

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

Tesis presentada como parte de los requisitos de la Universidad Nacional del Litoral para la obtención del Grado Académico de Magíster en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

**INFLUENCIA DE OXIDANTES Y REDUCTORES EN LA
MASA PARA PANIFICACION**

Por
Nibia María ALASINO

Instituto de Tecnología de Alimentos- F.I.Q.- U.N.L.

Director de Tesis: Ing. Hugo D. SÁNCHEZ

-2009.-

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Ing. Hugo D. Sánchez, quien me ha dado la oportunidad de realizar este trabajo bajo su conducción, por su permanente estímulo, disposición y apoyo continuo.

A la Lic. Ester Elena Aríngoli por su aliciente y consejo constante, además de la predisposición y colaboración brindada en todo momento junto a los profesionales: Bioq. María Adela de la Torre, Bioq. Carlos Osella, Téc. Julio Mancuello.

A mi familia
En especial: a mis hijos
Paula, Joaquín, Candela
A mi esposo Sergio,
A mis padres y mi tía Celia
Por el apoyo incondicional.

INDICE

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	I
INTRODUCCIÓN	
I.1 Aspectos generales de los cereales	1
I.1.1 Origen del trigo	1
I.1.2. Clasificación del trigo. Morfología	4
I.1.3 Características y condiciones de crecimiento de la planta de trigo	6
I.1.4. Importancia económica mundial y nacional del trigo	8
I.1.5. Industrialización del trigo en Argentina	12
I.2. Grano de trigo	15
I.2.1. Descripción del grano de trigo	15
I.2.2. Componentes químicos del grano	18
I.2.3. Molienda del trigo	23
I.2.4. Composición de la harina de trigo	24
I.2.5. Comportamiento reológico	27
I.2.6. Características panificables de la harina de trigo	29
I.3. Aditivos	32
I.3.1. Oxidantes	33
I.3.2. Reductores	37
I.3.3. Otros	38
I.3.3.1. Surfactantes	38
I.3.3.2. Suplementos enzimáticos	39
I.3.3.3. Gluten de Trigo	40

II. OBJETIVOS	41
III. MATERIALES Y MÉTODOS	42
III.1. Materias Primas	42
III.2. Ensayos para determinar las propiedades físicas de la masa	43
III.2.1. Ensayo Farinográfico	44
III.2.2. Ensayo Alveográfico	45
III.2.3. Ensayo Amilográfico	47
III.3. Determinaciones químicas	48
III.3.1. Humedad	48
III.3.2. Cenizas	49
III.3.3. Gluten	49
III.4. Formulación utilizada en la panificación	50
III.5. Procedimiento de elaboración de pan	50
III.6. Evaluación de los panes	52
III.6.1. Volumen específico	53
III.6.2. Evaluación sensorial	53
III.7. Análisis estadístico	54
III.7.1. Diseño experimental y Análisis Estadístico. Etapa 1.	54
III.7.2. Diseño experimental y Análisis Estadístico. Etapa 2	56
III.7.3 Verificación de modelos	59

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
IV.1 Selección de combinación oxidante-reductor.....Etapa 1	60
IV.1.1. Características químicas de las harinas y propiedades físicas de las masas	60
IV.1.2. Volumen específico de los panes de molde obtenidos	61
IV.1.3. Análisis estadístico de los resultados del diseño experimental	66
IV.1.4. Efecto de las combinaciones de aditivos sobre cada harina	69
IV.1.5. Conclusiones Etapa 1	72
IV.2 Optimización de los niveles oxidante-reductor de las dos combinaciones seleccionadas para el mejoramiento de la calidad del pan de molde con harina de características tecnológicas débiles. Etapa 2	73
IV.2.1. Selección del diseño experimental	73
IV.2.2. Resultados experimentales obtenidos con las dos combinaciones de oxidante-reductor.	73
IV.2.3. Análisis de los resultados	77
IV.2.3.1. Consistencia de la masa	77
IV.2.3.2. Volumen Específico	86
IV.2.3.3. Evaluación Sensorial	86
IV.2.3.4. Humedad	99
IV.2.3.5. Textura	107
IV.2.4. Verificación de modelos Etapa 2	119
V. CONCLUSIONES	121
VI. BIBLIOGRAFÍA	122

