en función de su carga, de su peso y de su estructura fundamentalmente. En función del soporte, la electroforesis puede ser de distintos tipos: de papel, de acetato o, fundamentalmente, de gel. Los primeros geles desarrollados eran de almidón, pero actualmente se han reemplazado por los de poliacrilamida (mezcla, acrilamida/bisacrilamida al 30%) por ser más fácil controlar el tamaño del poro del gel utilizando distintas concentraciones de los monómeros que lo forman.

### **F.2 ELECTROFORESIS EN GELES DE POLIACRILAMIDA. (SDS-PAGE, (54))**

El peso molecular de la mayoría de las proteínas puede ser determinado midiendo la movilidad en geles de poliacrilamida con el detergente dodecilsulfato sódico (SDS, "*sodium dodecil sulfate*"). El detergente provoca la pérdida de la estructura nativa de las proteínas. Además el SDS se fija a las mismas de modo constante, confiriéndoles carga negativa (en

una proporción en la que 1.4 g de SDS se unen a 1 g de proteína). Así, la relación carga/masa se mantiene constante y la separación de los péptidos se produce en función exclusivamente del peso molecular.

Las proteínas, cargadas negativamente, migran todas hacia el ánodo y conforme atraviesan la red formada por la poliacrilamida, se van separando de mayor a menor peso molecular, al presentar distintos coeficientes de fricción. Existe una relación inversamente proporcional entre la distancia recorrida y el logaritmo decimal del peso molecular de la proteína.

La electroforesis permite obtener el patrón de polipéptidos de una muestra, así como los diferentes pesos moleculares de los péptidos, por la comparación con marcadores que son proteínas de peso molecular conocido, que se utilizan a la vez que las muestras.

Equipo utilizado: Mini Protean-II Cell Slab Cell. (BIO-RAD Laboratories, Richmond, CA USA)

### **F.3 PROCEDIMIENTO**

#### **F.3.1 Extracción de proteínas totales no reducidas.**

Los extractos de proteínas no reducidas fueron preparados por suspensión de harina (30 mg en 1 mL) en solución buffer, pH: 6,8 conteniendo:

Tris-HCl 0.063 M

Glicerol 10 %

SDS al 2 %

Azul de Bromofenol al 0.01 %

Las mezclas muestras-buffer se incubaron 2,5 h a temperatura ambiente, agitándose cada 15 min en vortex. Se calentaron en un baño de agua hirviendo por 3 min y se dejó enfriar a temperatura ambiente. La suspensión se centrifugó a 2000 xg por 5 min. El sobrenadante fue utilizado como el extracto experimental de proteínas no reducidas.

#### **F.3.2 Extracción de proteínas totales reducidas**

Los extractos de proteínas reducidas fueron preparados por suspensión de harina (30 mg en 1 mL) en solución buffer, pH: 6,8 conteniendo:

Tris-HCl 0.063 M

5 % (V/V) de 2-β- mercaptoetanol

Glicerol 10 %

SDS al 2 %

Azul de Bromofenol al 0.01 %

Las mezclas muestras-buffer se incubaron 2,5 h a temperatura ambiente, agitándose cada 15 min en vortex. Se calentaron en un baño de agua hirviendo por 3 min y se dejó



enfriar a temperatura ambiente. La suspensión se centrifugó a 2000 rpm por 5 min. El sobrenadante fue utilizado como el extracto experimental proteínas reducidas.

Con este tratamiento las proteínas quedan solubilizadas en el sobrenadante. Luego con una micropipeta, se tomará el volumen adecuado (dependiendo de la concentración de proteínas) para introducir en los pocillos del gel.

### F.3.3 Preparación de geles de poliacrilamida-SDS

Los geles se polimerizan entre dos placas de vidrio separadas por espaciadores de plástico. En los geles se diferencian dos partes con distinta concentración de poliacrilamida: una superior o gel de concentración (poros grandes) y una inferior o gel de separación (poros pequeños). En el protocolo que se detalla a continuación, las cantidades indicadas se refieren a la preparación de 2 minigeles de 1,5 mm de espesor.

Primero se prepara y polimeriza el gel de separador, en buffer Tris-HCL 0.375 M, pH 8.8. Los reactivos y volúmenes utilizados se muestran en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1 Reactivos para preparación del gel separador.**

Reactivos	Poliacrilamida 12 %
Agua destilada	3.35 mL
1.5 M Tris-HCl, pH 8.8 (tampón)	2.5 mL
SDS al 10%	100 µL
A 30 %/ BA 0,8 %	4.0 mL
Persulfato amónico (APS) al 10%	100 µL
TEMED	5 µL
TOTAL	10 mL

Para que la polimerización sea correcta, el gel se cubre con alcohol isoamílico que se retirará una vez gelifique la poliacrilamida.

A continuación se prepara y vierte sobre el gel separador, el gel de concentración, en Tris-HCl 0.5 M, pH 6.8. Preparado según figura en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2 Reactivos para preparación del gel concentrador.**

Reactivos	Poliacrilamida 4 %
Agua destilada	6.1 mL
0.5 M Tris-HCl, pH 6.8 (tampón)	2.5 mL
SDS al 10%	100 µL
A 30 %/ BA 0,8 %	1.3 mL
Persulfato amónico (APS) al 10%	100 µL

TEMED	5 $\mu$ L
TOTAL	10 mL

Una vez vertido el gel de concentración sobre el espaciador, se coloca el peine que forma los pocillos. Terminada la polimerización, se retira el peine y se lavan los pocillos con alcohol, para romper burbujas. Se retira el alcohol. Dejar reposar 1 h. Las muestras, testigo y estándar vertidos en las calles se identifican como figuran en la Tabla 5.3 y Tabla 5.4, para proteínas no reducidas y reducidas respectivamente, siendo el volumen empleado en ambas de 5  $\mu$ L y 15  $\mu$ L.

**Tabla 5.3 Identificación de las muestras en extracto proteínas no reducidas.**

Pocillo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número	-	St	1	2	3	4	5	6	7	-
Muestra	-	Marcador molecular	Testigo	70/40	70/60	90/40	90/60	120/60	120/60	

**Tabla 5.4 Identificación de las muestras en el extracto proteínas reducidas.**

Pocillo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número	-	8	9	10	St	11	12	13	14	-
Muestra	-	Testigo	70/40	70/60	Marcador molecular	90/40	90/60	120/60	120/60	

Composición del marcador molecular estándar (St): miosina (200 kDa), beta-galactosidasa (116,25 kDa); fosforilasa b (97,4 kDa); albúmina sérica (66,2 kDa); ovoalbúmina (45,0 kDa); anhidrasa carbónica (31,0 kDa); inhibidor de tripsina (21,5 kDa); lisozima (14,4 kDa) y aprotina (6,5 kDa). (Bio Rad Laboratories, EEUU).

### **F. 3.4 Electroforesis de las muestras**

Las placas de electroforesis donde se encuentran los geles polimerizados, se colocan sobre la cubeta de electroforesis, y esta se llena con el electrolito de corrida, Tris-Glicina pH 8.3 con SDS.

Tras añadir las muestras en los pocillos, incluyendo los marcadores de peso molecular, se cierra la cubeta y se aplica una corriente eléctrica de 150 V, que se mantiene hasta que el frente alcanza la parte inferior del gel (aproximadamente a los 90 min).

### **F.3.5 Tinción de los geles**

Las bandas de proteínas, una vez terminada la electroforesis, se visualizan tiñendo los geles con una solución de Azul de Coomasie cuya composición es: 2 g de azul de coomasie; 140 mL de ácido acético y llevar a 1.000 mL con etanol 96 °.

La tinción se realiza con agitación suave durante 2 h. Para eliminar el exceso de coloración, el gel se introduce en una solución de metanol (40%) y ácido acético (10%) en H<sub>2</sub>O, que se renueva varias veces, agitando durante 8 h hasta distinguir nítidamente las bandas. Por último, se fotografía el gel y se extraen las conclusiones. (Ver Anexo 10 a y 10b).

## **G. MULTISTACKING y DENSITOMETRIA**

### **G.1 FUNDAMENTACIÓN**

Las subunidades proteicas se analizan mediante un procedimiento de electroforesis en gel con apiladores (multistacking) y un gel separador.

Este procedimiento tiene por objetivo caracterizar a las proteínas no reducidas separando los agregados proteicos en fracciones según su tamaño y su movilidad con la finalidad de poder cuantificarlas por algún método.

Las bandas proteicas obtenidas se cuantifican por densitometría, utilizando un equipo Pharmacia Biotech (EEUU) provisto del programa Image Master VDS. El background (contraste) se obtuvo de carriles en blanco y el volumen de las bandas proteicas (IOD: densidad óptica integrada) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{IOD} = (\text{IM}-\text{B}). \text{A}$$

Siendo IM, la intensidad media de las bandas; B, el background y A, el área de las mismas. La proporción de proteínas se informó como % IODr (relativo) a la cantidad total de proteínas presentes en el carril del gel.

Los apiladores están constituidos por geles de acrilamida con concentraciones de 4%, 6% y 8%; de bisacrilamida (BA) de 0,108 %, 0,162 % y 0,162 % y el gel separador de 12 % de A y 0,48 % de BA.

## G.2 PROCEDIMIENTO.

Equipo utilizado: mini Protean II Dual Slab Cell (Bio-Rad laboratories)

Se emplean como muestras las proteínas no reducidas ya extraídas en el proceso inicial de extracción.

Se procede a preparar los geles apiladores y el separador siguiendo las cantidades especificadas en el cuadro (Tabla 5.3). Las cantidades indicadas se refieren a la preparación de 4 minigeles con un máximo de muestra de 30  $\mu$ L y y separadores de 0,75 mm.

**Tabla 5.5 Reactivos para la preparación de geles apiladores y separadores.**

	Separador 12 % (mL)	Stacking		
		8 % (mL)	6 % (mL)	4 % (mL)
<b>A 30% - BA 0,8 %</b>	1,18	0,80	0,59	0,40
<b>Upper (conductor, Cl<sup>-</sup>)</b>		0,74	0,74	0,74
<b>Lower (rezagador, gly<sup>-</sup>)</b>	0,74			
<b>Agua destilada</b>	1,04	1,42	1,63	1,82
<b>PSA 4 %</b>	0,045	0,045	0,045	0,045
<b>TEMED</b>	0,003	0,003	0,003	0,003
<b>TOTAL</b>	3,0	3,0	3,0	3,0
<b>Cantidad a colocar x gel</b>	1	1	1	CS
<b>A-BA (30- 0,8 %)</b>	11,8 %	8,0 %	5,9 %	4,0 %
<b>Upper</b>		24,6 %	24,6 %	24,6 %
<b>Lower</b>	24,6 %			
<b>Agua destilada</b>	34,4 %	47,2 %	54,0 %	60,6 %
<b>PSA 4 %</b>	1,5 %	1,5 %	1,5 %	1,5 %
<b>TEMED</b>	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %

El orden de agregado es: primero el agua, segundo el lower o el upper y tercero la acrilamida y la bis acrilamida en sendos erlenmeyers y por último los agentes polimerizantes: TEMED, como catalizador básico de radicales libres de oxígeno del Persulfato y PSA, como iniciador de la polimerización radicalaria de adición vinílica.

Las mezclas se vierten en las placas del equipo colocando primero el separador de 12 % y luego los apiladores en orden de % decrecientes. De hecho este agregado se realiza con pausas para lograr la polimerización de cada gel, agregando en cada intervalo alcohol isoamílico como nivelador y eliminador de burbujas, puesto que el oxígeno es un inhibidor de la polimerización, retirándose luego que ha solidificado el gel.

Se colocan las placas en la cubeta con el buffer y se lleva a la heladera donde se conecta a la fuente eléctrica. Las corridas se realizan a voltaje constante de 150 V hasta que el frente alcanza el final del gel (aproximadamente 90 min). Los geles se tiñen en Azul de Coomasie. Se emplean 25 µL de muestra en cada pocillo.

**Tabla 5.6 Identificación de las muestras en los pocillos electroforéticos (trigo).**

Pocillo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número	-	1	2	3	4	5	6	7	-	-
Muestra	-	Testigo	70/40	70/60	90/40	90/60	120/60	120/60	-	-

#### H. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES PARA SDS PAGE.

Buffer Tris/HCl 1,5 M, pH 8,6 (4x): para 100 mL de solución pesar 18,17 g de Tris Base, disolver en agua y agregar entre 3,5 a 4,5 mL de HCl fumante hasta pH 8,6.

Buffer Tris/HCl 0,5 M. pH 6,8(4x): para 100 mL de solución pesar 6,06 g de Tris Base, disolver en agua y agregar entre 4,0 a 5,0 mL de HCl fumante hasta pH 6,8.

Buffer Tris 0,1 M/ glicina 0,77 M, pH 8,3 (4x): para 100 mL pesar 12 g de Tris Base y 57,6 g de glicina, disolver en agua y no es necesario ajustar el pH y en el momento de realizar la electroforesis agregar 0,1 % de SDS. En la electrotransferencia se suplementa este buffer por 20 %(V/V) de metanol.

Buffer muestra (4x): preparar una solución que contenga: 0,35 vol de glicerol; 0,20 vol de mercaptoetanol; 0,45 vol de buffer Tris/HCl 0,5 M, pH 6,8; SDS al 8 % (P/V) y azul de bromofenol al 0,4 % (P/V).

Solución de Acrilamida/Bisacrilamida: pesar 29,2 g de acrilamida y 0,8 g de bisacrilamida, disolver en agua tibia, filtrar sobre papel de filtro, llevar a 100 mL con agua destilada y conservar en botella de vidrio color caramelo.

Solución de persulfato de amonio al 10 % (P/V): pesar 50 mg y disolver en 0,5 mL de agua (esta solución debe ser preparada en el momento de usar y no se puede conservar por más de tres días).

Solución de SDS al 10 % (P/V): pesar 10 g de SDS, agregar lentamente y con agitación constante sobre 100 mL de agua tibia. No agregar agua sobre el reactivo sólido, ya que dificulta su disolución.

Solución de TEMED: preparar una solución al 2 % (V/V) o bien utilizar la solución concentrada.

## DETERMINACIONES EXPERIMENTALES EN SOJA

### A. GRANOS QUEBRADOS Y/O PARTIDOS (Robutti et al, 1974) (72)

#### A.1 FUNDAMENTACIÓN

Se entiende por granos quebrados y/o partidos a aquellos que se presentan quebrados o con fisuras visibles, cualquiera sea su tamaño.

La SAGPyA publicó en su Boletín Oficial la resolución 220/05 que establece las nuevas normas para la Comercialización de Soja en Argentina, entre ellas se fija como tolerancia máxima de quebrados y/o partidos 30,0 % (Ver Anexo 6).

#### A.2 PROCEDIMIENTO

Pesar 100 granos de soja y registrar el peso.

Contar los quebrados y /o partidos.

Pesar los granos con este defecto y registrar el peso.

Relacionar la masa de los granos partidos respecto a los 100 granos iniciales obteniendo directamente el % de quebrados y/o partidos.

### B. ACTIVIDAD UREASICA (AACC 22-90, 1994) (1).

#### B.1 FUNDAMENTACIÓN

La enzima ureasa es un componente común en los granos de soja y su actividad es utilizada como indicador de la eficiencia de los tratamientos térmicos a que debe ser sometida esta leguminosa para su industrialización a los fines de eliminar los inhibidores de las proteasas considerados antinutrientes (13). El secado excesivo, también destruye esta enzima, pudiéndose emplear este método como indicador del daño provocado a las proteínas, considerándose que se ha inactivado la enzima cuando el incremento del pH es de 0,20 a 0,05.

#### B.2 REACTIVOS

- Solución de buffer fosfato, 0,05 M. Disolver 3,403 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  en aproximadamente 100 mL de agua destilada. Disolver 4,335 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  en aproximadamente 100 mL de agua. Mezclar las dos soluciones y llevar a pH 7 con solución de ácido o de base fuerte. Esta solución tiene una duración de 90 días.
- Solución tamponada de Urea. Disolver 15 g de urea en 500 mL de la solución de buffer fosfato preparada anteriormente. Agregar 5 mL de tolueno como conservante. Ajustar el pH a 7 con los mismos reactivos empleados para el ajuste de la solución buffer fosfato.

### B.3 PROCEDIMIENTO.

- Pesar 0,2 g de soja molida en un tubo cónico de 50 mL con tapa y adicionar 10 mL de solución de urea tamponada, tapar, ubicar en gradilla y colocar en baño de agua a 30 °C.
- Preparar un blanco pesando 0,2 g de muestra y agregarle 10 mL de solución buffer fosfato, tapar, mezclar, ubicar en gradilla y colocar en baño de agua a 30 °C.
- A intervalos de 5 minutos mezclar por inversión los tubos y volver a colocar en el baño, hasta que completen un atemperado de 30 minutos.
- Retirar del baño y a los 5 minutos exactamente, medir el pH.
- El resultado se informa como diferencia entre el pH del blanco y el pH de la muestra. El incremento del mismo mide la actividad ureásica.

### C. MATERIA GRASA (AACC 30-26, 1995) (1).

#### C.1 FUNDAMENTACIÓN

Se basa en la extracción de la materia grasa contenida en la muestra de leguminosa molida con el empleo de un disolvente apolar, como es el hexano normal, rango de destilación de 62 °C a 68 °C, para El equipo extractor, sistema Butt, consiste en varias unidades calefactoras, cada una de las cuales está constituida por una resistencia de 100 W ocluida en un material refractario, sobre la que se ubica el matraz de boca ancha de 100 mL donde se coloca el disolvente. Este matraz está provisto de un tapón de corcho perforado donde se inserta el tubo intermediario, dentro del cual se coloca el cartucho con la muestra molida. En su parte superior posee un tubo de acero inoxidable en forma de U que opera como refrigerante, por el cual circula agua fría que proviene de un circuito de cañerías exteriores, condensando los vapores de hexano y retornándolos al matraz para cumplir con la operación de extracción. El tiempo de extracción, que varía de acuerdo a la oleaginosa, es para la soja de 6 h.

#### C.2 PROCEDIMIENTO

- Pesar  $5,00 \pm 0,01$  g de muestra molida de soja. Colocarla en un papel de filtro de 150 mm de diámetro tipo S&S 859 o similares.
- Armar el cartucho de la siguiente manera: doblar el papel de filtro a la altura de sus  $\frac{3}{4}$  de diámetro, colocar la muestra molida, doblar ambos laterales (quedando tipo sobre) y enrollar, presionando. A la muestra envuelta colocarla en otro papel de filtro, también doblado en sus  $\frac{3}{4}$  de diámetro y enrollar. Una vez armado, este extremo se coloca en posición hacia arriba dentro del tubo intermediario.
- Pesar previamente el matraz de boca ancha, anotando ese peso como w1.