INDICE DE FIGURAS

Figura I.1. Industrialización del trigo en Argentina	14
Figura I.2. Esquema del grano de trigo	15
Figura IV.1. Superficie de respuesta de la variación de la consistencia de la masa con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	79
Figura IV.2. Curvas de contorno de la variación de la consistencia de la masa con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	79
Figura IV.3. Superficie de respuesta de la variación de la Consistencia de la masa con la concentración de ADA y Bisulfito	81
Figura IV.4. Curvas de Contorno de la variación de la Consistencia de la masa con la concentración de ADA y Bisulfito	81
Figura IV.5. Superficie de Respuesta de la variación del Volumen Específico con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	83
Figura IV.6. Curvas de Contorno de la variación del Volumen Específico con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	83
Figura IV.7. Superficie de Respuesta de la variación del Volumen Específico con la concentración de ADA y Bisulfito	85
Figura IV.8. Curvas de Contorno de la variación del Volumen Específico con la Concentración de ADA y Bisulfito	85
Figura IV.9. Superficie de Respuesta de variación de Panel día 0 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	87
Figura IV.10. Curvas de Contorno de variación de Panel día 0 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	87
Figura IV.11. Superficie de Respuesta de la variación de Panel día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito	89
Figura IV.12. Curvas de Contorno de la variación de Panel día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito	89
Figura IV.13. Superficie de Respuesta de variación de Panel día 3 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	91
Figura IV.14. Curvas de Contorno de la variación de Panel día 3 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	91
Figura IV.15. Superficie de Respuesta de variación de Panel día 3 con la concentración de ADA y Bisulfito	93
Figura IV.16. Curvas de Contorno de la variación de Panel día 3 con la concentración de ADA y Bisulfito	93
Figura IV.17. Superficie de Respuesta de la variación de Panel día 7	

con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	95
Figura IV.18. Curvas de Contorno de la variación de Panel día 7 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	96
Figura IV.19. Superficie de Respuesta de la variación de Panel día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito	98
Figura IV.20. Curvas de Contorno de la variación de Panel día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito	98
Figura IV.21. Superficie de Respuesta de la variación de Humedad día 0 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	100
Figura IV.22. Curvas de Contorno de la variación de Humedad día 0 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	100
Figura IV.23. Superficie de Respuesta de la variación de Humedad día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito	102
Figura IV.24. Curvas de Contorno de la variación de Humedad día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito.	102
Figura IV.25. Superficie de Respuesta de la variación de Humedad día 7 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	104
Figura IV.26. Curvas de Contorno de la variación de Humedad Día 7 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	104
Figura IV.27. Superficie de Respuesta de la variación de Humedad día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito	106
Figura IV.28. Curvas de Contorno de la variación de Humedad día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito	106
Figura IV.29. Superficie de Respuesta de la variación de la Textura día 0 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	108
Figura IV.30. Curvas de Contorno de la variación de la Textura día 0 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	108
Figura IV.31. Superficie de Respuesta de la variación de la Textura día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito	110
Figura IV.32. Curvas de Contorno de la variación de la Textura día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito	110
Figura IV.33. Superficie de Respuesta de la variación de la Textura día 3 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	112
Figura IV.34. Curvas de Contorno de la variación de la Textura día 3 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	112
Figura IV.35. Superficie de Respuesta de la variación de la Textura día 3 con la concentración de ADA y Bisulfito	114

Figura IV.36. Curvas de Contorno de la variación de la Textura día 3 con la concentración de ADA y Bisulfito	114
Figura IV.37. Superficie de Respuesta de la variación de la Textura día 7 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	116
Figura IV.38. Curvas de Contorno de la variación de la Textura día 7 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito	116
Figura IV.39. Superficie de Respuesta de la variación de la Textura día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito	118
Figura IV.40. Curvas de Contorno de la variación de la Textura día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito	118