- Colocar el matraz de boca ancha sobre la plancha calefactora y tapar con el tapón de corcho que lleva inserto el tubo intermediario.
- Verter de la boca superior de este tubo 50 mL de solvente hexano, lavando el cartucho.
- Levantar con precaución los calefactores tratando que la U del tubo refrigerante, quede dentro del tubo intermediario y no toque sus paredes.
- Verificar que el goteo sea uniforme y que la gota caiga por el centro y no por las paredes.
- Dejar en funcionamiento el extractor por espacio de 6 h.
- Transcurrido este tiempo, bajar el conjunto extractor y retirar el matraz.
- Llevar el mismo a estufa con circulación de aire a una temperatura de 130 °C por espacio de 1 h, para evaporar el solvente.
- Retirar de estufa, dejar enfriar y pesar. Anotando ese valor como w2.
- Calcular el % de materia grasa por diferencia entre w2 y w1 multiplicando por el factor 20 (% MG (ssh)).
- Para el % de Materia Grasa sobre base seca, MG (sss), se tendrá en cuenta la humedad de la muestra (%H), determinada previamente al ensayo de extracción, de acuerdo a:  $MG (sss) = \% MG(ssh) \times 100 / (100 - \% H)$ .

#### D. ACIDEZ DE LA MATERIA GRASA (continuación del ensayo anterior).

##### D.1 FUNDAMENTACIÓN

Con este ensayo se trata de determinar el porcentaje de ácidos grasos libres presentes en la materia grasa. A mayor deterioro del aceite mayor la acidez.

Consiste en titular con solución de hidróxido de sodio el aceite extraído en el ensayo anterior, previa disolución del mismo en una solución de alcohol-tolueno. Para la titulación se utiliza una microbureta de vidrio o similar de 3 mL de capacidad, graduada 1/100.

##### D.2 PROCEDIMIENTO

- Preparar la solución disolvente: disolver volúmenes iguales de etanol 96 ° y de tolueno. Al alcohol agregarle 1 g de fenolftaleína por cada 200 mL, antes de mezclarlo con el tolueno. La solución alcohol-tolueno deberá neutralizarse toda vez que se disponga realizar el ensayo, agregándole solución de NaOH 0,1253 N hasta que vire al rosa pálido, con la finalidad de la mezcla acidifique al aceite.
- Agregar 50 mL de esta solución al matraz para disolver el aceite.
- Titular con solución de NaOH 0,1253 N gota a gota, agitando hasta aparición de color rosa pálido. Leer los mL gastados y multiplicar por 2 para obtener el % de acidez.



## **E. NITROGENO TOTAL (Nt) (HACH 8038)**

### **E.1 FUNDAMENTACIÓN**

El contenido en Nitrógeno total puede determinarse colorimétricamente utilizando el reactivo de Nessler (coloración amarilla con las proteínas) previa digestión y disolución de la muestra. Las absorbancias son traducidas a % Nt mediante la confección de una curva de calibrado. Para hallar los correspondientes valores de proteína total los % de Nt son transformados en % de P multiplicando por el factor 6,25 (para soja). (Resolución GMC N° 046/03, Código Alimentario Argentino). (En el Anexo 11, Tabla 11.5, correspondientes a los resultados obtenidos, figuran los % Nt a los fines de no distorsionar los resultados experimentales para luego procesarlos estadísticamente).

### **E.2 PROCEDIMIENTO**

Se procede igual que para la determinación de nitrógeno total en los ensayos de trigos, vistos anteriormente.

## **F. INDICE DE DISPERSION PROTEICA (PDI) (AOCS, BA 10-65, 1999)(4).**

### **F.1 FUNDAMENTACIÓN.**

El índice de dispersión proteica se basa en la solubilidad de las proteínas de soja en agua. El tratamiento térmico severo destruye aminoácidos tales como lisina y cisteína, ocasionando una disminución en la digestibilidad de la harina de soja. Siendo este ensayo más sensible que el de la actividad ureásica para predecir el daño ocasionado por el secado. (11).

### **F.2 PROCEDIMIENTO.**

- A los granos de soja secados a diferentes temperaturas, se les retira la cáscara manualmente, con la finalidad de disponer de la harina de soja exclusivamente y se muelen los cotiledones. Cada muestra de harina molida se separa en dos fracciones: fracción A, en ella se determina el % de nitrógeno total (Nt) empleando el mismo método que para el nitrógeno en trigo y a la segunda fracción (B) se realiza la técnica del índice de dispersión y luego se determina el % de nitrógeno total, llamado nitrógeno soluble (Ns). La relación del contenido de nitrógeno soluble con respecto al nitrógeno total es el índice de dispersabilidad de la proteína.
- Tratamiento de la segunda fracción (B): mezclar 8 g de harina de soja con 150 mL de agua destilada. Luego centrifugar a 8500 xg durante 10 minutos y por último filtrar y determinar el nitrógeno (proteína) soluble.

## **G. ELECTROFORESIS DE LAS PROTEINAS DE SOJA**

### **G.1 FUNDAMENTACIÓN**

La fundamentación teórica del método ya fue expuesta en la electroforesis de las proteínas del trigo, por lo que aquí se expresarán las variantes del método.

### **G.2 PROCEDIMIENTO.**

La solución extractante de las proteínas está compuesta por 50mM de fosfato buffer (pH 7,6) y 150 mM de NaCl como disolvente proteico.

Pesar  $10 \pm 0,01$  mg de harina de soja, colocar en un eppendorf y añadir 1 mL de la solución extractante. Dejar reposar por 30 min agitando ocasionalmente y luego centrifugar a  $14.000 \times g$  por espacio de 10 min. Separar el sobrenadante y colocarlo en otro eppendorf. Se tiene así dos fracciones proteicas: el sobrenadante, constituido por las proteínas solubles a ese pH y el material insoluble, denominado pellet.

Se toman 300  $\mu$ L del sobrenadante y se le agregan 100 mL de buffer muestra concentrado (4x) con beta-ME. Las muestras se guardan en la heladera hasta la realización de la electroforesis. Estas muestras constituyen el sobrenadante.

Al precipitado, se le agrega 1 mL de buffer muestra con beta-ME. Se agita durante unos minutos, se centrifuga y se guarda el sobrenadante, que constituirá el pellet.

Se prepara el gel separador (12 %) siguiendo las indicaciones del cuadro ya explicado para electroforesis en proteínas de trigo y el gel concentrador (4 %), vertiendo en las placas de la celda primero el separador, esperar que se polimerice y luego el gel concentrador. Colocar el peine y esperar una media hora.

Retirar con cuidado el mismo y verter en las calles de la placa 1, 10  $\mu$ L de cada una de las muestras constituida por el pellet y por el sobrenadante. En la placa 2, verter en cada calle 5  $\mu$ L de cada una de las muestras de pellet y sobrenadante.

Llenar la cubeta del equipo con buffer 1x obtenido a partir de la dilución del 5x (100mL de buffer 5x más 400 mL de agua). Colocar las placas y someter a electroforesis a 150 V por espacio de 1 h 30 min. Retirar y proceder a su tinción con la solución de azul de coomasie dejando en agitación suave durante 30 min. Para eliminar el exceso de coloración, el gel se introduce en una solución de metanol (40%) y ácido acético (10%) en H<sub>2</sub>O, que se renueva varias veces, agitando durante 2 h hasta distinguir nítidamente las bandas. Por último, se fotografía el gel y se extraen las conclusiones. La identificación de las muestras en los pocillos de la placa electroforética se muestran en la Tabla 5.7, empleándose 10  $\mu$ L de muestra en cada pocillo.

**Figura 5.7 Identificación de las muestras en los pocillos electroforéticos (soja).**

	Pellets					Sobrenadante				
Pocillo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número	St	T	2	3	4	T	6	7	8	St
Muestra	Marcador Molecular	Testigo pellets	120/60	150/60	200/60	Testigo sobrenadante	120/60	150/60	200/60	Marcador

### ANALISIS ESTADISTICO

Para la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el capítulo anterior, se analizaron los datos estadísticamente mediante análisis de varianza y las medias fueron comparadas por el Método de la Diferencia Mínima Significativa (LSD) de Fisher a un nivel de significación de 0,05. Estos análisis se realizaron utilizando el programa estadística INFOSAT (Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Las relaciones entre parámetros medidos fueron evaluadas por el método de Pearson (Connover 1999).

(Ver Anexos 10 (trigo) y Anexos 11 (soja)).

Para cada uno de los valores numéricos tabulados en las Tablas 6.1 y 6.2 del siguiente capítulo, se calcularon las desviaciones estándar correspondientes al valor medio de los ensayos realizados, obtenidos mediante estadística descriptiva y las letras que acompañan, corresponden a la parte de la estadística inferencial que permite obtener, a partir de los resultados provenientes de la estadística descriptiva y con cierto grado de confianza, conclusiones generales tales como el Método LSD de Fisher, en el que letras iguales dentro de una misma columna indican que no existen diferencias significativas para un nivel de significación  $< 0,05$ .

Empleando la estadística bidimensional, que estudia el conjunto de dos variables, con el objeto de obtener conclusiones respecto de la relación que las vincula, se realizaron los gráficos de dispersión que fueron ajustados por el modelo de regresión lineal para obtener el coeficiente de correlación lineal R, cuyo módulo próximo a 1 indica una fuerte correlación entre las variables analizadas.





## **CAPÍTULO 6**

### **INTERPRETACION Y DISCUSION**

ANALISIS DE ENSAYOS EN TRIGO

ANÁLISIS DE ENSAYOS EN SOJA

## ANALISIS DE ENSAYOS EN TRIGO

La Tabla 6.1 muestra los datos de composición y calidad de trigo para las muestras estudiadas

Mues- tra	Hu- me- dad (%)	Temper atura del grano (°C)	Peso Hectolítrico (kg/ hL)	Indice de Sedimenta ción (cm <sup>3</sup> )	Gluten húmedo (%)	Nitrógeno total (%) (sss)	Indice de caída (s)
Testi- go	13, 5	50	76,30 ± 0,14 A	18,25 ± 0,35 F	36,90 ± 0,42 D	2,15 ± 0,06 A	451,50 ± 2,12 A
70 ° / 40´	12, 9	53	78,10 ± 0,14 B	17,25 ± 0,35 E	36,55 ± 0,49 D	2,15 ± 0,06 A	461,50 ± 2,12 B
70 ° / 60´	12, 6	55	78,60 ± 0,42 B	17,35 ± 0,07 E	36,20 ± 0,28 D	2,11 ± 0,03 A	463,50 ± 2,12 B
90 ° /40´	11, 0	70	80,60 ± 0,14 C	16,10 ± 0,14 D	35,40 ± 0,28 C	2,16 ± 0,02 A	472,50 ± 0,71C
90 ° /60´	9,6	73	81,20 ± 0,28 C	15,45 ± 0,21 C	34,65 ± 0,21 B	2,15 ± 0,06 A	475,00 ± 1,41C
120° / 40´	9,3	90	84,60 ± 0,28 D	14,35 ± 0,07 B	0,00±0,00 A	2,13 ± 0,02 A	482,50 ± 0,71D
120° /60´	8,5	95	85,40 ± 0,28 E	13,65 ± 0,21 A	0,00±0,00 A	2,15 ± 0,06 A	485,00 ± 1,41 D

Tabla 6.1: Valores de humedad, temperatura del grano, peso hectolítrico, índice de sedimentación, gluten húmedo, nitrógeno total e índice de caída para las siete muestras de trigo de composición y calidad de trigo para las muestras estudiadas.

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas  $p < 0,05$ .

### A. PESO HECTOLÍTRICO (PH)

Se observa un aumento progresivo del peso hectolítrico en función de la temperatura del grano con un elevado coeficiente de correlación (Fig.6.1). La densidad aparente del grano, que se puede expresar como peso hectolítrico (kg/hL) es un buen indicador de la calidad del grano, que permite predecir el rendimiento en harinas y sémolas en molienda seca, en especial en granos como trigo y maíz. Por lo general, el peso hectolítrico del grano aumenta durante el proceso de secado. Ese aumento dependerá de la humedad inicial del grano, de la humedad final alcanzada, del deterioro del grano y del genotipo. Mientras que mayor es la diferencia entre humedad inicial y final del grano, mayor será el aumento del

peso hectolítrico al ser secado el grano, aunque ese incremento será menor cuando mayor proporción de granos dañados tenga el lote (6). La explicación de este cambio hay que buscarla en la contracción que sufren todos los tejidos vegetales y animales por acción del secado, excepción del secado por congelación. A velocidades iniciales de secado muy grandes las capas exteriores del producto se hacen rígidas, y su volumen final se alcanza al principio del secado. A medida que continúa el proceso los tejidos se rompen interiormente, formando una estructura abierta. En este caso, la densidad global del producto se hace pequeña. Pero si las velocidades iniciales de secado son pequeñas la sustancia se contraerá sin mayores cambios en su forma, dando un producto de gran densidad global (20). (Ver Anexo 9).

El PH es un parámetro de calidad extrínseca. No obstante su determinación fue realizada, para comprobar como esta propiedad puede ser mejorada por el secado.

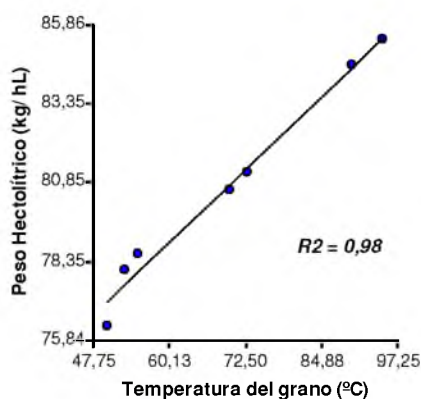


Figura 6.1 Relación entre el PH y la temperatura del grano.

## B. ÍNDICE DE SEDIMENTACIÓN (IS)

Este índice refleja la calidad proteica de la harina, y consiste en medir el volumen de sedimentación de una suspensión de trigo molido en una solución de ácido láctico, empleando SDS como medio extractante (61). Se observa una disminución en el volumen de sedimentación a medida que las condiciones de secado se hacen más drásticas (aumenta la temperatura y el tiempo de secado) (Fig.6.2).

Esta disminución en la solubilidad de las proteínas probablemente se deba a la formación de agregados durante el calentamiento del grano. Debido a que el medio extractante es SDS, que separa estructuras proteicas unidas por enlaces no covalentes (puentes de hidrógeno), se esperaría que los agregados se hayan formado a través de uniones disulfuro. Esto mismo fue observado por Schofield y colaboradores, quienes en lugar de someter los granos a distintos tratamientos térmicos, trabajaron directamente con

gluten calentándolo en diferentes condiciones. Estos autores concluyeron, para el caso del gluten, que durante el calentamiento habría reacciones de intercambio sulfhidrilo-disulfuro, que presumiblemente eran facilitadas por el desplegamiento de las proteínas con la temperatura. (75).

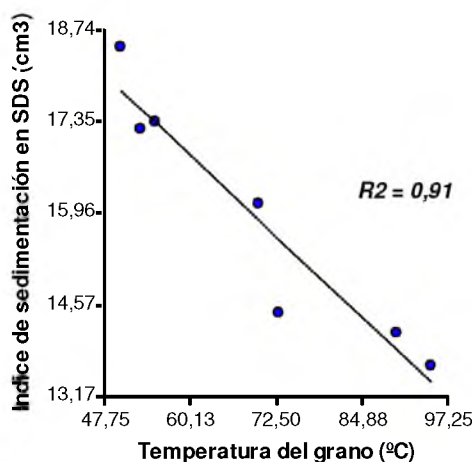


Figura 6.2 Relación entre el índice de sedimentación en SDS y la temperatura del grano.

### C. GLUTEN HUMEDO (GH)

El ensayo del gluten es una determinación rutinaria de la calidad industrial de un trigo y de una harina. Es proporcional a la cantidad de proteína que posee ese trigo (harina). Se observa una disminución del % de gluten a medida que aumenta la temperatura (Fig. 6.3) De la estadística de los resultados, puede deducirse que hasta la temperatura de calentamiento de 70 °C (55 °C para el grano) no hay diferencias significativas con el testigo. Cuando se pasa de los 70 °C a los 90 °C por espacio de 40 min, se observa una disminución del 3 %. Si comparamos iguales tiempos (60 min) y temperaturas diferentes (70 °C y 90 °C), se observa una disminución del 5 %. Al pasar de los 90 °C a 120 °C (73 °C a 95 °C de temperatura de grano) se deteriora totalmente el gluten resultando imposible ligar la masa. Podemos concluir diciendo que la disminución es leve hasta la temperatura de 90 °C (73 °C de grano), superada la cual el deterioro de las proteínas del gluten pierden sus características funcionales.

La explicación de este comportamiento hay que buscarla en las estructuras proteicas que lo componen y al tipo de unión que existe entre las gluteninas y las gliadinas. En general, la composición de aminoácidos del gluten demuestra que aproximadamente la mitad de la proteína está formada por dos aminoácidos (glutamina y prolina). La carga de la proteína es baja, con niveles bajos de aminoácidos básicos, y prácticamente todos los grupos ácidos en forma de amidas. El alto contenido de amidas y la baja carga de la



proteína, sugeriría un sustancial sistema de enlaces de puente de hidrógeno (49). Se evidencia la importancia de este sistema de puentes de hidrógeno, amasando harina con agua pesada, en lugar de agua corriente. Al realizar un mixograma se observa que la anchura del mismo (proporcional a la fuerza de la masa) es mayor con agua pesada que con agua común (48). Por otra parte, Schofield y colaboradores sugirieron que existe una pérdida de la extractibilidad a consecuencia del calentamiento, siendo las gluteninas las más afectadas. Se ha postulado que las gluteninas se despliegan a temperaturas superiores a 75 °C, y esto facilita las reacciones de intercambio sulfhidrido disulfuro entre los grupos expuestos. Esta redistribución de enlaces disulfuro haría que la proteína se mantenga en estado desnaturalizado durante el enfriamiento (75).

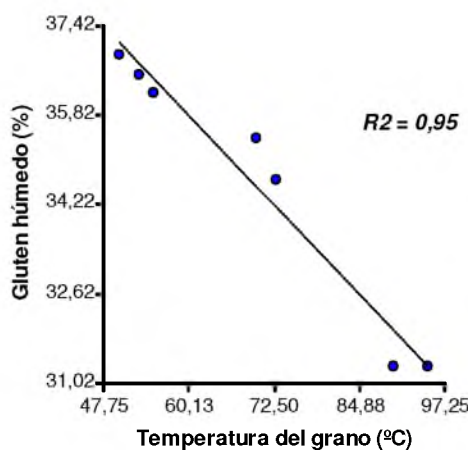


Figura 6.3 Relación entre el gluten húmedo y la temperatura del grano.

#### D. NITROGENO TOTAL (Nt)

La determinación de nitrógeno total y por ende, de proteína total, es un ensayo que fija la calidad comercial e industrial del trigo, pero sólo es indicativo de la cantidad y no de la calidad. Como el método utilizado (ya descrito en Materiales y Métodos) mide el porcentaje de nitrógeno luego de la digestión ácida de la muestra, lo que involucra tanto el nitrógeno que forma parte de la proteína intacta como de aquel que forma parte de la proteína dañada, no es un ensayo que evidencia el grado de daño ocasionado por el secado (11). En los resultados de la Tabla 6.1, no se observa una variación del contenido de nitrógeno en función de la temperatura del grano. Letras iguales en el test de Fisher así lo confirman. Los porcentajes de nitrógeno se calcularon en base seca.

## E. ÍNDICE DE CAÍDA (FN)

El ensayo determina la actividad amilásica en el grano. El contenido de alfa amilasa de una harina es importante para la elaboración de pan porque si es muy elevada (FN bajo) va a degradar mucho almidón produciendo dextrinas y azúcares que hacen la masa pegajosa, si la actividad amilásica es baja (FN alto) no se generan cantidad suficiente de azúcares fermentables para las levaduras y la fermentación es baja (45). También es indicativo del daño ocasionado por el secado a temperaturas superiores a las recomendadas (Ver capítulo 3). Se considera óptimo un índice de caída de 340 s (51). Valores superiores indicarían pérdida de actividad enzimática por cuestiones diversas y valores inferiores, aumento de actividad generalmente ocasionado por exceso de agua en la última etapa del cultivo (51). Se observa un aumento del índice de caída a medida que aumenta la temperatura del grano (Fig. 6.4). A iguales temperaturas de secado y diferentes tiempos, no se observan variaciones significativas en los ensayos realizados pero si hay diferencias significativas cuando se pasa de una temperatura de secado menor a otra mayor.

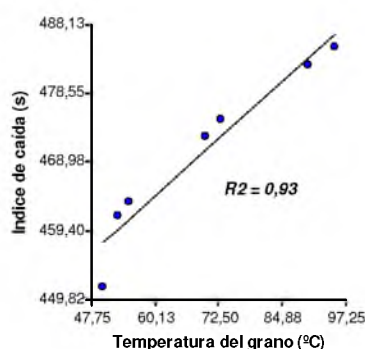


Figura 6.4 Relación entre el índice de caída y la temperatura del grano.

La razón de tal comportamiento podemos buscarla en la particularidad e las reacciones catalizadas enzimáticamente. Al contrario de las reacciones químicas comunes, la dependencia de la temperatura sigue una gráfica tipo gaussiana, con un máximo bien marcado, denominado temperatura óptima.

Esto es el resultado de superposición de dos efectos contrapuestos: el aumento de la velocidad de reacción y el aumento de la velocidad de inactivación, cuyas energías de activación son sustancialmente diferentes. Para la hidrólisis del almidón con alfa-amilasa se dedujeron las siguientes energías de activación a partir de la ecuación de *Arrhenius*:  $E_a$  (para hidrólisis) de 20 kJ/mol y  $E_a$  (para inactivación) de 295 kJ/mol. La diferencia en las energías de activación tiene como consecuencia que, a temperatura creciente, la velocidad de inactivación se incrementa más rápidamente que la de catálisis. Así a 60 °C la velocidad relativa de inactivación es  $10^9$  veces más rápida que la de catálisis (12).

La estabilidad de las enzimas frente a las altas temperaturas es muy diversa. Algunas de ellas pierden su actividad catalítica ya a temperaturas bajas; otras soportan, al menos durante un corto período de tiempo, un intenso tratamiento térmico. Esto hace que la determinación de la actividad enzimática se convierta en indicadora de la eficacia de ciertos procesos tecnológicos de los alimentos (12). La alfa amilasa es más resistente a la inactivación del calor que la beta-amilasa, la actividad de la beta amilasa disminuye a partir de los 50 °C y la de la alfa-amilasa a partir de los 65 °C aproximadamente (46).

## F. ELECTROFORESIS EN TRIGO

Para facilitar la interpretación y discusión de los diagramas electroforéticos obtenidos, se muestran los mismos con algunas variantes explicativas en el diseño con respecto a los que figuran en el Anexo 10.

### F.1 Electroforesis de proteínas no reducidas 1 2 3 4 5 6 7 8

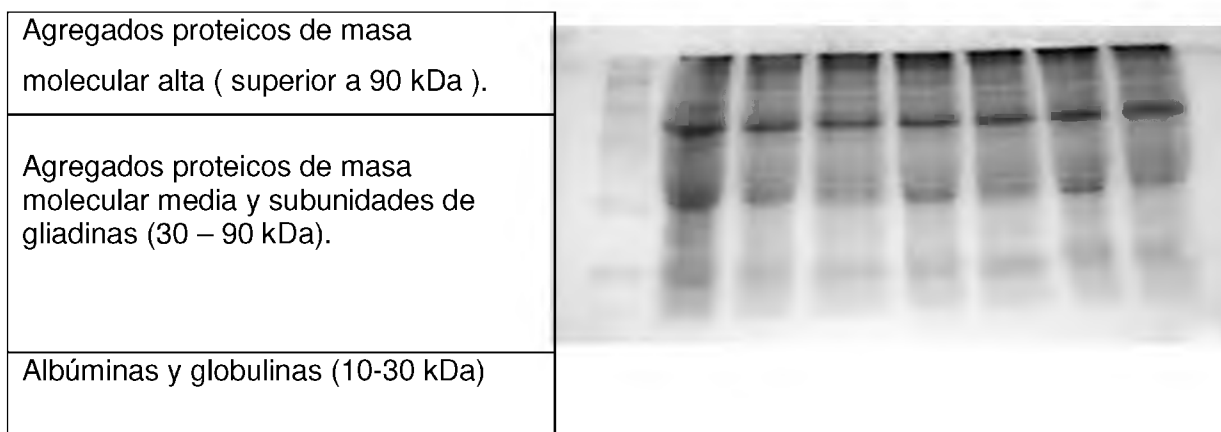


Figura 6.5 Electroforesis SDS PAGE de proteínas de trigo no reducidas. Calle 1: St. Calle 2: T. Calles 3 a 8, muestras; calle 3: 70/40; calle 4: 70/60; calle 5: 90/40; calle 6: 90/60; calle 7: 120/40 y calle 8. 120/60.

Los perfiles de los extractos de proteínas no reducidas no mostraron una clara definición de las bandas polipeptídicas a lo largo de todo el gel. Se aprecia en el diagrama electroforético tres cortes netos señalados como agregados proteicos: superior a 90 kDa, constituidos por las gluteninas de alto peso molecular; un segundo corte, constituido por agregados de masa molecular media y subunidades de gliadina y gluteninas de bajo peso molecular (30 a 90 kDa) y un tercer corte, constituido por proteínas de bajo peso molecular, fundamentalmente albúminas y globulinas (menos de 30 kDa). La asociación de estos cortes con los pesos moleculares surge de comparar con los estándares y lo expresado por Schofield y colaboradores (1983) quienes asignan a las subunidades de gluteninas pesos moleculares

de 30 a 140 kDa, a las gliadinas pesos moleculares de 30 a 40 kDa aunque las omega-gliadinas son más pesadas correspondiendo 75 a 79 kDa. Las albúminas y globulinas también están presentes en el diagrama y se hallarían en la zona de pesos moleculares inferiores a 30 kDa (18).

Esta electroforesis no muestra diferencias cualitativas entre el testigo y las muestras secadas a diferentes temperaturas, sólo se observa menos cantidad de proteínas en las muestras secadas con respecto al control fundamentalmente de las proteínas de peso molecular menores a 30 kDa. Esto indicaría una menor solubilidad de la proteína en SDS cuando el grano es sometido a temperaturas mayores de 70 °C. excepto las indicadas anteriormente. Se observó una pérdida en la nitidez de las bandas en la zona de peso molecular menor de 30 kDa, a partir de la calle 5, en las muestras donde las temperaturas de secado son superiores a 90 °C debido probablemente a que el calor ha desnaturizado las proteínas y estas formaron agregados insolubles entre sí de mayor peso molecular (74).

Las proteínas del grano fueron también extraídas en presencia de un agente reductor como el 2-mercaptoetanol y separadas por SDS-PAGE, como se muestra en la Fig. 6.6.

El patrón electroforético no muestra diferencias marcadas con el testigo, sin embargo los valores de GH y de IS en SDS fueron claramente afectados por la temperatura de secado. Esto indicaría que las temperaturas elevadas no afectan las estructuras primarias pero sí su funcionalidad y que dichos cambios no pueden verse claramente mediante electroforesis. Sin embargo se observa una desaparición o disminución de la intensidad de las bandas de peso molecular inferiores a 30 kDa cuando las muestras fueron secadas a temperaturas de 90 °C o más (Fig 6.6). La mayor nitidez de las bandas en las muestras tratadas con 2-mercaptoetanol, se debería a que las subunidades unidas por puentes disulfuro, son separadas por este agente reductor y cada cadena polipeptídica aparece en el gel como una banda. Al aumentar la temperatura de secado, las proteínas del grano cambian su estructura y se hacen insolubles a pesar de la presencia de ME, en el medio de extracción.

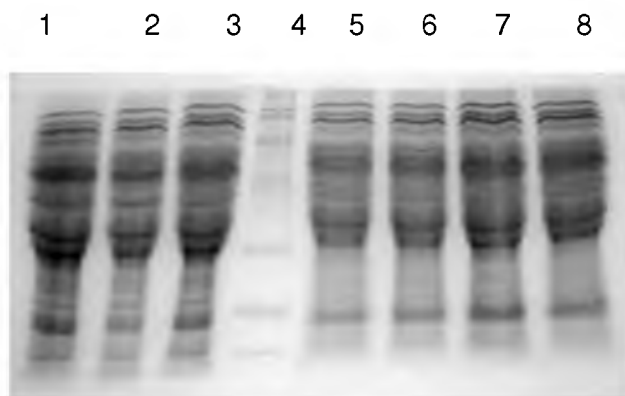


Figura 6.6 Electroforesis SDS PAGE de proteínas de trigo reducidas con  $\beta$ -mercaptoetanol. Calle 4: St. Calle 1: T. Calles 2, 3 y 5 a 8: muestras; calle 2: 70/40; calle 3: 70/60; calle 5: 90/40; calle 6 90/60; calle 7: 120/40; calle 8: 120/60

A fin de determinar los cambios funcionales sufridos por las proteínas por efecto de la temperatura se realiza una electroforesis en geles multistacking (Anexo 10 c). En este tipo de electroforesis, las proteínas se extraen de la muestra sin agentes reductores y se siembran en geles de diferente concentración en donde se desplazan en función de su tamaño.

A partir de la densitometría óptica de estos geles se observa que, por efecto del aumento del tamaño molecular de los agregados proteicos quedan retenidos mayor proporción de proteínas en los geles de menor concentración (4-6-8%) a medida que la temperatura aumenta (Tabla 6.2).

A los fines de interpretar la Tabla 6.2, se han elaborado gráficos de barras del IODr en función de la temperatura de secado del grano.

**Tabla 6.2 Lecturas densitométricas de las bandas proteicas y sus índices de densidad óptica relativa (IODr) en %.**

%A	FILA	T IODr %	70/40 IODr %	70/60 IODr %	90/40 IODr %	90/60 IODr %	120/40 IODr %	120/60 IODr %
4	r3	11,55	8,36	11,33	13,48	9,22	13,31	16,61
6	r5	7,28	7,47	7,95		10,96	12,26	8,14
8	r6	7,9	18,44	8,48	18,16	24,7	18,02	18,83
12	r7							
	r8							
	r9	73,27	65,73	72,24	68,36	55,12	56,41	56,42
	r10							
	r11							
	r12							
		100	100	100	100	100	100	100

La Fig 6.7 representa los valores de IODr en función de la temperatura de secado de 70 °C, 90 °C y 120 °C para el total de los geles de stacking (sumatoria del IODr de las bandas retenidas en los geles 4 – 6 y 8 %) y el gel separador (12%). Se observa que a medida que aumenta la temperatura de secado aumenta la proporción de proteínas retenidas en los geles stacking debido a que se forman agregados proteicos de mayor tamaño molecular por acción de la temperatura.

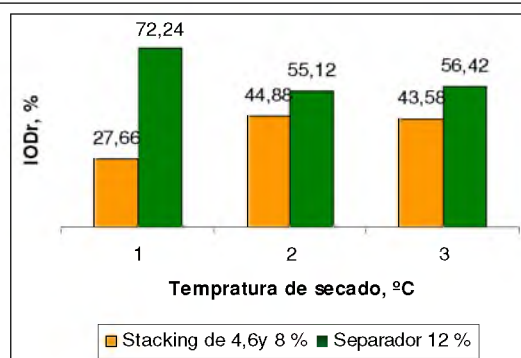


Fig 6.7 Índices de densidad óptica relativos (IODr) en función de la temperatura de secado para un tiempo de 60 min. La serie naranja contiene los IODr de la sumatoria de los geles stacking y la serie verde, los IODr del gel separador. Los valores en abscisas 1,2 y 3 se corresponden con las temperaturas de 70 °C, 90 °C y 120 °C, respectivamente.

La Fig. 6.8 representa los valores de IODr en función de la temperatura de secado para tiempos diferentes, de 40 min y 60 min. Se observa que a medida que aumenta la temperatura de secado y el tiempo, aumentan la proporción de proteínas retenidas en el stacking.

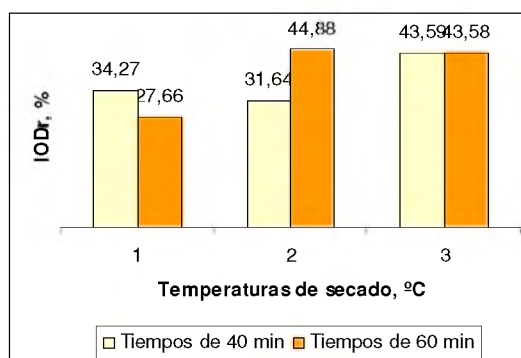


Fig. 6.8 Índices de densidad óptica relativos (IODr) en función de la temperatura del secado para un tiempo de 40 y 60 min. en geles de stacking. La serie amarilla contiene los IODr de los geles stacking cuyas proteínas fueron calentadas por 40 min y la serie naranja, los IODr de los geles stacking cuyas proteínas fueron calentadas por 60 min. Los valores en abscisas 1,2 y 3 se corresponden con las temperaturas de 70 °C, 90 °C y 120 °C, respectivamente.

Schofield y colaboradores trabajaron con gluten, al que sometieron a diferentes temperaturas (74). Aunque es muy diferente calentar el grano entero que calentar el gluten, puesto que el medio en que se encuentran las proteínas es diferente, se puede tratar de relacionar los resultados obtenidos por estos autores con los del presente trabajo. Schofield y colaboradores encontraron que a la temperatura en que se afecta la funcionalidad del gluten (entre 55 °C y 70 °C) habría una polimerización de las gluteninas, aunque no de las gliadinas formando agregados de alto peso molecular.

### ANÁLISIS DE ENSAYOS EN SOJA

La Tabla 6.3 muestra los datos composición y calidad de las muestras de grano de soja secadas a diferentes temperaturas.

**Tabla 6.3: Valores de humedad, temperatura de grano, granos quebrados y/o partidos, actividad ureásica, materia grasa, acidez, nitrógeno total y dispersabilidad proteica para cinco muestras de soja.**

Letras distintas en cada columna indican diferencias significativas  $p < 0,05$ .

Muestra	Humedad (%)	Temperatura del grano (°C)	Granos Quebrados y/o partidos (%)	Actividad Ureásica (upH)	Materia grasa (%) (ssh)	Acidez (%)	Nitrógeno Total (%) (sss)	PDI (%)	
Testigo	12,3	60	15 ± 1,41 A	2,42 ± 0,01 E	23,55 ± 0,21 B	0,7 ± 0,14 A	6,73±0,01 A	73±1 E	
90/60	9,5	75	25 ± 1,41 A	2,17 ± 0,01 D	23,3 ± 0,07 B	1,1 ± 0,14 B	6,75±0,01 A	68±1 D	
120/60	9,1	90	46 ± 1,41 B	1,74 ± 0,01 C	23,15 ± 0,35 B	1,5 ± 0,14 C	6,74±0,01 A	57±1 C	
150/60	8,5	120	62 ± 3,40 B	0,63 ± 0,01 B	21,4 ± 0,21 A	1,5 ± 0,14 C	6,73±0,02 A	32±1 B	
200/50	8,0	170	92,5 ± 3,54 C	0,06 ± 0,01 A	21,4 ± 0,14 A	1,5 ± 0,14 C	6,72±0,01 A	26±1 A	

#### G. GRANOS QUEBRADOS Y/O PARTIDOS (GQ/P)

Se observa un aumento de la proporción de granos quebrados y/o partidos a medida que aumenta la temperatura de secado del grano con un alto coeficiente de correlación entre ambos parámetros (Fig.6.9). El % de quebrados y/o partidos es un ensayo que fija las bases de comercialización del grano de soja (Ver Anexo 6), admitiéndose una tolerancia máxima de quebrados y/o partidos del 30 %. El aumento de este defecto a medida que aumenta la temperatura del secado es debido a la contracción del grano, lo cual crea tensiones internas que provocan la fisura o rotura, por un lado (20), y por otro, a la misma anatomía del grano de soja (ya expuesta en el Capítulo 1, Sección 1), con un tegumento delgado, fácil de desprender una vez seco y que deja los cotiledones frágiles expuestos a

las altas temperaturas. El secado de los granos de soja a temperaturas superiores a 80 °C ocasiona este tipo de daño (20).

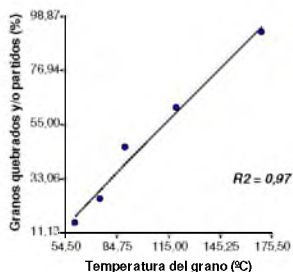


Figura 6.9 Relación entre el % de granos quebrados y/o partidos con la temperatura del grano.

## B. ACTIVIDAD UREASICA (AU)

Se observa una disminución progresiva de la actividad ureásica a medida que se intensifica la temperatura de secado del grano (Fig 6.10). Se considera una actividad ureásica normal de 2,5 unidades diferencia de pH. En la práctica industrial, el test de la ureasa se utiliza para detectar la eficacia de los tratamientos térmicos ante la inactivación de los inhibidores de las proteasas y otros compuestos nocivos, que posee esta leguminosa y la desnaturalización de las proteínas provocadas por el secado (12).

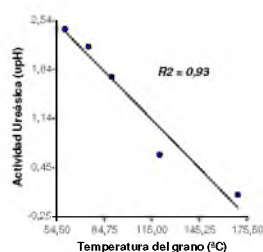


Figura 6.10 Relación entre la actividad ureásica y la temperatura del grano.