INDICE DE TABLAS

Tabla I.1. Evolución de la producción de trigo en Argentina	11
Tabla I.2. Composición química del grano	18
Tabla I.3. Tipificación de harinas	25
Tabla III.1. Características de las harinas comerciales A, B y C	43
Tabla III.2. Diseño factorial para las combinaciones <i>oxidante-reductor</i>	56
Tabla III.3. Diseño experimental central compuesto rotacional	57
Tabla IV.1. Volumen específico de la combinación ADA-Bisulfito	61
Tabla IV.2. Volumen específico de la combinación ADA- Cisteína	62
Tabla IV.3. Volumen específico de la combinación Ácido Ascórbico Bisulfito	63
Tabla IV.4. Volumen específico de la combinación Ácido Ascórbico Cisteína	64
Tabla IV.5. Análisis de varianza para Volumen Específico para la combinación ADA- Bisulfito	66
Tabla IV.6. Análisis de varianza para Volumen Específico para la combinación ADA- Cisteína	67
Tabla IV.7. Análisis de varianza para Volumen Específico para la combinación Ácido Ascórbico-Bisulfito	67
Tabla IV.8. Análisis de varianza para Volumen Específico para la combinación Ácido Ascórbico-Cisteína	68
Tabla IV.9. Comparación de Medias. Harina A	69
Tabla IV.10. Comparación de Medias. Harina B	70
Tabla IV.11. Comparación de Medias. Harina C	71
Tabla IV.12. Variables codificadas y reales del diseño experimental para ambas combinaciones en estudio	74
Tabla IV.13. Resultados obtenidos con la combinación Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	75
Tabla IV.14. Resultados obtenidos con la combinación Ácido ADA- Bisulfito de sodio	76
Tabla IV.15. ANOVA de la Consistencia de la masa para la combinación de Ácido Ascórbico-Bisulfito de sodio	78
Tabla IV.16. ANOVA de la Consistencia de la masa para la combinación de ADA –Bisulfito de sodio	80
Tabla IV.17. ANOVA de Volumen Específico para la combinación de Ácido Ascórbico –Bisulfito de sodio	82
Tabla IV.18. ANOVA de Volumen Específico para la	

combinación de ADA–Bisulfito de sodio	84
Tabla IV.19. ANOVA de Panel día 0 para la combinación de Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	86
Tabla IV.20. ANOVA de Panel día 0 para la combinación de ADA – Bisulfito de sodio	88
Tabla IV.21. ANOVA de Panel día 3 para la combinación de Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	90
Tabla IV.22. ANOVA de Panel día 3 para la combinación de ADA – Bisulfito de sodio	92
Tabla IV.23. ANOVA de Panel día 7 para la combinación de Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	94
Tabla IV.24. ANOVA de Panel día 3 para la combinación de ADA - Bisulfito de sodio	97
Tabla IV.25. ANOVA de Humedad día 0 para la combinación de Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	99
Tabla IV.26. ANOVA de Humedad día 0 para la combinación de ADA – Bisulfito de sodio	101
Tabla IV.27. ANOVA de Humedad día 7 para la combinación de Ácido Ascórbico Bisulfito de sodio	103
Tabla IV.28. ANOVA de Humedad día 7 para la combinación de ADA – Bisulfito de sodio	105
Tabla IV.29. ANOVA para Textura día 0 para la combinación Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	107
Tabla IV.30. ANOVA para Textura día 0 para la combinación ADA – Bisulfito de sodio	109
Tabla IV.31. ANOVA para Textura día 3 para la combinación Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	111
Tabla IV.32. ANOVA para Textura día 3 para la combinación ADA - Bisulfito	113
Tabla IV.33. ANOVA para Textura día 7 para la combinación Ácido Ascórbico- Bisulfito de sodio	115
Tabla IV.34. ANOVA para Textura día 7 para la combinación ADA – Bisulfito de sodio	117
Tabla IV.35. Ensayos en el punto óptimo para la combinación Acido Ascórbico-Bisulfito	120
Tabla IV.36. Ensayos en el punto óptimo para la combinación ADA-Bisulfito	120

RESUMEN

RESUMEN

La calidad de los productos de panificación depende principalmente de las propiedades mecánicas y reológicas de los componentes de la harina. El gluten es el que contribuye más significativamente a definir las características del producto final. Los aditivos se pueden agregar a la masa para mejorar su acción, entre ellos se incluyen agentes oxidantes, reductores y otros. La incorporación de agentes oxidantes genera masas más elásticas y menos pegajosas, mientras que los reductores con su acción de ruptura sobre las uniones disulfuro y consecuentemente modificación de la estructura del gluten producen masas blandas y extensibles.