Las causas de este comportamiento son las mismas que las expuestas para la actividad alfa-amilásica del trigo: disminución de la actividad enzimática como consecuencia de la inactivación provocada por las altas temperaturas. Analizando los resultados de la Tabla 6.2, cuando la muestra se seca a temperaturas de 120 °C (90 °C de temperatura de grano) la actividad ureásica disminuye al 26 % de la actividad con respecto al testigo y solo con un calentamiento por encima de 200 °C se inactiva completamente.

## C. MATERIA GRASA (MG)



No se observa un aumento significativo de la materia grasa en función de la temperatura alcanzada por el grano, a partir de los 90 °C por lo que este parámetro no es indicativo de la severidad del secado. El aumento gradual observado en el ensayo se debió a que se trabajó sobre base húmeda. Al ir disminuyendo la humedad de la muestra, fue aumentando la materia grasa por disponer de más materia seca. Además la sensibilidad del método empleado, no permite mayores apreciaciones a pesar de ser clásico en la evaluación de la materia grasa en los granos oleaginosos. No obstante, se ha utilizado por ser un método preparatorio para la determinación de acidez que sí es un parámetro más significativo.

#### D. ACIDEZ (Ac)

Se observa un aumento considerable de la acidez en los granos sometidos a temperaturas progresivas de secado (Fig. 6.11). A partir de los 90 °C de temperatura de grano las diferencias dejaron de ser significativas y se mantienen constantes. Este comportamiento debemos buscarlo en el origen de la acidez. La acidez de la materia grasa es producida por los ácidos grasos liberados de los triglicéridos como consecuencia de la ruptura del enlace acilo por parte de las enzimas lipasas (12).

Las lipasas son esterasas que en los granos secos tienen una actividad aún a altas temperaturas. Se conoce que para inactivar el 97 % de la enzima son necesarias temperaturas de grano de 104 °C con 8% de humedad residual, considerándose esa temperatura como la de inactivación. Ambos parámetros, temperatura y humedad juegan un rol importante en la actividad, que por ser una hidrolasa necesita del agua para provocar la hidrólisis del enlace ácido (51).

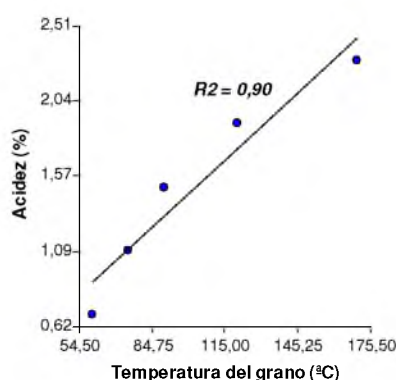


Figura 6. 11 Relación entre la acidez y la temperatura del grano.

Stewart y colaboradores, estudiaron el efecto del secado sobre los ácidos grasos insaturados en la soja, llegando a la conclusión de que se observa un aumento de la acidez en general y que esa acidez posee una composición mayor en ácidos grasos insaturados

que saturados, ya sea que se caliente la soja con aire o con microondas (79). Esto trae como consecuencia una disminución en la calidad del aceite que se extrae de ella y en la relación natural de ácidos grasos insaturados con respecto a los saturados que el mismo posee.

#### **E. NITROGENO TOTAL (Nt)**

La determinación del nitrógeno total y en consecuencia del contenido proteico en soja, es un ensayo habitual para medir su cantidad pero no su calidad. Aquí sucede lo mismo que en los ensayos de nitrógeno total en trigo.

No se observa una variación del % Nt a medida que se incrementa la temperatura. Por lo que este ensayo no es de utilidad en la evaluación de los daños ocasionados por el calor sobre las proteínas (12). No obstante se ha determinado para comprobar su relación de independencia con las temperaturas alcanzadas por el grano. Los valores calculados corresponden a base seca.

#### **F. INDICE DE DISPERSABILIDAD PROTEICA (PDI)**

Se observa una disminución del índice de dispersabilidad proteica con el aumento de la temperatura del grano (Fig 6.12). Los valores normales del PDI oscilan alrededor del 73 % a 85 % (10).

Para explicar este comportamiento debemos considerar por un lado la solubilidad de las proteínas en agua y por otro lado, el calor como agente desnaturizante (38).

La solubilidad de la proteína en agua supone separación de las moléculas del disolvente, separación de moléculas de proteína y dispersión de las últimas en las primeras con máxima interacción entre proteína y disolvente (enlaces de hidrógeno, dipolo-dipolo, interacciones iónicas). Como regla general, la solubilidad de las proteínas depende entre otros factores, de la temperatura. Entre 0 y 50 °C aumenta su solubilidad pero a temperaturas mayores de 50 °C, los movimientos moleculares son suficientes para romper enlaces implicados en la estabilización de las estructuras secundaria y terciaria. Además, el calentamiento produce alteraciones químicas entre restos de cadenas laterales de aminoácidos y nuevos enlaces covalentes o intermoleculares. Se forman uniones entre restos de aminoácidos como lisinoalanina, lantionina (tioéter de la cisteína), y ornitoalanina (la ornitina posee un grupo metileno menos que la lisina). El valor nutritivo de las proteínas en las que se forman enlaces covalentes de este tipo suelen tener un valor biológico inferior que la proteína nativa (38).

Reacciones como las nombradas pueden afectar el 15 % de los restos de lisina, con participación del grupo epsilon-amino de este aminoácido. Desde el punto de vista

nutricional, la formación de estos enlaces conduce a un descenso de la digestibilidad de nitrógeno, del coeficiente de eficacia proteica y del valor biológico (38).

Del análisis estadísticos de los resultados (Tabla 6.3), se puede estimar que hasta la temperatura de 120 °C la disminución del PDI es del orden del 20 %, pero superada esta temperatura disminuye mas de 60 % con respecto al testigo. Esto nos permite decir que a partir de la temperatura de secado de 120 °C se produce una disminución considerablemente alta del PDI, aumentando la indigestibilidad del contenido proteico.

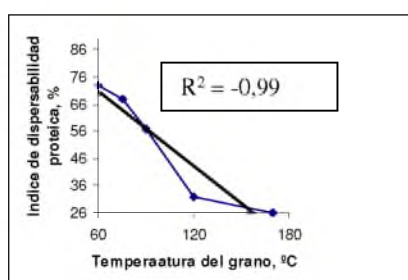


Figura 6.12 Relación entre el índice de dispersabilidad proteica y la temperatura del grano.

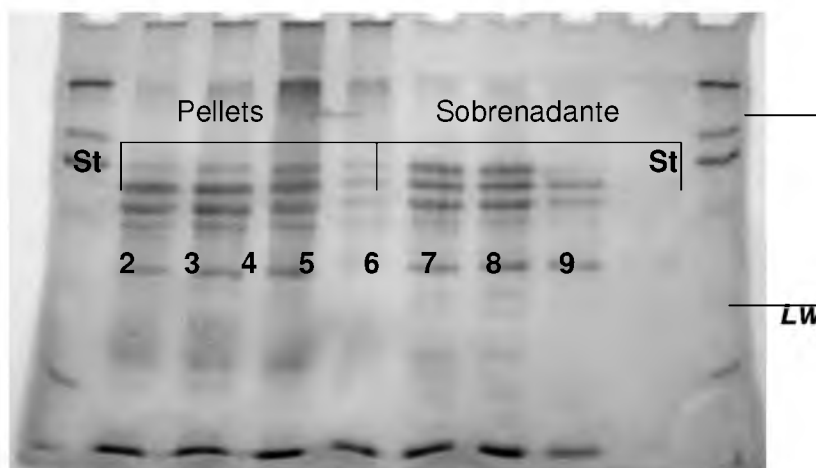
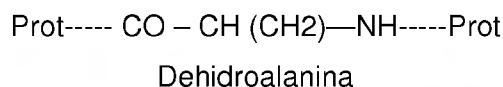
## G. ELECTROFORESIS EN SOJA

Tanto la fracción soluble en buffer fosfato-NaCl como la insoluble fueron separadas por SDS-PAGE. En ambas fracciones no se observan cambios con respecto al testigo hasta la temperatura de 150 °C (Fig 6.13). Cuando los granos fueron secados a 150 °C disminuyó la solubilidad de las proteínas observándose menor intensidad de las bandas proteicas correspondientes a la fracción soluble (sobrenadantes), conjuntamente aumentó la intensidad de las bandas extraídas a partir del precipitado con buffer de muestra que contiene SDS y el agente reductor ME, esto indicaría que por acción de la temperatura, las proteínas formaron agregados de mayor tamaño molecular que quedaron en el precipitado y que solo se solubilizaron por acción del detergente y el ME (Fig 13.6, calle 4). Cuando la temperatura de secado del grano fue de 200 °C, drásticamente decreció la intensidad de las bandas en el sobrenadantes y en el pellet.

Estos cambios indican una disminución en la solubilidad de las proteínas y el agregado propio de las mismas por acción del calor (70). Hecho que coincide con los resultados observados en el ensayo del PDI.

El calentamiento de las proteínas a pH alcalinos o a temperaturas superiores a 200 °C a pH neutro, provoca la pérdida del protón del carbono alfa y la formación de un carbanión. El carbanión de la Cys, cistina y fosfoserina sufre una reacción de beta-eliminación, dando lugar a la formación de un resto de dehidroalanina muy reactivo (DHA).

La formación de DHA puede tener lugar también, vía mecanismo de una sola etapa, sin formación del carbanión (39).



**Figura 6.13 Patrones electroforéticos de las proteínas de soja reducidas con ME en gel de PA.** Calentadas a 78, 120, 150 y 200 °C (2, 3, 4 y 5, pellets- y las mismas temperaturas respectivamente para 6, 7, 8 y 9, sobrenadante). 2 y 6, testigo. St: marcador molecular estándar. *Lw*: zona de baja movilidad.

Una vez formados, los restos DHA muy reactivos reaccionan con los grupos nucleofílicos, como el epsilon-amino del resto lisilo, el grupo tiol del resto Cys, el grupo delta-amino de la ornitina (formada por descomposición de la arginina), o el resto histidilo, con lo que se forman los enlaces cruzados lisino-alanina, lantionina, ornitolantionina e histidinilalanina, respectivamente. La lisino-alanina es, de ordinario, el enlace cruzado más abundante ya que los restos lisilos son fácilmente accesibles (38).

La formación de enlaces cruzados proteína-proteína, disminuye su digestibilidad y su valor biológico. La digestibilidad, la relación de eficiencia proteica (PER) y la utilización proteica neta (NPU) disminuyen al aumentar el contenido de lisinoalanina. La disminución de la digestibilidad se debe a la incapacidad de la tripsina de escindir el enlace peptídico del enlace cruzado lisinoalanina. Además, las dificultades estérica expuestas por los enlaces cruzados impiden la hidrólisis de otros enlaces peptídicos próximos al lisinoalanina y a enlaces cruzados similares. Hay datos que sugieren que la lisinoalanina libre se absorbe en el intestino, pero no es utilizada por el organismo y en su mayor parte se excreta a través de la orina. Parte de la lisinoalanina se metaboliza en el riñón. En el refinado de proteína de soja se ha detectado hasta 370 µg/g de lisinoalanina (38).



#### **Sección 4**

### **CONCLUSION GENERAL**

La etapa de la poscosecha constituye el eslabón necesario y fundamental que puede beneficiar o perjudicar todo el esmero realizado por el agricultor, preocupado por la calidad y por el rendimiento. El acopiador, al ser receptor de todo este esfuerzo, tiene una mayor responsabilidad y compromiso en la actualización de las temáticas pertinentes a la conservación de la calidad, ya que hay una calidad que no se puede mejorar pero sí mantener que es la calidad intrínseca del grano. Ello requiere cuidado y dedicación así como capacitación permanente a los fines de poder globalizar y relacionar las pérdidas de atributos que influyen en su posterior tratamiento industrial.

Se ha visto que, dentro del ámbito del acopio son variadas las actividades pero existe una, que por su complejidad e influencia es fundamental: el secado. Por su complejidad, porque estamos frente a un proceso que involucra transferencia de masa y de calor cuyo desconocimiento o mala operación, conduce a considerables pérdidas tanto de granos como de energía, pérdidas que no podemos permitirnos en el mundo actual. Por su influencia, porque es un proceso que gobierna los demás, un grano bien secado es fácil de almacenar y de transportar.

El principal daño del secado en los granos, revelado a través de los ensayos experimentales, es en su composición proteica y por ende enzimática, que influyen en la calidad y cantidad de estos nutrientes.

En granos como en el trigo, donde la relación ideal de gliadinas y gluteninas, gobierna las propiedades reológicas de los productos que de él derivan, resulta ser un factor muy importante y en la soja, la alteración proteica se ve reflejada en la calidad de su harina o aceite, siendo uno importante para la alimentación animal y el otro para la alimentación humana.

Los parámetros relacionados a la calidad proteica del trigo fueron afectados por el aumento de la temperatura de secado. El índice de sedimentación disminuyó un 25% en los granos secados a 120°C con respecto al control y el gluten directamente no aglutinó. La actividad amilásica de las harinas fue significativamente afectada por la temperatura a partir de los 70°C. Mediante electroforesis se observó formación de agregados proteicos de alto peso molecular en las muestras secadas a 90°C. El aumento de temperatura en el secado de las muestras de soja afectó significativamente la actividad enzimática y la calidad proteica y lipídica de los granos. La actividad ureásica disminuyó un 28% cuando la muestra fue secada a 120°C y la enzima se inactivó totalmente a 200°C. La solubilidad de las proteínas disminuyó con el aumento de la temperatura según lo observado mediante el índice de dispersión proteica. La acidez de la materia grasa del grano aumentó con la temperatura hasta los 120°C y se mantuvo constante a partir de esta temperatura. El secado a temperaturas superiores a 60°C afecta los componentes químicos (proteínas y lípidos) de

los granos produciendo una disminución en la calidad industrial y nutricional de los mismos. Esto nos permite asegurar que la desnaturalización térmica provocada por el exceso de calor influye en la calidad de las proteínas y en su solubilidad e indirectamente en su digestibilidad, atribuída fundamentalmente a la pérdida de uniones químicas claves para el mantenimiento de sus estructuras, tan ligadas a su funcionalidad. La disminución de la digestibilidad lleva a la pérdida de aminoácidos esenciales con la consiguiente disminución de su valor nutritivo. Es decir, que no sólo se estaría afectando la utilización industrial de los granos sino que se estaría influyendo en la calidad y cantidad de nutrientes que benefician la salud humana. La reposición de tales pérdidas nutritivas, si bien en muchos casos puede hacerse artificialmente, con la elaboración de nutrientes sintéticos, implica mayores gastos energéticos y plantea nuevos dilemas a nivel de la conservación ambiental de nuestro planeta.

El presente trabajo de tesis ha aportado una prueba más a lo mucho escrito e investigado en esta temática y ha tratado de reunir contenidos dispersos a los fines de relacionarlos, para ejercer un mejor control en la calidad intrínseca de los granos en la poscosecha. Las conclusiones obtenidas, demostradas por experimentación, permiten corroborar la hipótesis planteada respecto al daño de la calidad en los componentes más importantes necesarios para el posterior proceso de industrialización como son, las proteínas en el trigo y las proteínas y materia grasa en la soja, es decir, se han seguido los pasos del método científico, que certifica el conocimiento impartido por las ciencias.



*Brillantes edificios metálicos emergen  
Quebrando la horizontalidad de la pampa gringa.  
¿Reflejan luz cual espejos convexos?  
¿O emiten luz por la vida que guardan?*

*La Autora*





## **Sección 5**

### **Referencias, fuentes y anexos**

#### **REFERENCIAS Y FUENTES**

#### **ANEXOS**



## **REFERENCIAS y FUENTES**

## REFERENCIAS

1. AACC. American Association of Cereal Chemists. 1995. Approved Methods of the AACC. Ninth Edition The Association. USA.
2. AGUIRREZABAL, L.A.N. y F.H. ANDRADE. 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Unidad integrada Balcarce, 315p.
3. AGUIRREZABAL, L.A.N. y F.H. ANDRADE. 1998. Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Unidad integrada Balcarce, p. 140 -197.
4. AOCS. American Oil Chemists Society, 1980b. Protein dispensability index. Official Method Ba 10-65. AOAS. Champagne, IL.
5. AOKI, H.O.; TANEYANA; M. INAMI: Emulsifying properties of soy proteins: characteristics of 7S and 11S proteins. J. Food Sci. 45 p. 534.
6. BADIALI, O.J.J.; G. GIAMBASTIANI; C. VICIANO. 2003. Curso de Secado y Aireación de Granos. Cátedra de Cereales y oleaginosas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba.
7. BADLEY, R.A.; D. ATKINSON; H. HAUSER; J.P.GREEN; D.OLDANI; J.M. STUBBS. 1975. The structure, physical and chemical properties of the soybean protein glycinin. *Biochemistry. Biophys. Acta* 412- 414.
8. BARNEIX, A.; S. LEWIS; L. BULLRICH; M. KADE; N. FATTA; C.CAPUTO y E.Y. SUAREZ. 1998. Efecto de un gen/es del brazo corto del cromosoma 7B sobre la concentración de las proteínas en el grano de trigo. En: Actas del IV Congreso Nacional de Trigo, Mar del Plata, Argentina. p. 1-4.
9. BARTOSIK, R.E y J.C. RODRIGUEZ. 2003. Efecto del secado a alta temperatura sobre las calidades panaderas del trigo. Artículos de divulgación científica. INTA Balcarce. Argentina.
10. BATAL, A.B.; M.W. DOULAS, A.E. ENGRAM Y C.M. PARSONS 2000. Protein dispensability index as an indicator of adequately processed soybean meal. *Poultry Sci.* 79: 1592-1596.
11. BELITZ, H.D. y W. GROSCH. 1988. Química de los Alimentos. Primera Edición en español. Editorial Acribia. Zaragoza. España. 813 p.
12. BELITZ, H.D. y W. GROSCH. 1992. Química de los Alimentos. Segunda Edición en español. Zaragoza, España: Editorial Acribia. 1087 p.
13. BELITZ, H.D. 1978. Vegetals proteins as human food. FEBS 11<sup>th</sup> Meeting Copenhagen 1977, Vol 44, Symposium A3, Pergamon Press: Oxford. New York. USA.