Los objetivos del presente trabajo fueron: a) estudiar en una primera etapa el efecto de la combinación de aditivos reductores y oxidantes sobre el volumen específico del pan de molde, utilizando como agentes oxidantes el Ácido Ascórbico y la Azodicarbonamida (ADA) y como agentes reductores la Cisteína y el Bisulfito de Sodio. b) Optimizar en una segunda etapa, la utilización de las combinaciones de aditivos seleccionadas para el mejoramiento de la calidad del pan de molde con harinas de características tecnológicas débiles.

Se utilizaron harinas con diferentes características tecnológicas, denominadas harinas A, B y C. Harina A con características tecnológicas más débiles y harina C más fuertes. Para ello se determinaron las propiedades físicas de la masa realizando ensayos farinográficos, alveográficos y amilográficos. También se realizaron las determinaciones químicas de humedad, cenizas y gluten.

Se realizaron ensayos de panificación para pan de molde con las diferentes combinaciones de aditivos. Estos aditivos fueron usados combinados de a pares en dos niveles de concentración (oxidantes 100 y 200 ppm; reductores 50 y 100 ppm), para lo cual se utilizó un diseño factorial 2^2 con dos repeticiones en tres bloques para las distintas combinaciones oxidante-reductor. Se realizó análisis de variancia utilizando el test de rango múltiple para evaluar las diferencias estadísticas y a través del coeficiente de variación se efectuó la medida de dispersión.

El uso de los pares oxidante-reductor tuvo una mayor eficacia en el caso de harinas débiles y sobre todo en aquellas que conservan cierta capacidad de mejoramiento de su estructura de red tridimensional del gluten. En lo referente a la acción positiva de los pares de aditivos se destaca que las combinaciones más influyentes sobre el volumen específico fueron ácido ascórbico-bisulfito de sodio y azodicarbonamida-bisulfito de sodio produciendo una mejora promedio de volumen específico de 4.0 % y 3.5 % respectivamente.

En una segunda etapa se procedió a optimizar los niveles oxidante-reductor para el mejoramiento de la calidad del pan de molde con una harina de características tecnológicas débiles equivalente a harina A. Las combinaciones utilizadas para este fin fueron las que resultaron más eficaces en la primera etapa.

Para cada combinación Acido Ascórbico- Bisulfito y ADA-Bisulfito se hicieron veinte experiencias donde se determinó consistencia de la masa, volumen específico, puntaje total y textura al día cero, tres y siete.

Se realizó una verificación del diseño experimental y coincidió con el valor teórico calculado donde los niveles encontrados como óptimos fueron:

-Acido Ascórbico: 165 ppm- Bisulfito de sodio: 77 ppm.

-Azodicarbonamida:190 ppm- Bisulfito de sodio: 100 ppm.

Se concluye que:

-Con la harina más débil se obtuvo un mayor efecto de los aditivos.

-Como mejor aditivo reductor se manifestó el Bisulfito de Sodio.

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

I.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS CEREALES

I 1.1 Origen del trigo

Por un largo tiempo, el hombre sobrevivió con una dieta enteramente a base de carne, la cual consiguió por la caza. El origen de la agricultura, que va unido a la domesticación de animales se asocia, por regla general, al periodo neolítico y en términos generales, denota un alejamiento de la vida nómada del cazador-recolector. Está asociado con la vida sedentaria, el desarrollo de asentamientos permanentes y la aparición de los primeros recipientes de barro para cocinar y almacenar los alimentos. Gradualmente el *Homo sapiens* aprendió a usar su ingenio, desarrolló instrumentos, utilizó el fuego, y reaccionó a la influencia de los cambios climáticos ajustando sus hábitos de vida. Se reemplazó la vida nómada por asentamientos permanentes.