14. BERHAUT, P. 1989. Séchage et qualité du blé tendre, du blé dur et du pois. Journées nationales d'information sur le séchage des grains en organisme collecteur. Perspectives Agricoles, Horsk serie, Juillet-Aôut: 5664. ITCF, France.
15. BIETZ, J.A. y J.S. WALL 1972. Wheat gliadin subunits: Molecular weights determined by sodium dodecil sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *Cereal Chem.* 49: 416.
16. BONGIOVANNI, R y C.W. ROBLEDO. 2006. Optimización de dosis de Nitrógeno para maximizar rentabilidad, rendimiento y proteína. Congreso A Todo Trigo 2006. 18 y 19 de Mayo, Mar del Plata.
17. BOOTH, M.R. y J.A.D. EWART 1969. Studies on four components of meat gliadins. *Biochimistry. Biophys. Acta.* 181: 226.
18. BOOTH, M.R.; R.C. BOTTOMLEY; J.R.S. ELLIS; G.MALLOCH; J.D. SCHOFIELD y M.F. TIMMS. 1980. Effect the heat on gluten-physico- chemical properties and baking quality. *Ann. Technol. Agric.* 29:399.
19. BOULTER, D. and E. DERBYSHIRE 1978. The general properties, classifications and distribution of plant proteins. In: Plant proteins Ed. Norton G. p.3, Butterworths: London.
20. BRENNAN, J.G.; J.R. BUTTERS; N.D. COWELL y A.E.V. LILLY. 1970. Las Operaciones de la Ingeniería de los Alimentos. Editorial Acibria. Zaragoza. España. . 422 p.
21. BROOKER, D.B. 1967. Mathematical Model of the psicrometric chart. *Trans. ASAE* 10 p. 558-560.
22. BROOKER, D.B; F.W. BAKKER-ARKEMA and C.W. HALL. 1992. Drying and storage of grain and oilseeds. An Avi Book. Van Nostrand Reinhold. New York. USA p. 79 -80.
23. CALDERINI, D.F.; L.G. ABELEGO and G.A. SLAFER. 2000. Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. *Agron. J.* 92: 5 p. 895- 901.
24. CASINI, C y M. BRAGACHINI. 2005. Soja. Eficiencia de Cosecha y Postcosecha. INTA Precop Manual Técnico N° 3. Ediciones INTA.
25. CASINI, C.; R.M. CRAVIOTTO y S.M. GIANOLA. 1997. Calidad de la semilla de soja. *En: Giorda, L.M. y H.E.J. BAIGORRI (eds). El cultivo de la soja en Argentina.* INTA, p. 90-102.
26. CHEFTEL, J.C. ; CUQ, J.L und LORIENT, D.1992. Leddensmittelpotein: Biochemie, funktionelle Eigenschaften, Ernährungsphysiologie, chemische Modifizierung. 1. Auflage, Behrs Verlag Hamburg.
27. CHRISTENSEN, C.M. 1982. Storage of Cereal Grains and their Products. 544 p. American Society of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota. U.S.A

28. CONNOVER, W. 1999. Some methods based on ranks. En: Practical Nonparametric Statistics, 3<sup>o</sup> Editions. Editado por Coonover, W. Jhon Wiley & Sons, USA p. 312-314.
29. CUNIBERTI, M. R y E. TROMBETTA. 1997. Procesamiento. En: Giorda, L.M. y H.E. J. Baigorri (eds). El cultivo de soja en la Argentina. INTA, p. 417-422.
30. DE DIOS, C. A. 1996. Secado de diversos granos. En: Secado de Granos y Secadoras. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Santiago, Chile.
31. De DIOS, C.A. 1989. La calidad del grano de soja en Argentina. IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja, 5-9 de marzo de 1989, Buenos Aires, Argentina. Tomo IV p. 1987-1991.
32. DE LA VEGA, A. and A.J. HALL. 2002. Effects of planting date, genotype and their interactions on sunflower yield: II. Components of oil yield. *Crop Sci.* 42 :1202-1210.
33. DICK, J and QUICK, J. 1983. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chem* 60:315-318.
34. DOS SANTOS LARA, J.A. 1969. Botánica. Décimo quinta edición. Editorial troquel. 308 p.
35. DUDLEY-CASH, W.A. 2003. Methods for determining quality soybean meal protein. Technical Bulletin, American Soybean Association.
36. EGLI, D.B. 1998. Seed Biology and the yield of grain crops. N.Y.,USA: Cab International. 178p.
37. EWART, J.A.D. 1976. Fingerprinting of glutenin and gliadin. *J. Sci.Food Agric.* 17:30.
38. FENNEMA, O.R. 2000. Química de los Alimentos. Tercera Edición. Zaragoza. España: Editorial Acribia. 1.258 p.
39. FREEMAN, J.E. 1980. Quality preservation during harvesting, conditioning, and storage of grains and oilseeds. *Crop Quality, Storage and Utilization* p. 187- 226 ASA and SSA, Madison.
40. FURNARI, G y A. GUGLIELMO, N. LONGHITANO, P. PAVONE, C. SALNUERI, F.SCELSI. 2001. Tabla de Botánica Sistemática. Universidad de Catania. Departamento de Botánica. 220 p.
41. GARCES R.; C. SARMIENTO and M. MANCHA. 1992. Temperature regulation of oleate desaturase in sunflower seed. *Planta* 186: 461-465.
42. GOFF, J.A. and S. GRATCH. 1945. Thermodynamic properties of moist air. *Trans. Of the ASAE.* 55:463-464.

43. GOODING, M.J. and P.D. DAVIES. 1997. Wheat production and utilization. Systems, quality and the environment. CAB International, Wallingford, UK, 355p.
44. HARRIS H.; J. MC. WILLIAM and W. MASON. 1978. Influence of temperature on oil content and composition of sunflower seeds. *Aust.J. Agric.. res.* 29: 1203-1.212.
45. HOSENEY, R.C. 1986. Principles of cereal science and technology. American Association of Cereal Chemists. Inc. St Paul. Minnesota, USA.
46. HOSENEY, R.C. 1991. Principios de la Ciencia y Tecnología de los Cereales. Versión en español. Proteína de los cereales. Zaragoza, España: Editorial Acribia. 321 p.
47. INTA Manfredi. 2003. Proyecto nacional N° 520207. Desarrollo y difusión de Tecnología para aumentar la eficiencia de cosecha y poscosecha y mejorar la calidad de cereales y oleaginosas.
48. JONES, R.W.;G.E. BABCOCK; N.W. TAYLOR y F.R. SENTI 1961. Molecular Weights of wheat gluten fractions. *Arch. Biochem. Biophys.* 94 p. 483.
49. KASARDA, D.D.; C.C. NIMO y G.O. KOHLER, 1978. Proteins and the aminoacids composition of wheat fractions p. 227-229 in: *Wheat Chemistry and Technology*, 2<sup>nd</sup> ed. Y. Pomeranz, ed AACC, St Paul, Minn, USA.
50. KASARDA, D.D.; J.E. BERNANDIN y C.C. NIMO 1976. Wheat proteins. En *Advances in cereal science and technology. Volumen I* p. 158. Y. Pomeranz, ed AACC, St Paul, Minn, USA .
51. KENT, N.L. 1965. Tecnología de los Cereales. Introducción para estudiantes de Ciencia de los Alimentos y Agricultura. Zaragoza, España: Editorial Acribia. 221p.
52. KRULL, L.H., J.S. WALL, H. ZOBEL y R. J. DIMLER 1965. Synthetic polypeptides containing side-chain amide groups; water insoluble polymers. *Biochemistry* 4: 626.
53. LAEMMLI, U.K. 1970. Cleavage of structural protein during the assembly of the heads of bacteriophage. *Nature* 227:680-685.
54. LAIDLER, K.J. y P.S. BUNTING.1973. The denaturation of proteins. En "The chemical kinetics of enzyme action" .Oxford, England: Clarendon Press. 413 p.
55. LETZIG, E. 1951. Beitrag zur Frage der diätetischen Wirkung von Hafererzeugnissen. *Z. Lebensm- Intersuch.* 92 :170.
56. MARES, D.J. and B.A STONE. 1973. Studies on wheat endosperm. I. Chemical composition and ultrastructure of the cell walls. *Aust. J. Biol. Sci.* 26:793.
57. MARQUÉS PEREIRA, J. A y D. MARCIAL DE QUIROZ .1991. Principios de secado de granos. Psicrometría e higroscopía. Santiago, Chile: Publicación de la

oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Serie: Tecnología poscosecha  
8. 72 p.

58. MARTINEZ, M.J.; M. CUNIBERTI, M. BALZARINI; J.L. DARDANELLI; S.F. RAMUNDA;  
S. RESNIK; R. HERRERO and H. BAIGORRI. Interacción grupo de madurez-  
ambiente para aceite y proteína en granos de soja en Argentina 2005. p 100-102 en  
Proceeding del XI Congreso Latinoamericano de Grasas y Aceites, BsAS, Argentina,  
16 a 18 de noviembre 2005.

59. MARSANS, G.J. 1987. Manejo y Conservación de Granos. Buenos Aires, Argentina:  
Editorial Hemisferio Sur. 266 p.

60. MARSANS, M.J.; D. YANUCCI y M. PASCUAL. 1985. Publicación para el Curso de  
Manejo y Conservación de granos. Buenos aires, Argentina: Ediciones Facultad de  
Agronomía. 69 p.

61. MAZZONI, M.R.C. y J. ROBUTTI. 1983. Evaluación del método de sedimentación en  
SDS para determinar la calidad panadera en mejoramiento de trigo. Informe técnico N°  
185. INTA. Pergamino, Argentina.

62. MILLS, J.T. 1996. Quality of stored cereals. *Cereal Grain Quality*. En: R. Henry and  
P.S. Kettlewell (eds.). Chapman & Hall, the University Press, Cambridge, p. 441-  
478.

63. MIRANDA, R.2001. Calidad Comercial e Industrial. En: Trigo. Cuaderno de actualización  
63 de AACREA p. 113-117.

64. NG, P.K.W. and W. BUSHUK .1987. Glutein of Marquist Wheat as a Reference for  
Estimating Molecular Weights of Glutenin Subunits by Sodium Sulfate- Polyacrylamide Gel  
Electrophoresis. *Cereal Chem.* 64(5): 324-327.

65. NIELSEN, H.C.; B.E. BABCOCK y F.R. SENTI 1962. Molecular weight studies on  
glutenin before and after disulfide-bond splitting. *Arch. Biochem. Biophys.* 96: 252.

**66. OSBORNE, T. 1907. Proteins of the wheat kernel. Publication of the Carnegie  
Institution Washington, 84:1-119.**

67. PUZZI, D. 1984. Manual de Almacenamiento de Granos, Depósitos y Silos.  
Buenos Aires, Argentina: Editorial Hemisferio Sur .349 p.

68. RECA, L. y G. PARELLADA. 2001. El Sector Agropecuario Argentino. Buenos Aires,  
Argentina: Edición Facultad de Agronomía, 150 p.

69. RIBOTTA P.; S. AUSAR; M. MORCILLO; G. PEREZ; D. BELTRAMO and A.  
LEÓN. 2004. Production of gluten-free bread using soybean flour.  
*Journal of Science of Food and Agriculture.* 84:1969-1974.

70. RIBOTTA, P.D. 2002. Estudio de las transformaciones fisico-químicas que se producen durante el procesamiento de masas congeladas. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata. 198 p.
71. RICHARDSON, T: Enzymes. In: Principles of food science, Part I (ed.: Fennema, O.R.) Marcel Dekker Inc.: New York-Basel.
72. RO BUTTI, J.L.; R.C.HOSENEY and C.E.WASSON. 1974. Modified opaque-2 corn endosperms. *Cereal Chem.* 51:173-180.
73. SATORRE, H.E.; R.L .BENECH ARNOLD; G.A. SLAFER; EB de la FUENTE;D.J. MIRALLES; M. E. OTEGUI y R. SAVIN. 2003. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Primera Edición. Buenos Aires, Argentina: Ed. Facultad de Agronomía.783p.
74. SCHOFIELD, J.D. y M.R. BOOTH 1983. Wheat proteins and their technological significance. *En* Development in food proteins. Vol II p 1. London, England: B.J.F. Hudson. Applied Science Publishers.
75. SCHOFIELD, J.D.; R.C. BOTTOMLEY, M.F. TIMMS Y M.R. BOOTH. 1983. The effect of heat on wheat gluten and the involvement of sulphhydryl-disulphide interchange reactions. *J. Cereal Sci.* 1:241.
76. SIMMONDS, D.H. 1978. Structure, composition and biochemistry of cereals grain. *In: Cereals'78: Better Nutrition for the world's millions*, p 105. POMERANZ, Y. (Sci, Ed). AACC, St Paul, Minn.,U.S.A., on behalf of the Sixt International Cereal and Bread Congress.
77. SIMMONDS, D.H. 1989. Wheat and Wheat Quality in Australian. CSIRO, Melboune.
78. SLAFER, P.A.; E.H. SATORRE and F. H. ANDRADE. 1994. Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes. *En: G. A. Slafer (ed.)*, York Genetic Improvement of Field Crops. New York, EEUU: Marcel Dekker Inc. p. 1-68.
79. STEWART, O.J.; G.S.V. RAGHAVAN; V. ORSAT AND K.D. GOLDEN. 2003. The effect of drying on unsaturated fatty acids and trypsin inhibitor activity in soybean. *Process Biochemistry.* 39:483-489.
80. TATHAM, A.S.; B.J. MIFLIN y P.R. SHEWRY 1985. The beta-turn conformation in wheat gluten proteins: relationship to gluten elasticity. *Cereal Chemistry.* 62:405.
81. TOSI, E.; E.D. RE; L.M. TAPIZ y R. MASCIARELLI. 1986. Influencia de la temperatura final del grano, tiempo de residencia e intensidad de secado en la modificación de la calidad panadera. Congreso Nacional de Trigo, Pergamino, 6-10 octubre. Capítulo II: p. 1-6.



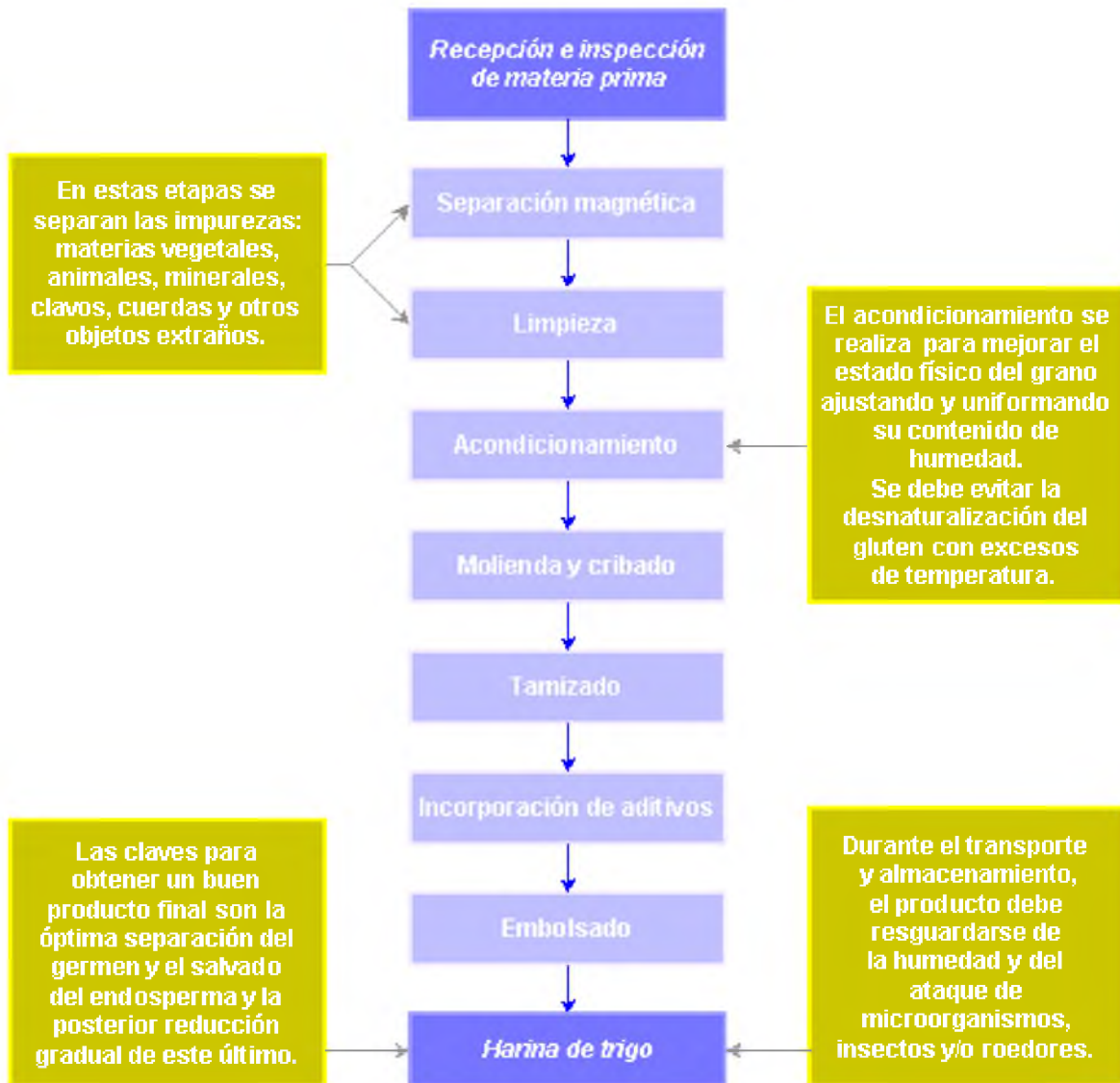
82. TRIBOI, E.; A. ABAD; A. MICHELENA; J. LLOVERAS; J.L. OLLIER and C. DANIEL. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur J. Agron.* 13:47-64.
83. USDA. 2003. World Agriculture Supply and Demand Estimates. Wasde 403, October 10.
84. VALENZUELA, A; J. SANHUEZA y A. GARRIDO. 1999. Ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga n-3: cuándo y por qué es necesaria la suplementación con estos ácidos grasos. *Grasas y Aceites*, p. 294-299.
85. VELASCO, L. and J.M. FERNANDEZ-MARTINEZ. 2002. Breeding Oilseed crops for improved oil quality. *J. Crop Prod.* 5 p. 309-344.
86. WAGNER, J. R. 2005. Modificaciones de proteínas de soja. Aplicación en la formulación de alimentos (BID 802/OC-AR PID 0374. 1996-2000). Síntesis de la conferencia. *Calidad Alimentaria 2005*. Rosario. Argentina.
87. WALL, J.S. 1979. The role the wheat proteins in determining baking quality. En "Recent advances in the biochemistry of cereals". London, England: editores D.L. Laidman y R. G. Wyn Jones. *Academis Express*. 275p.
88. WARDLAW, I.F. and C.W. WRIGLEY. 1994. Heat tolerance in temperate cereals. An overview. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:695-703.
89. WATSON, S.A. and P.E. RAMSTAD. 1987. Soybean. Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, Inc., Minnesota, USA, 605 p.
90. WILSON, R.F. 2001. Developing agronomic high-proteins soybeans. En: Actas del 24 Congreso Internacional of Society of fat Research, Berlin, Alemania.
91. WOYCHIK, J. H.; J. A. BONDY y R.J. DIMLER 1961. Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentrated urea. *Arch. Biochemistry.* 94: 477.
92. WRIGLEY, C. M.; C. BLUMENTHAL; P.W. GRAS Aand W.R. BARLOW. 1994. Temperature variation during grain filling and changes in wheat grain quality. *Aust. J. Plant Physiol.* 21:875-885.
93. WRIGLEY, C.M. 1994. Developing Better Strategies to Improve Grain Quality for Wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 45: 1-17.
94. WU, Y.V. y R. J. DIMLER 1964. Conformational studies of wheat gluten, glutenin, and gliadin in urea solutions at various pH's. *Arch. Biochemistry. Biophys.* 107:435.
95. WU, Y.V.; J.E. CLUSKEY y K.R. SEXSON 1997. Effect of ionic strength on the molecular weight and conformation of wheat proteins in 3M urea solutions. *Biochemistry. Biophys. Acts.* 133 : 83.
96. YANUCCI, D. 2000. Secado. Libro de Actualización N° 1. Granos & Poscosecha Latinoamericana. Buenos Aires, Argentina: Editado por Domingo Yanucci. 201 p.