Gradualmente la agricultura fue reemplazando a la caza, la pesca y la recolección. En consecuencia, es imposible señalar un momento o lugar en el que se produjera la domesticación de cualquier especie. En este sentido, el origen de la agricultura no puede fijarse con precisión (Jacob, 1944; Lockwood, 1960; Storck y Teaque, 1952).

El trigo tiene sus orígenes en la Antigua Mesopotamia. Las más antiguas evidencias arqueológicas del cultivo de trigo vienen de Siria, Jordania, Turquía e Irak (Bonjean y Angus, 2001). De estudios hechos en excavaciones en el cercano Oriente, se deduce que, aparentemente, hubo dos clases de trigo silvestre en esa región hace aproximadamente 10.000 años, las cuales fueron primero cosechadas de las formas silvestres y, posteriormente, cultivadas por las tribus nómadas de la región. Esto constituyó el comienzo de la civilización occidental, y los trigos implicados fueron

Einkorn y *Emmer* silvestres. En la actualidad ambos trigos todavía se cultivan en el Cercano Oriente (Cruz, 1975).

Los cambios climáticos que se produjeron en el Arco Fértil (suroeste asiático) trajeron consigo la extensión de los cereales silvestres, alguno de los cuales es el antecesor del trigo que conocemos en la actualidad. Otras especies se cultivaron mucho en las antiguas civilizaciones griega y romana (Matz, 1959; Jasny, 1944). Mientras que esta planta no habría podido tener éxito en estado salvaje dentro de los campos de cultivo produjo más alimento para los seres humanos (Bonjean y Angus, 2001).

La panificación es un arte antiguo, identificado estrechamente con el desarrollo del hombre y su civilización (Mc Cance y Widdowson, 1956; Pylar, 1958; Storck y Teague, 1952). Probablemente, los primeros panes estarían hechos con harinas de bellotas o de hayucos. Los arqueólogos han desenterrado fragmentos de pan ácimo en las excavaciones de los poblados cercanos a los lagos suizos (Alonso de la Paz, 1999).

En la Edad de Piedra se aplastaban los granos entre piedras lisas y este material posteriormente se humedecía con agua, se formaba una torta delgada la cual era secada al sol. Más tarde, se desarrolló la técnica de colocar las tortas en piedras ardientes o cubrirlas con cenizas calientes. Estos procedimientos son comunes en la actualidad en la elaboración de la torta de harina de avena en Escocia y en los productos panificados de la pascua israelita. Se sabe que los egipcios elaboraban pan desde muy antiguo, perfeccionaron su arte de elaboración y se cree que descubrieron la fermentación por casualidad. Las referencias escritas del pan datan del año 2600 AC. La panificación se convirtió en una ocupación importante (Jacob, 1944; Lockwood, 1960; Pylar, 1958; Storck y Teague, 1952).

Con la Revolución Industrial se produjo la mecanización en esta industria. Las máquinas suplantaron la labor manual en muchas operaciones (Matz, 1959; Slater, 1956). Se desarrollaron nuevos productos –tortas, crackers, donuts, galletas, pasteles, panecillos y distintos tipos de panes. El tamaño y forma no cambió demasiado desde la antigüedad, pero el uso de diversos ingredientes: grasa, azúcar, leche, huevos, especias, como también mezclas de harinas de otros cereales tales como cebada, avena, centeno, papa, soja produjo una gran diversidad de manufacturas. Ciertos tipos

de productos están asociados con un país o lugar particular, como los panes oscuros de la vieja Rusia, el pan francés y el pan de Viena. Éstos han tenido una cierta estandarización, pero hasta el momento ninguno está bien definido. Por ejemplo, el pan de Viena originalmente fue un pan claro, crujiente, hecho con harina húngara madura y una gran cantidad de levadura y rápidamente cocinado a vapor. El pan francés fue hecho con una pequeña cantidad de levadura y usualmente sin el agregado de azúcar o grasa (Shellenberger, 1978).

En el siglo XX la ayuda de máquinas es total: amasadoras, hornos automáticos, transportadoras, enfriadoras, cortadoras y hasta equipos para envolver el pan. A finales de este siglo aumentó el consumo de panes integrales o negros (Curry, 2000; Alonso de la Paz, 1999).