## FUENTES

- [www.aaiia.tripod.com.ar](http://www.aaiia.tripod.com.ar) Asociación Argentina de la Industria Alimenticia.
- [www.abcaagro.com](http://www.abcaagro.com). Temáticas de agricultura. Chile.
- [www.agrobit.com.ar](http://www.agrobit.com.ar) Acceso a información agropecuaria.
- [www.agrodigital.com](http://www.agrodigital.com) Informes sobre el campo y la agricultura.
- [www.alcion.es](http://www.alcion.es). Base de datos de revistas y journals.
- [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org). Soc. Ame. de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire. Cartas psicrométricas.
- [www.bcr.com.ar](http://www.bcr.com.ar). Bolsa de Comercio de Rosario. Estadísticas de mercado.
- [www.bibliotecaelectronica.secyt.gov.ar](http://www.bibliotecaelectronica.secyt.gov.ar). Acceso a libros.
- [www.buscaagro.com](http://www.buscaagro.com). Directorio temático agropecuario y de ciencias afines.
- [www.cqc.ca](http://www.cqc.ca). Comisión Canadiense de Granos.
- [www.chemsoc.org](http://www.chemsoc.org). Base de datos, The RSC's Chemical Science Network.
- [www.ciara.com.ar](http://www.ciara.com.ar). Cámara de la Industria Aceitera de la Rca. Argentina.
- [www.codexalimentarius.com](http://www.codexalimentarius.com). Código alimentario Internacional.
- [www.codiqaalimentario.gov.ar](http://www.codiqaalimentario.gov.ar). Acceso a actualización del CAA.
- [www.cosechavpostcosecha.org](http://www.cosechavpostcosecha.org). Publicaciones y revistas agropecuarias.
- [www.elsevier.com/locate/oasis](http://www.elsevier.com/locate/oasis). Base de datos de revistas y journals.
- [www.elsitioagricola.com](http://www.elsitioagricola.com). Información para el desarrollo de la actividad agropecuaria.
- [www.fao.gov.ar](http://www.fao.gov.ar). Organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- [www.genome.ad.jp](http://www.genome.ad.jp). Nomenclatura sistemática de las enzimas.
- [www.granotec.com](http://www.granotec.com) Informes sobre producción agrícola.
- [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- [www.inta.gov.ar/ediciones/idia](http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia). Revista sobre Investigación y desarrollo agropecuario.
- [www.intabalarce.org/trabinve/Cereales/silobaq.htm](http://www.intabalarce.org/trabinve/Cereales/silobaq.htm) Almacenamiento de cereales
- [www.iram.gov.ar](http://www.iram.gov.ar) Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Monografías en diversas temáticas de ciencias.
- [www.ms.gba.gov.ar](http://www.ms.gba.gov.ar) Ministerio de Salud de la Prov. De Córdoba.
- [www.panreac.com.es](http://www.panreac.com.es) Técnicas de Análisis Químicos.
- [www.saapva.gov.ar](http://www.saapva.gov.ar). Secretaria de Agr. Gan. Pesca y Alimentación.
- [www.trigoan.com.ar](http://www.trigoan.com.ar) Trigo y sus productos.

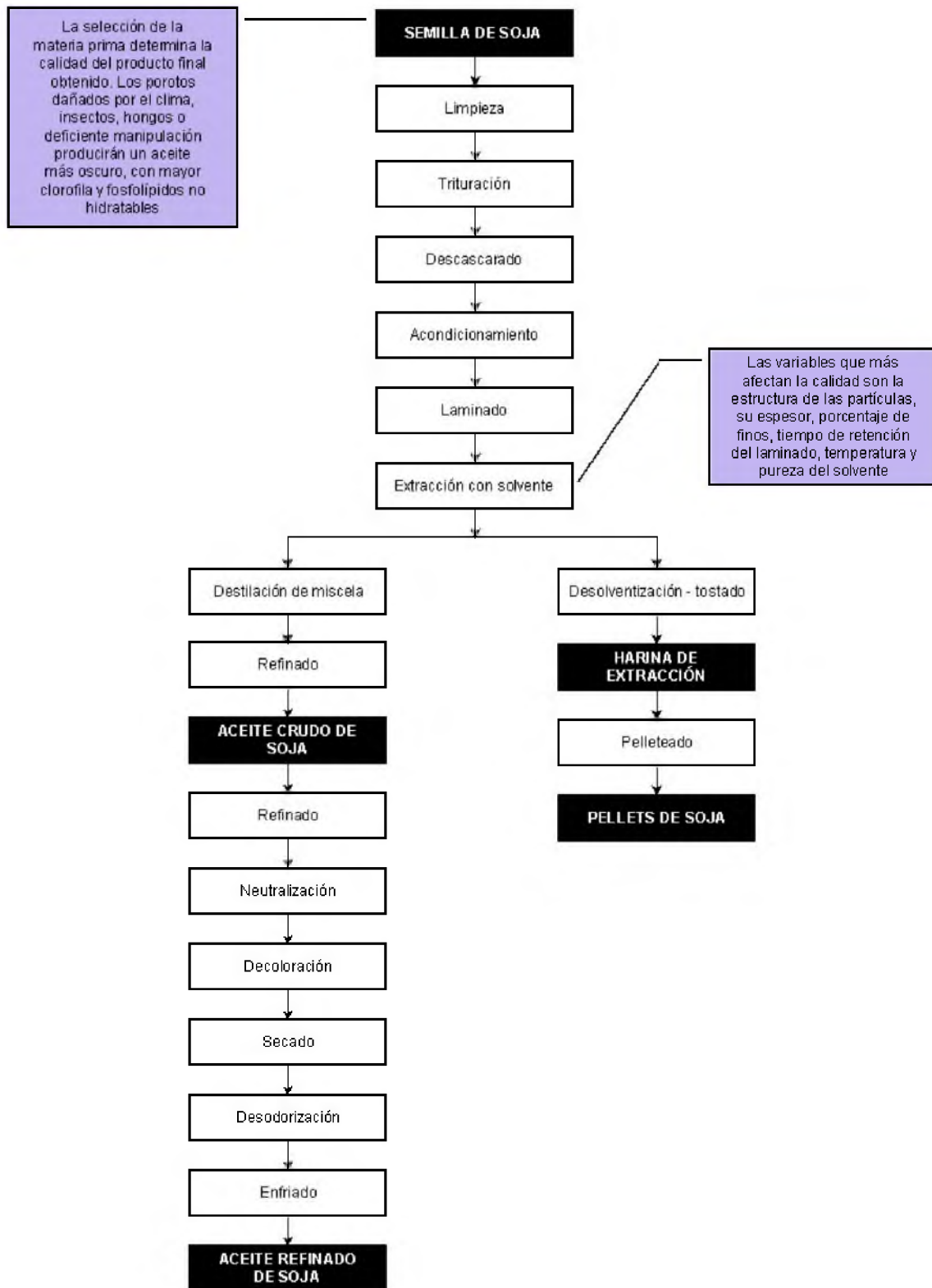


**Anexo 3. Esquema de procesamiento del trigo con su producto principal.**



(Fuente: tomado de [www.alimentosargentinos.com.ar](http://www.alimentosargentinos.com.ar))

#### Anexo 4. Esquema de procesamiento de la soja con sus productos principales



(Fuente: Tomado de [www.alimentosargentinos.com.ar](http://www.alimentosargentinos.com.ar))

**Anexo 5. Norma de Calidad para la Comercialización de trigo Pan. Norma XX (SAGPYA, Res. 1962/2004)**

Con vigencia a partir del 1 de octubre de 2006:

GRADO	Peso Hectolítrico	Materias Extrañas	Granos Dañados		Granos Con Carbón	Granos Panza Blanca	Granos Quebrados y/o Chuzos
			Granos Ardidos y/o Dañados por Calor	Total Dañados			
	Min. Kg/hl	%	%	%	%	%	%
1	79,00	0,20	0,50	1,00	0,10	15,00	0,50
2	76,00	0,80	1,00	2,00	0,20	25,00	1,20
3	73,00	1,50	1,50	3,00	0,30	40,00	2,00

**Aexo 6. Normas de calidad para la comercialización de la soja. Norma XVII. (Res. SAGPYA 220/05).**

Rubros	Bases (%)	Tolerancia de Recibo (%)	Rebajas	Mermas
Cuerpos extraños	1,0	3,0	Para valores superiores al 1,0% y hasta el 3,0% a razón del 1,0% por cada por ciento o fracción proporcional. Para valores superiores al 3,0% a razón del 1,5% por cada por ciento o fracción proporcional.	-
Incluído tierra	0,5	0,5	Para valores superiores al 0,5% a razón del 1,5% por cada por ciento o fracción proporcional.	-
Granos negros	-	5,0	-	-
Granos quebrados y/o partidos	20,0	30,0	Para valores superiores al 20,0% y hasta el 25,0% a razón del 0,25% por cada por ciento o fracción proporcional. Para valores superiores al 25,0% y hasta el 30,0% a razón del 0,5% por cada por ciento o fracción proporcional. Para valores superiores al 30,0% a razón del 0,75% por cada por ciento o fracción proporcional.	
GRANOS DAÑADOS (brotados,	5,0	5,0	Para valores superiores al 5,0% a razón del 1,0% por cada por ciento o fracción proporcional.	

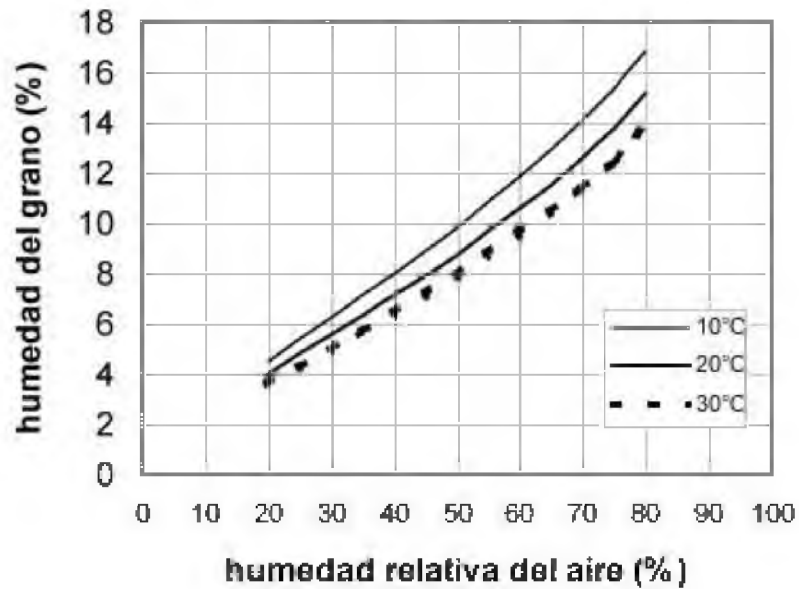
UNIVERSIDAD CATOLICA DE CORDOBA. FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS.  
 MAESTRÍA EN TECNOLOGIA DE ALIMENTOS  
 Trabajo Final: "Calidad intrínseca de los granos en la poscosecha"  
 Ing. Qca. Susana Garnero

fermentados y ardidos, por calor, podridos)				
incluido GRANOS QUEMADOS o "AVERIA	-	1,0	Para valores superiores al 1,0% a razón del 1,0% por cada por ciento o fracción proporcional.	
Granos verdes	5,0	15,0	Para valores superiores al 5,0% se rebajará a razón del 0,2% por cada por ciento o fracción proporcional.	
Humedad		10,5		Para mercadería recibida que exceda la tolerancia de recibo, se descontarán las mermas correspondientes, de acuerdo a las tablas establecidas.
Chamico		2c/100 g		Para mercadería recibida que exceda la tolerancia de recibo, se practicarán las mermas correspondientes.

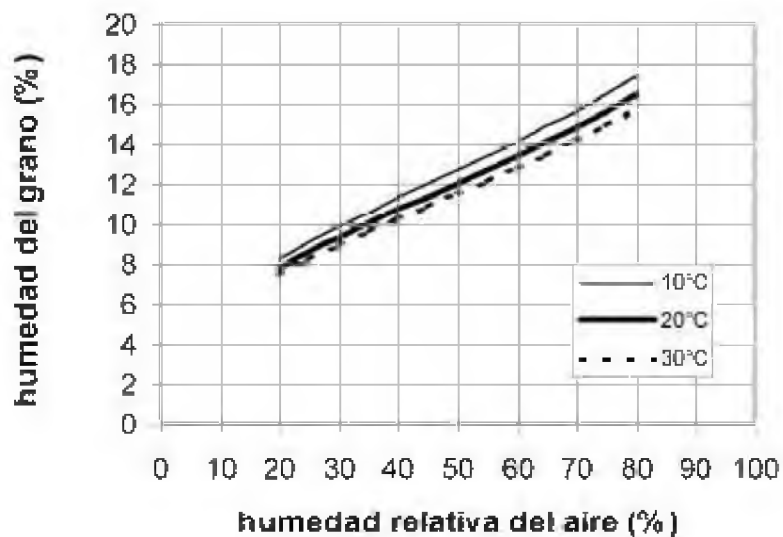


## Anexo 7. Diagramas de Equilibrio de Soja y de Trigo Pan

### SOJA

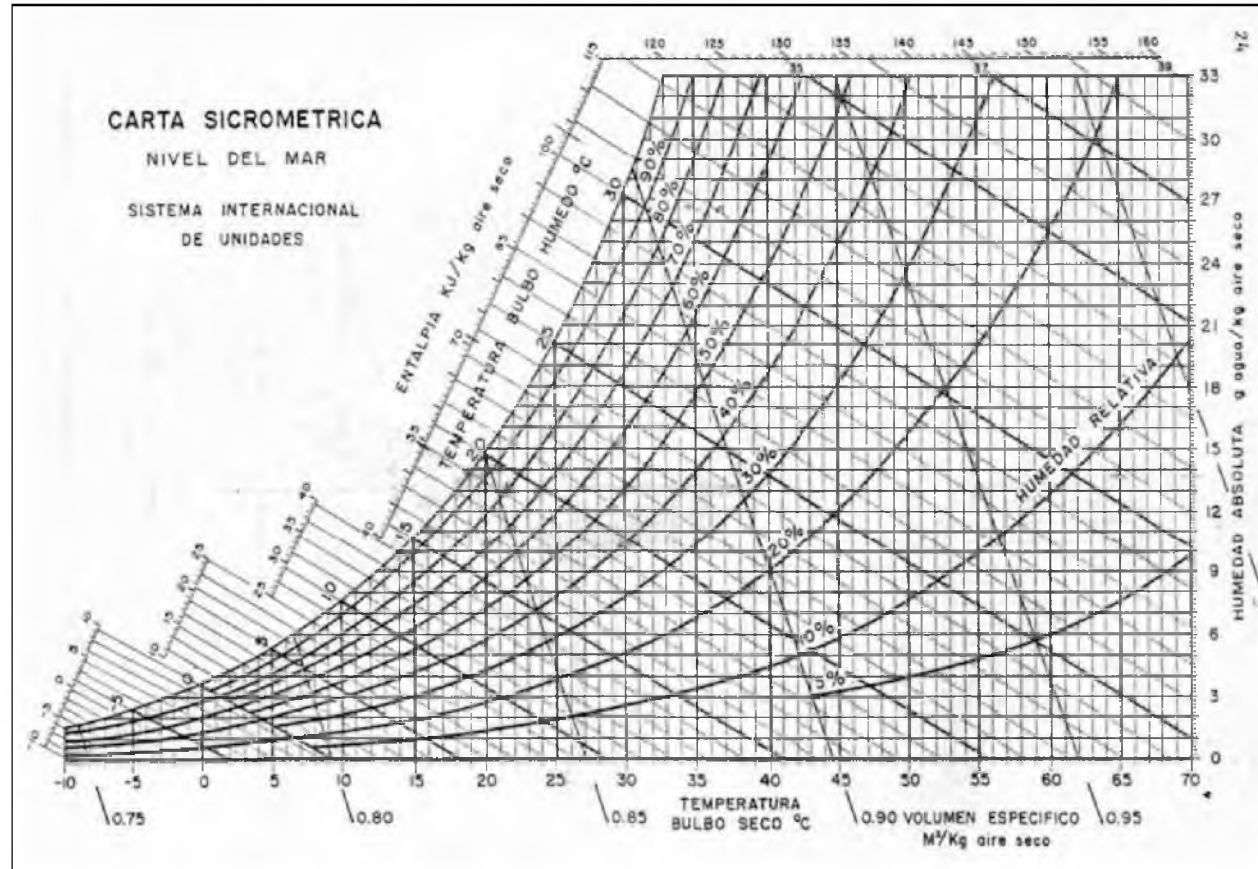


### TRIGO PAN



Fuente: Adaptado de Foster (1982) Cap. IV: Drying Cereal Grains. In: Christensen: Storage of Cereal Grains and Their Products.

**Anexo 8. Carta psicrométrica en unidades estándar internacionales. Temperatura normal a nivel del mar con una presión barométrica de 101.325 kPa.**



(Fuente: ASHRAE

handbook of Fundamentals, 1989. American Society Heating, refrigeration and Air-Conditioning Engineers, New York).