En la Antigua Roma, ya había hornos públicos. En la Edad Media empiezan a elaborarse distintos tipos de panes y como consecuencia de ello comienza su comercio; el pan blanco era un privilegio de los ricos y el pan negro era para el resto de la población. Se hacía a mano, en el propio hogar o en hornos públicos (Curry, 2000; Alonso de la Paz, 1999).

Después de un lento período de progreso, el trigo se convirtió en el mejor de los cereales alimentarios, y su disponibilidad se consideró como un signo de vital trascendencia. La calidad de trigo para panificación mejoró, y el pan se convirtió en una forma u otra en un importante alimento para el mundo Occidental. Durante mucho tiempo, este cereal se convirtió en un símbolo mundial, reflejando la situación alimentaria de millones de personas, además de ser un indicador de las condiciones económicas y de la estabilidad política (Boals, 1948).

Se han realizado investigaciones para producir variedades de trigo con mayor contenido proteico e incrementar los niveles de aminoácidos esenciales. Las mismas se orientan a relacionar los genes específicos con las propiedades funcionales del trigo para panificación (Morris, et al 1966).

I.1.2 Clasificación del trigo

La clasificación botánica del trigo es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Gramineae

Género: *Triticum*

El trigo pertenece al género *Triticum*, de la familia de las Gramíneas (*Gramineae*). El trigo diploide es la especie *Triticum monoccum*, el trigo tetraploide, la especie *Triticum turgidum*; y el trigo hexaploide o trigo común es la especie *Triticum aestivum* (Mattern, 1991).

Los distintos *Triticum* fueron agrupados como se detalla a continuación:

Vulgare, Trigo común

Durum, Trigo duro

Compactum, Trigo Compacto

Tugidum, Trigo Poulard

Dicoccum, Emmer

Spelta, Spelt

Polonicum, Trigo Brillante

Monococcum, Einkorn

Aproximadamente el 90 a 95 % del trigo que se produce en el mundo, que son casi 600 millones de toneladas es de la variedad de trigo común (*T. aestivum*).

La descripción botánica de la planta es:

Raíz. Cuando una semilla de trigo germina, emite la plúmula y produce las raíces temporales. Las raíces permanentes nacen después de que emerge la plántula del suelo, que son las que sostienen a la planta en el aspecto mecánico, en la absorción del agua y los nutrientes del suelo hasta su maduración (Cruz, 1975). Las raíces de la planta del trigo se pueden dividir en dos grupos, a saber, las raíces seminales, son las que pertenecen inicialmente al embrión, y las adventicias que se sueltan de los nodos de la planta, dentro del suelo o apenas sobre ella (Hanson et al, 1982).

Tallo. El tallo del trigo crece de acuerdo con las variedades, normalmente de 60 a 120 cm. para facilitar más la recolección mecánica, sin embargo, existen trigos enanos que tienen una altura de 25 a 30 cm. y otros muy altos de 120 a 180 cms. que dan una relación paja-grano elevada y viceversa para los trigos enanos. Desde el punto de vista comercial, los trigos semi-enanos de 50 a 70 cm son los más convenientes (Borlaug et al, 1949).

En estado de plántula, los nudos están muy juntos y cerca de la superficie del suelo; a medida que va creciendo la planta emite brotes que dan lugar a otros tallos que son los que constituyen los macollos, variables en número, de acuerdo con el clima, variedad y suelo; también producen espiga, en esto radica el mayor o menor rendimiento de algunas variedades (Cruz, 1975).

Hoja. En cada nudo nace una hoja, ésta se compone de vaina y limbo o lámina, entre estas existe una parte que recibe el nombre de cuello de cuyos laterales salen prolongaciones que se llaman aurículas y entre la separación del limbo y el tallo o caña existe una parte membranosa que recibe el nombre de lígula. La hoja tiene una longitud que varía de 15 a 25 cm. y de 0,5 a 1 cm de ancho. El número de hojas varía de 4 a 6 y en cada nudo nace una hoja, excepto los nudos que están debajo del suelo que en lugar de hojas producen brotes o macollos (Cruz, 1975).