## Anexo 10. Resultados de ensayos en trigo

**Tabla 10.1 Determinación del peso hectolítrico (PH).**

Muestra	Temperatura del grano, °C	PH (kg/hL)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	50	76,4	76,2
70 °/ 40´	53	78,0	78,2
70 °/ 60´	55	78,3	78,9
90 °/ 40´	70	80,5	80,7
90 °/ 60´	73	81,4	81,0
120 °/ 40´	90	84,4	84,8
120 °/ 60´	95	85,2	85,6

**Tabla 10. 2 Determinación del índice de sedimentación en SDS (IS).**

Muestra	Temperatura del grano, °C	IS en SDS (cm3)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	50	18,5	18,0
70 °/ 40´	53	17,5	17,0
70 °/ 60´	55	17,3	17,4
90 °/ 40´	70	16,2	16,0
90 °/ 60´	73	15,6	15,3
120 °/ 40´	90	14,3	14,40
120 °/ 60´	95	13,5	13,8

**Tabla 10. 3 Determinación del gluten húmedo (GH).**

Muestra	Temperatura del grano, °C	% de GH	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	50	36,6	37,2
70 °/ 40´	53	36,9	36,2
70 °/ 60´	55	36,4	36,0
90 °/ 40´	70	35,2	35,6
90 °/ 60´	73	34,8	34,5
120 °/ 40´	90	0,0	0,0
120 °/ 60´	95	0,0	0,0

**Tabla 10. 4 Determinación de Nitrógeno total (Nt).**

Muestra	Temperatura del grano, °C	% de Nt	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	50	2,10	2,19
70 °/ 40´	53	2,16	2,15
70 °/ 60´	55	2,10	2,12
90 °/ 40´	70	2,15	2,18
90 °/ 60´	73	2,19	2,12
120 °/ 40´	90	2,12	2,14
120 °/ 60´	95	3,12	2,18

**Tabla 10. 5 Determinación del índice de caída (FN).**

Muestra	Temperatura del grano, °C	FN (s)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	50	450	453
70 °/ 40´	53	463	460
70 °/ 60´	55	465	462
90 °/ 40´	70	472	473
90 °/ 60´	73	474	476
120 °/ 40´	90	482	483
120 °/ 60´	95	484	486

### Anexo 10 a. Electroforesis SDS-PAGE, proteínas no reducidas

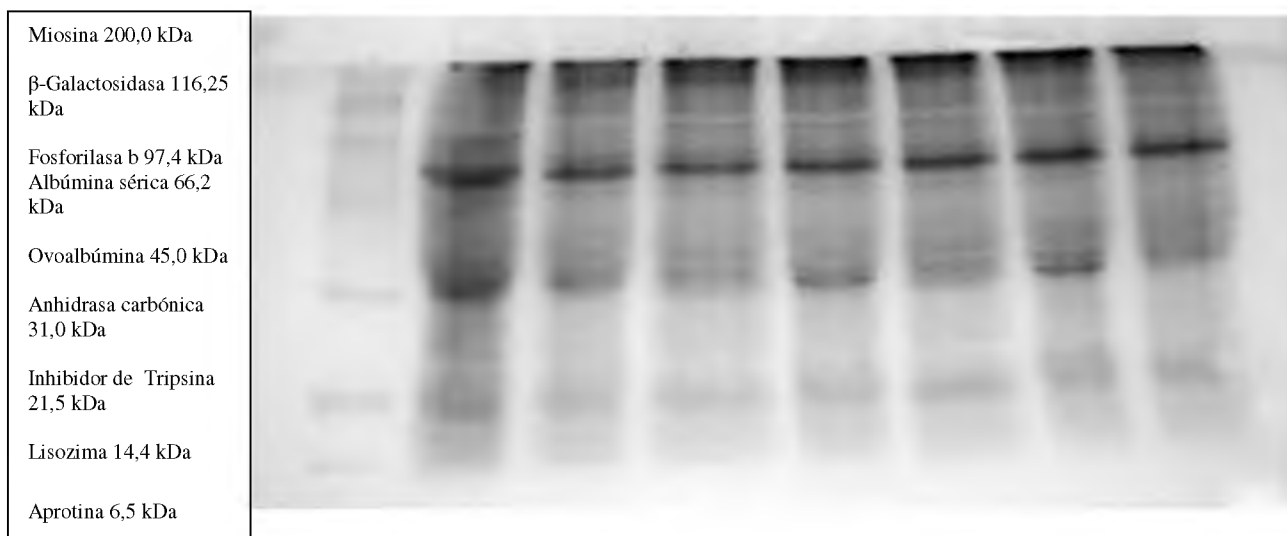


Figura 10 a. Electroforesis en gel de poliacrilamida con SDS de proteínas de trigo no reducidas. Calle 1: St. Calle 2: T. Calles 3 a 8: muestras.; calle 3: 70/40; calle 4: 70/60; calle 5: 90/40; calle 6: 90/60; calle 7: 120/40 y calle 8. 120/60. (Las calles se cuentan de izquierda a derecha).

### Anexo 10 b. Electroforesis SDS PAGE, proteínas reducidas

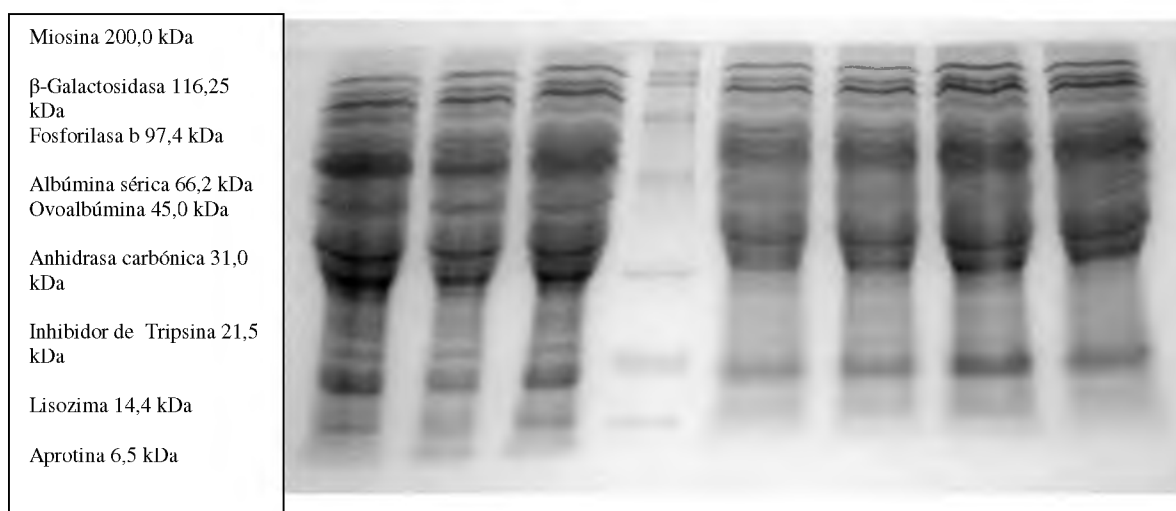
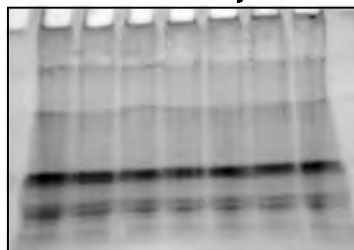


Figura 10 b. Electroforesis en gel de poliacrilamida con SDS de proteínas de trigo reducidas con β-mercaptoetanol. Calle 4: St. Calle 1: T. Calles 2, 3 y 5 a 8: muestras.; calle 2: 70/40; calle 3: 70/60; calle 5: 90/40; calle 6 90/60; calle 7: 120/40; calle 8: 120/60

**Anexo 10c. Multistacking de extracto de proteínas no reducidas y Análisis densitométrico**



Figuras 10.c Patrones de extractos de proteínas de trigo no reducidas y extraídas de los geles en multistacking. Se observan los cortes (de arriba hacia abajo) de 4 % de A, 6 % de A, 8% de A y el gel de resolución del 12 %.

**Tabla 10.6 Lecturas densitométricas de las bandas proteicas y sus índices de densidad óptica relativa (IODr) en %.**

%A	FILA	Testigo IOD	70/40		70/60		90/40		90/60		120/40		120/60		
			IODr %	IODr %	IODr %	IODr %	IODr %	IODr %	IODr %	IODr %					
4	r3	342,11	11,55	245,97	8,36	288,02	11,33	288,93	13,48	297,23	9,22	305,27	13,31	413,91	16,61
6	r5	215,53	7,28	219,62	7,47	202,04	7,95			353,06	10,96	281,17	12,26	202,54	8,14
8	r6	234,14	7,9	542,24	18,44	215,64	8,48	389,42	18,16	795,69	24,7	413,25	18,02	469,48	18,83
12	r7	930,65		803,62		799,15		754,19		837,12		697,21		766,02	
	r8	297,10		295,60		282,01		218,14		275,72		263,28			
	r9	514,66	73,27	428,34	65,73	246,83	72,24	326,97	68,36	260,32	55,12		56,41	288,9	56,42
	r10					129,41				117,8		333,3		351,01	
	r11	245,15		405,76		378,57				284,9					
	r12	182,83						166,62							
Sum		2962,17	100	2941,15	100	2541,67	100	2144,3	100	3221,84	100	2293,5	100	2491,9	100

## Anexo 11. Resultados de ensayos en soja

Tabla 11.1 Determinación de granos quebrados y/o partidos(GQ)

Muestra	Temperatura del grano, °C	GQ y/o P (%)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	60	14,0	16,0
90/60	75	24,0	26,0
120/60	90	45,0	47,0
150/60	120	60,0	64,0
200/50	170	90,0	95,0

Tabla 11.2 Determinación de la actividad ureásica (AU).

Muestra	Temperatura del grano, °C	AU	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	60	2,41	2,42
90/60	75	2,16	2,17
120/60	90	1,73	1,74
150/60	120	0,61	0,62
200/50	170	0,05	0,07

Tabla 11.3 Determinación de materia grasa (MG).

Muestra	Temperatura del grano, °C	% MG (sss)(*)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	60	23,7	23,4
90/60	75	23,5	23,1
120/60	90	23,4	22,9
150/60	120	21,6	21,2
200/50	170	21,6	21,3

Tabla 11.4 Determinación de acidez de la materia grasa (Ac).

Muestra	Temperatura del grano, °C	Ac (%)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	60	0,60	0,80
90/60	75	1,00	1,20
120/60	90	1,40	1,60
150/60	120	1,40	1,60
200/50	170	1,40	1,60

Tabla 11.5 Determinación de Nitrógeno total (Nt)

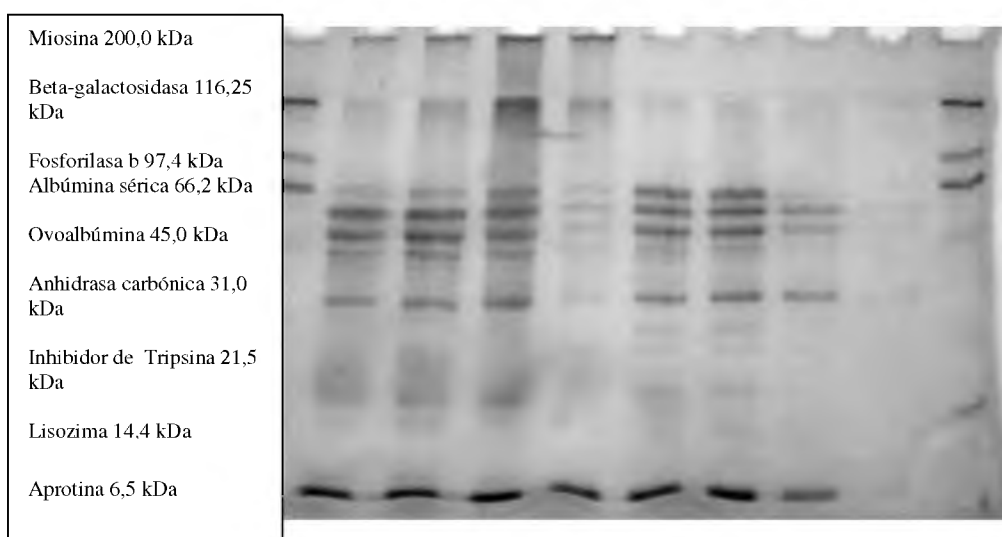
Muestra	Temperatura del grano, °C	Nt (%)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	60	6,72	6,74
90/60	75	6,74	6,76
120/60	90	6,73	6,75
150/60	120	6,71	6,75
200/50	170	6,71	6,73



**Tabla 11.6 Determinación del índice de dispersión proteica (PDI).**

Muestra	Temperatura del grano, °C	PDI (%)	
		1er ensayo	2do ensayo
Testigo	60	74	72
90/60	75	67	69
120/60	90	56	58
150/60	120	31	33
200/50	170	27	25

**Anexo 11 a. Electroforesis SDS PAGE en proteínas reducidas**



**Figura 11 a. Electroforesis proteínas de soja en gel de poliacrilamida reducidas con beta-ME provenientes del pellets y sobrenadante luego de centrifugadas.** Calle 1: St. Calle 2: pellet T. Calle 3: pellet 120°/60'. Calle 4: pellet 150°/60'. Calle 5: pellet 200°/60'; Calle 6: sobrenadante T; Calle 7: sobrenadante 120°/60'. Calle 8: sobrenadante 150°/60'. Calle 9: sobrenadante 200°/60'. Calle 10: St. (En todos los pocillos se utilizó 5 µL de muestra).

## Anexo 12. Análisis estadístico de los ensayos realizados al trigo.

### Estadística descriptiva

Muestra	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
1.00	PH	2	76.30	0.14	76.20	76.40
1.00	IS en SDS	2	18.25	0.35	18.00	18.50
1.00	GH	2	36.90	0.42	36.60	37.20
1.00	P	2	2.15	0.06	2.10	2.19
1.00	FN	2	451.50	2.12	450.00	453.00
2.00	PH	2	78.10	0.14	78.00	78.20
2.00	IS en SDS	2	17.25	0.35	17.00	17.50
2.00	GH	2	36.55	0.49	36.20	36.90
2.00	P	2	2.15	0.06	2.16	2.15
2.00	FN	2	461.50	2.12	460.00	463.00
3.00	PH	2	78.60	0.42	78.30	78.90
3.00	IS en SDS	2	17.35	0.07	17.30	17.40
3.00	GH	2	36.20	0.28	36.00	36.40
3.00	P	2	2.11	0.03	2.10	2.12
3.00	FN	2	463.50	2.12	462.00	465.00
4.00	PH	2	80.60	0.14	80.50	80.70
4.00	IS en SDS	2	16.10	0.14	16.00	16.20
4.00	GH	2	35.40	0.28	35.20	35.60
4.00	P	2	2.16	0.02	2.15	2.18
4.00	FN	2	472.50	0.71	472.00	473.00
5.00	PH	2	81.20	0.28	81.00	81.40
5.00	IS en SDS	2	15.45	0.21	15.30	15.60
5.00	GH	2	34.65	0.21	34.50	34.80
5.00	P	2	2.15	0.06	2.19	2.12
5.00	FN	2	475.00	1.41	474.00	476.00
6.00	PH	2	84.60	0.28	84.40	84.80
6.00	IS en SDS	2	14.35	0.07	14.30	14.40
6.00	GH	2	31.30	0.14	31.20	31.40
6.00	P	2	2.13	0.02	2.12	2.14
6.00	FN	2	482.50	0.71	482.00	483.00
7.00	PH	2	85.40	0.28	85.20	85.60
7.00	IS en SDS	2	13.65	0.21	13.50	13.80
7.00	GH	2	0.00	0.00	0.00	0.00
7.00	P	2	2.15	0.05	2.12	2.18
7.00	FN	2	485.00	1.41	484.00	486.00

### Análisis de Varianza Trigo

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
PH	14	1.00	0.99	0.32

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	136.18	6	22.70	330.99	<0.0001
Muestra	136.18	6	22.70	330.99	<0.0001

Error 0.48 7 0.07  
 Total 136.66 13

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.61920**

Error: 0.0686 gl: 7

Muestra	Medias	n				
1.00	76.30	2	A			
2.00	78.10	2		B		
3.00	78.60	2		B		
4.00	80.60	2			C	
5.00	81.20	2			C	
6.00	84.60	2				D
7.00	85.40	2				E

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
IS en SDS	14	0.99	0.98	1.43

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33.96	6	5.66	107.09	<0.0001
Muestra	33.96	6	5.66	107.09	<0.0001
Error	0.37	7	0.05		
Total	34.33	13			

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.54364**

Error: 0.0529 gl: 7

Muestra	Medias	n					
7.00	13.65	2	A				
6.00	14.35	2		B			
5.00	15.45	2			C		
4.00	16.10	2				D	
2.00	17.25	2					E
3.00	17.35	2					E
1.00	18.25	2					F

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
GH	14	1.00	1.00	1.01

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2162.56	6	360.43	3881.53	<0.0001
Muestra	2162.56	6	360.43	3881.53	<0.0001
Error	0.65	7	0.09		
Total	2163.21	13			

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.72056**

Error: 0.0929 gl: 7

Muestra	Medias	n				
7.00	0.00	2	A			
6.00	31.30	2		B		
5.00	34.65	2			C	
4.00	35.40	2				D

3.00	36.20	2		E
2.00	36.55	2		E
1.00	36.90	2		E

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
<b>Nt</b>	<b>14</b>	<b>1.00</b>	<b>0.99</b>	<b>1.33</b>

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		2.51	6	0.42	260.96 < 0.0001
Muestra		2.51	6	0.42	260.96 < 0.0001
Error	0.01	7	1.6E-03		
Total	2.52	13			

**Test: LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.09458**

Error: 0.0016 gl: 7

Muestra	Medias	n	
1.00	2.15	2	A
2.00	2.15	2	A
3.00	2.11	2	A
4.00	2.16	2	A
5.00	2.15	2	A
6.00	2.13	2	A
7.00	2.15	2	A

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
<b>FN</b>	<b>14</b>	<b>0.99</b>	<b>0.98</b>	<b>0.35</b>

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		1737.86	6	289.64	109.59 < 0.0001
Muestra		1737.86	6	289.64	109.59 < 0.0001
Error	18.50	7	2.64		
Total	1756.36	13			

**Test: LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=3.84414**

Error: 2.6429 gl: 7

Muestra	Medias	n	
1.00	451.50	2	A
2.00	461.50	2	B
3.00	463.50	2	B
4.00	472.50	2	C
5.00	475.00	2	C
6.00	482.50	2	D
7.00	485.00	2	D

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ )

**Anexo 13. Análisis estadístico de los ensayos realizados a soja.**

**Estadística descriptiva**

Muestra	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
1.00	GQ	2	15.00	1.41	14.00	16.00
1.00	AU	2	2.42	0.01	2.41	2.42
1.00	MG	2	23.55	0.21	23.40	23.70
1.00	Ac	2	0.70	0.14	0.60	0.80
1.00	Nt	2	6.73	0.01	6.72	6.74
1.00	PDI	2	73.00	1.41	72.00	74.00
2.00	GQ	2	25.00	1.41	24.00	26.00
2.00	AU	2	2.17	0.01	2.16	2.17
2.00	MG	2	23.30	0.07	23.10	23.50
2.00	Ac	2	1.10	0.14	1.00	1.20
2.00	Nt	2	6.75	0.01	6.74	6.76
2.00	PDI	2	68.00	1.41	67.00	69.00
3.00	GQ	2	46.00	1.41	45.00	47.00
3.00	AU	2	1.74	0.01	1.73	1.74
3.00	MG	2	23.50	0.35	22,90	23,40
3.00	Ac	2	1.50	0.14	1.40	1.60
3.00	Nt	2	6.74	0.01	6.73	6.75
3.00	PDI	2	57.00	1.41	56.00	58.00
4.00	GQ	2	62.00	2.83	60.00	64.00
4.00	AU	2	0.62	0.0	0.61	0.62
4.00	MG	2	21,40	0.21	21,20	21,60
4.00	Ac	2	1.50	0.14	1.40	1.60
4.00	Nt	2	6.73	0.02	6.71	6.75
4.00	PDI	2	32.00	1.41	31.00	33.00
5.00	GQ	2	92.50	3.54	90.00	95.00
5.00	AU	2	0.06	0.01	0.05	0.07
5.00	MG	2	21,40	0.14	21,30	21,60
5.00	Ac	2	1.50	0.14	1.40	1.60
5.00	Nt	2	6.72	0.01	6.71	6.73
5.00	PDI	2	26.00	1.41	25.00	27.00

### Análisis de Varianza Soja

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
<b>GQ</b>	<b>10</b>	<b>1.00</b>	<b>0.99</b>	<b>4.79</b>

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7596.40	4	1899.10		358.32 <0.0001
Muestra	7596.40	4	1899.10		358.32 <0.0001
Error	26.50	5	5.30		
Total	7622.90	9			

Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=5.91792

Error: 5.3000 gl: 5

Muestra	Medias	n
1.00	15.00	2

2.00	25.00	2		B		
3.00	46.00	2			C	
4.00	62.00	2				D
5.00	92.50	2				E

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
<b>AU</b>	<b>10</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.64</b>

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		8.28	4	2.07	25871.75 <0.0001
Muestra		8.28	4	2.07	25871.75 <0.0001
Error	4.0E-04		5	8.0E-05	
Total	8.28	9			

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.02299**

Error: 0.0001 gl: 5

Muestra	Medias	n			
5.00	0.06	2	A		
4.00	0.62	2		B	
3.00	1.74	2			C
2.00	2.17	2			D
1.00	2.42	2			E

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
<b>MG</b>	<b>10</b>	<b>0.99</b>	<b>0.98</b>	<b>0.87</b>

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		25.02	4	6.25	130.29 <0.0001
Muestra		25.02	4	6.25	130.29 <0.0001
Error	0.24		5	0.05	
Total	25.26	9			

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.56319**

Error: 0.0480 gl: 5

Muestra	Medias	n			
5.00	21,40	2	A		
4.00	21,40	2	A		
3.00	23,15	2		B	
2.00	23,30	2		B	
1.00	23,55	2		B	

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
<b>Ac</b>	<b>10</b>	<b>0.91</b>	<b>0.84</b>	<b>11.22</b>

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo		1.02	4	0.26	12.80 0.0077
Muestra		1.02	4	0.26	12.80 0.0077

Error	0.10	5	0.02
Total	1.12	9	

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.36354**

Error: 0.0200 gl: 5

Muestra	Medias	n	
1.00	0.70	2	A
2.00	1.10	2	B
5.00	1.50	2	C
4.00	1.50	2	C
3.00	1.50	2	C

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
Nt	10	1.00	1.00	0.84

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11.78	4	2.95	684.91	<0.0001
Muestra	11.78	4	2.95	684.91	<0.0001
Error	0.02	5	4.3E-03		
Total	11.80	9			

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=0.16856**

Error: 0.0043 gl: 5

Muestra	Medias	n	
1.00	6.73	2	A
2.00	6.75	2	A
3.00	6.74	2	A
4.00	6.73	2	A
5.00	6.72	2	A

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )

Variable	n	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ai	CV
PDI	10	1.00	0.99	2.76

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3589.60	4	897.40	448.70	<0.0001
Muestra	3589.60	4	897.40	448.70	<0.0001
Error	10.00	5	2.00		
Total	3599.60	9			

**Test:LSD Fisher Alfa:=0.05 DMS:=3.63535**

Error: 2.0000 gl: 5

Muestra	Medias	n	
5.00	26.00	2	A
4.00	32.00	2	B
3.00	57.00	2	C
2.00	68.00	2	D
1.00	73.00	2	E

Letras distintas indican diferencias significativas( $p \leq 0.05$ )



**Sección 6**

**Índices**

**INDICE DE FIGURAS Y TABLAS**

**INDICE GENERAL**





## ÍNDICE DE FIGURAS Y DE TABLAS

## INDICE DE FIGURAS

Sección 1	Fundamento teórico	
Capítulo 1	Generalidades, características fisicoquímicas de los granos y usos principales	
1.1	Estructura de un grano de trigo. ....	28
1.2	Semilla de soja. ....	30
Capítulo 3	Manejo poscosecha y operaciones fundamentales	
3.1	Diagrama de flujo del grano en la poscosecha. ....	74
3.2	Operaciones que se realizan en una planta de acopio. ....	79
3.3	Representación en la carta psicrométrica de las propiedades del aire. ....	90
3.4	Representación gráfica sobre la carta psicrométrica del proceso de secado. ....	91
3.5	Esquema de los flujos de granos y de aire en las diferentes clases de secadoras continuas. ....	95
Sección 2	Desarrollo experimental	
Capítulo 6	Interpretación y discusión de los ensayos efectuados	
6.1	Relación entre PH y la temperatura del grano. ....	132
6.2	Relación entre el índice de sedimentación en SDS y la temperatura del grano. ....	133
6.3	Relación entre el gluten húmedo y la temperatura del grano. ....	134
6.4	Relación entre el índice de caída y la temperatura del grano. ....	135
6.5	Electroforesis en gel de PA con SDS en proteínas de trigo no reducidas.....	136
6.6	Electroforesis en gel de PA con SDS en proteínas de trigo reducidas con beta- ME.....	138
6.7	Índices de densidad óptica en función de la temperatura de secado para un tiempo de 60 minutos.....	139
6.8	Índices de densidad óptica en función de la temperatura de secado para un tiempo de 40 y 60 minutos en geles de stacking.....	140
6.9	Relación entre el % de granos quebrados y/o partidos con la temperatura del grano. ....	142
6.10	Relación entre la actividad ureásica y la temperatura del grano. ....	142
6.11	Relación entre la acidez y la temperatura del grano. ....	143
6.12	Relación entre el índice de dispersabilidad proteica y la temperatura del grano. ....	145
6.13	Patrones electroforéticos de las proteínas de soja reducidas con ME.....	146

## INDICE DE TABLAS

Introducción		
A	Pérdida en el período poscosecha, para los cultivos considerados en la campaña 2002/2003 .....	XIII
B	Pérdidas totales de cosecha y poscosecha. ....	XVI
Sección 1	Fundamento teórico	
Capítulo 1	Generalidades, características fisicoquímicas de los granos y usos principales	
1.1	Superficie cultivada, rendimiento y producción en el contexto mundial para trigo. ....	24
1.2	Superficie sembrada, rendimiento y producción mundial en el período 2003/04 para soja. ....	26
1.3	Proporciones de las distintas partes que componen los granos de los cereales .....	29
1.4	Composición química de los cereales (valores medios).....	32
1.5	Composición química (valores medios) de las partes del grano de trigo (% en peso referido a materia seca). ....	33
1.6	Proporción de minerales y vitaminas (%) en las fracciones de trigo.....	33
1.7	Reparto de las fracciones de Osborne en las proteínas de los cereales. ....	37
1.8	Composición química de las leguminosas. ....	42
1.9	Reparto de las fracciones de Osborne en las proteínas de las leguminosas. ....	44
1.10	Coefficientes de sedimentación y pesos moleculares en las globulinas 7S y 11S de las leguminosas. ....	45
Capítulo 2	Calidad de los granos y estimadores más comunes	
2.1	Composición de aminoácidos esenciales (%) en el grano de soja y su comparación con la proteína estándar establecida por la FAO.....	58
2.2	Calidades industriales de algunas variedades de trigo pan (categorización del comité nacional de semillas CONASE, 2002).....	60
Capítulo 3	Manejo poscosecha y operaciones fundamentales	
3.1	Temperaturas máximas de secado de diferentes granos. ....	101
Sección 2	Desarrollo experimental	
Capítulo 4	Plan de ensayos de calidad de los granos	
4.1	Determinaciones a realizar durante el desarrollo experimental. ....	107
4.2	Parámetros de las muestras de trigo y soja determinados en la planta de acopio. ....	108
4.3	Condiciones de secado y parámetros obtenidos en el laboratorio durante la preparación de las muestras. ....	110

## Capítulo 5 Materiales y Métodos

5.1	Reactivos para preparación del gel separador. ....	118
5.2	Reactivos para preparación del gel concentrador.....	118
5.3	Identificación de las muestras en extracto proteínas no reducidas .....	119
5.4	Identificación de las muestras en extracto proteínas reducidas.	119
5.5	Reactivos para la preparación de geles apiladores y separadores.....	121
5.6	Identificación de las muestras en los pocillos electroforéticos (trigo). ....	122
5.7	Identificación de las muestras en los pocillos electroforéticos (soja). .....	128

## Capítulo 6 Interpretación y discusión

6.1	Valores de humedad. Temperatura de grano, peso hectolítrico, índice de sedimentación, gluten húmedo, nitrógeno total e índice de caída para las siete muestras de trigo .....	131
6.2	Lecturas densitométricas de las bandas proteicas y sus índices de densidad óptica relativa (IODr) en %.....	139
6.3	Valores de humedad, temperatura de grano, granos quebrados y/o partidos, actividad ureásica, materia grasa, acidez, nitrógeno total y dispersabilidad proteica para cinco muestras de soja.....	141

## INDICE GENERAL

Prólogo .....	4
Índice de secciones y capítulos .....	5
Abreviaturas y Siglas .....	6
Introducción .....	11

### Sección 1

#### Fundamento Teórico

Objetivos .....	17
-----------------	----

### CAPITULO 1

#### GENERALIDADES, CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LOS GRANOS Y USOS PRINCIPALES

Generalidades .....	21
A. Preliminares.....	21
A.1 Cereales.....	21
A.2 Leguminosas.....	21
B. Origen.....	22
B.1 Cereales.....	22
B.2 Leguminosas.....	23
C. Producción .....	24
C.1 Cereales.....	24
C.2 Leguminosas.....	25
Estructura de los granos .....	27
A. Cereales.....	27
B. Leguminosas.....	29
Composición química de los granos .....	31
A. Cereales.....	31
A.1 Carbohidratos.....	34
A.2 Lípidos .....	35
A.3 Proteínas .....	35
A.4 Posición especial del trigo: formación del gluten .....	37
A.5 Características de las proteínas de reserva del trigo .....	38
A.6 Enzimas del trigo.....	40
B. Leguminosas .....	41
B.1 Carbohidratos.....	42
B.2 Lípidos .....	43
B.3 Proteínas.....	44
B.4 Enzimas de la soja .....	47
Usos principales del trigo y soja.....	48
A. Trigo.....	48
B. Soja.....	49

### CAPITULO 2

#### CALIDAD DE LOS GRANOS Y ESTIMADORES MAS COMUNES

Concepto de calidad de los granos.....	51
--	----

A. El concepto de calidad de los granos .....	51
B. Calidad comercial y normas vigentes .....	52
C. Calidad industrial y estimadores más comunes .....	54
C.1 Estimadores para trigo pan .....	54
C.2 Estimadores para soja.....	57
Principales factores que afectan la calidad de los granos .....	59
A. Factores genéticos .....	59
A.1 Trigo.....	59
A.2 Soja.....	61
B. Factores ambientales .....	61
B.1 Disponibilidad de nitrógeno .....	62
B.2 Altas temperaturas en el llenado de granos.....	64
C. Factores manejo poscosecha .....	65
C.1 Acarreo .....	66
C.2 Acondicionamiento .....	66
C.3 Almacenamiento .....	69
Efecto de la temperatura y la humedad del grano durante el almacenamiento .....	70
A. Daño por factores abióticos. ....	70

### CAPITULO 3

#### MANEJO POSCOSECHA Y OPERACIONES FUNDAMENTALES

La planta de acopio como ámbito de la poscosecha.....	74
A. Secuencia de operaciones .....	77
A.1 Ingreso del grano a la planta .....	78
A.2 Flujo del grano en la planta .....	78
A.3 Control de las condiciones de almacenamiento.....	78
A.4 Egreso de la mercadería .....	74
Humedad de los granos y su entorno .....	80
A. Agua contenida en los granos .....	80
B. Equilibrio del agua en el grano .....	82
Generalidades del proceso de secado.....	85
A. Propiedades del aire de secado .....	86
A.1 Definición de términos psicrométricos .....	86
A.2 Cartas psicrométricas.....	89
B. Acondicionamiento de granos.....	91
C. Métodos de secado .....	92
C.1 Secado natural .....	92
C.2 Secado artificial.....	92
C.3 Secado estacionario.....	93
C.4 Secado continuo .....	94
D. Velocidad de secado .....	95
Características del secado del trigo y soja .....	96
A. Trigo.....	96
B. Soja.....	98

#### Sección 2

##### Hipótesis

Enunciado.....	103
----------------	-----

#### Sección 3

##### Desarrollo experimental

Objetivos .....	105
-----------------	-----

## CAPITULO 4

### PLAN DE ENSAYOS Y CALIDAD DE LOS GRANOS

Tipos de ensayos.....	107
Preparación de las muestras .....	108
A. Secadoras empleadas en la planta de acopio .....	108
B. Tratamiento térmico de las muestras.....	108
C. Deterioro por secado y medición de la temperatura .....	109
D. Diseño experimental.....	110

## CAPITULO 5

### MATERIALES Y METODOS

Determinaciones experimentales para trigo .....	112
A. Peso hectolítrico.....	112
A.1 Fundamentación.....	112
B. Índice de sedimentación en SDS .....	112
B.1 Fundamentación.....	112
B.2 Reactivos .....	112
B.3 Procedimiento .....	103
C. Gluten húmedo .....	113
C.1 Fundamentación .....	113
C.2 Procedimiento .....	113
D. Nitrógeno total .....	114
D.1 Fundamentación .....	114
D.2 Materiales .....	114
D.2 Procedimiento .....	114
E. Índice de caída .....	115
E.1 Fundamentación.....	115
E.2 Procedimiento .....	115
F. Electroforesis de las proteínas .....	115
F.1 Fundamentación.....	115
F.2 Electroforesis en SDS PAGE.....	116
F.3 Procedimiento .....	117
G. Multistacking y Densitometría.....	120
G.1 Fundamentación .....	120
G.2 Procedimiento .....	120
H. Preparación de las soluciones para SDS PAGE .....	122
Determinaciones experimentales para soja .....	123
A. Granos quebrados y/o partidos .....	123
A.1 Fundamentación.....	123
A.2 Procedimiento .....	123
B. Actividad ureásica.....	123
B.1 Fundamentación.....	123
B.2 Reactivos .....	123
B.3 Procedimiento .....	124
C. Materia grasa .....	124
C.1 Fundamentación .....	124
C.2 Procedimiento .....	125
D. Acidez de la materia grasa .....	125
D.1 Fundamentación .....	125
D.2 Procedimiento .....	126
E. Nitrógeno total .....	126
E.1 Fundamentación.....	126

E.2 Procedimiento .....	126
F. Índice de dispersión proteica.....	127
F.1 Fundamentación.....	127
F.2 Procedimiento .....	127
G. Electroforesis de las proteínas .....	127
G.1 Fundamentación .....	127
G.2 Procedimiento .....	127
Análisis estadístico.....	129

## CAPÍTULO 6

### INTERPRETACION Y DISCUSION

Análisis de ensayos en trigo .....	131
A. Peso hectolítrico.....	131
B. Índice de sedimentación .....	132
C. Gluten húmedo.....	133
D. Nitrógeno total.....	134
E. Índice de caída.....	135
F. Electroforesis en trigo.....	136
Análisis de ensayos en soja.....	141
A. Granos quebrados y/o partidos .....	141
B. Actividad ureásica .....	142
C. Materia grasa .....	143
D. Acidez .....	143
E. Nitrógeno total.....	144
F. Índice de dispersabilidad proteica .....	144
G. Electroforesis en soja.....	145

#### Sección 4

<b>Conclusión general.....</b>	<b>148</b>
--------------------------------	------------

#### Sección 5

<b>Referencias, fuentes y anexos .....</b>	<b>152</b>
--	------------

Referencias .....	154
Fuentes.....	162

Anexo 1.	
Secuencias aminoacídicas en subunidades $\alpha/\beta$ de las globulinas 11S.....	164
Anexo 2.	
Secuencias aminoacídicas en subunidades de las globulinas 7S.....	140
Anexo 3.	
Esquema de procesamiento del trigo con su producto principal.....	141
Anexo 4	
Esquema del procesamiento de la soja con sus productos principales .....	142
Anexo 5	
Normas de calidad para la comercialización de trigo pan .....	143
Anexo 6	
Normas de calidad para la comercialización de la soja.....	144
Anexo 7	
Diagramas de equilibrio de soja y trigo pan .....	145
Anexo 8	
Carta psicrométrica em unidades estándar internacionales .....	146



Anexo 9	
Tabla de aumento del PH en función de la pérdida de humedad .....	147
Anexo 10	
Resultados de ensayos en trigo .....	148
Tabla 10.1 Determinación del peso hectolítrico .....	148
Tabla 10.2 Determinación del índice de saturación en SDS .....	148
Tabla 10.3 Determinación del gluten húmedo .....	148
Tabla 10.4 Determinación de Nitrógeno total .....	148
Tabla 10.5 Determinación del índice de caída.....	148
Anexo 10.a Electroforesis SDS PAGE proteínas no reducidas.....	148
Anexo 10.b Electroforesis SDS PAGE proteínas reducidas .....	148
Anexo 10.c Multistacking de proteínas no reducidas y análisis densitométrico .....	149
Tabla 10.6 Lecturas densitométricas de las bandas proteicas y sus índices de densidad óptica relativa. ....	149
Anexo 11	
Resultados de ensayos en soja .....	150
Tabla 11.1 Determinación de granos quebrados y/o partidos.....	150
Tabla 11.2 Determinación de la actividad ureásica .....	150
Tabla 11.3 Determinación de la materia grasa .....	150
Tabla 11.4 Determinación de la acidez de la materia grasa .....	150
Tabla 11.5 Determinación del Nitrógeno total.....	150
Tabla 11.6 Determinación del índice de dispersión proteica.....	151
Anexo 11.a Electroforesis SDS PAGE en proteínas reducidas.....	151
Anexo 12	
Análisis estadístico de los ensayos realizados al trigo. ....	157
Anexo 13	
Análisis estadístico de los ensayos realizados a soja .....	153
<b>Sección 6</b>	
<b>Índices.....</b>	<b>163</b>
Índice de figuras .....	164
Índice de tablas.....	165
Índice general .....	167