Espiga. La espiga de trigo está formada por espiguillas (manitas) dispuestas alternadamente en un eje central denominado caquis. Las espiguillas contienen de 2 a 5 flores que posteriormente formarán el grano que queda inserto entre la lemma (envoltura exterior del grano que en algunas variedades tiene una prolongación que constituye la barba o arista), y la pálea o envoltura interior del grano. La primera y segunda flor está cubierta exteriormente por las glumas (Bourlag, 1965).

Fruto. El fruto empieza a desarrollarse después de la polinización, alcanzando su tamaño normal entre 30 a 45 días. El fruto es un grano o cariósipide de forma ovoide con una ranura o pliegue en la parte ventral; en un extremo lleva el germen y en el otro tiene una pubescencia que generalmente le llaman brocha. El grano está protegido por el pericarpio, de color rojo o blanco según las variedades, el resto está formado por el endospermo, éste a su vez puede ser de color blanco almidonoso o córneo o cristalino. Los granos de tipo almidonoso se usan para la extracción de harina de pan y los de tipo cristalino se usan para la fabricación de pastas y macarrones (Cruz, 1975).

Para propósitos comerciales, el trigo común debe ser clasificado por otras características como duro o blando, rojo o blanco y hábitos de primavera o invierno. Algunos países, como Estados Unidos, Canadá, Argentina y la Unión Soviética han establecido estándares para el grano basados en factores como la textura, color, materiales extraños, granos rotos, humedad y peso (Shellenberger, 1978).

La mayoría de los trigos que se cultivan pertenecen a tres especies de *Triticum*, las cuales son:

1. *Triticum aestivum*, es un hexaploide, el cual domina la producción mundial. En Estados Unidos está dividido en cuatro clases para los propósitos del mercado. Las clases Rojo Duro de Invierno y el Rojo Duro de Primavera son usados principalmente para producción de pan fermentado. Las clases Rojo Blando de Invierno y trigo Blanco Común son usadas especialmente para pastas, crackers y cookies.
2. *Triticum compactum*, es un trigo también tipo hexaploide, que es usado para pastas de una manera similar como el trigo Rojo Blando de Invierno.
3. *Triticum durum*, es una especie tetraploide con granos extremadamente duros el cual es usado para macarrón, spaghetti u otras pastas. Es frecuentemente usado para pan árabe en el norte de África y en Oriente (Mattern, 1991).

I 1.3 Características y condiciones de crecimiento de la planta de trigo

A pesar de que la cosecha es más exitosa entre las latitudes de 30° a 60° N y 27 a 40° S (Nuttonson, 1955), el trigo puede crecer más allá de estos límites. Investigaciones desarrolladas por el Centro Internacional de Desarrollo del Trigo y Maíz (CIMMYT)

durante las dos décadas pasadas han mostrado que la producción de trigo en áreas más calurosas es técnicamente factible. En altitud, el cultivo crece a más de 3000 m sobre el nivel del mar (Saunders y Hettel, 1994).

La temperatura óptima de crecimiento es aproximadamente de 25 ° C con unas temperaturas mínimas y máximas de crecimiento de 3 a 4 °C y 30 a 32 ° C, respectivamente (Briggle, 1980). El trigo se adapta a un rango amplio de condiciones de humedad. A pesar que las tres cuartas partes de las zonas donde se cosecha recibe un promedio de 375 a 875 mm de precipitaciones anuales, puede crecer en lugares de 250 a 1750 mm. La producción óptima requiere un adecuado control de la fuente de agua disponible durante el desarrollo, sin embargo, una abundante cantidad de ésta puede producir la pérdida de la cosecha. El trigo debe ser cosechado normalmente entre abril y septiembre en el Hemisferio Norte y entre octubre y enero en el Hemisferio Sur (Leonard y Martin, 1963).

Actualmente el trigo crece en un amplio rango de climas en diversos tipos de suelos. Esta adaptación contribuye a su éxito como el mejor cultivo mundial. Se ha convertido en un cultivo de rotación significativo involucrando el cultivo doble de soja o granos de sorgo en el sudeste de Estados Unidos.

Si se plantan en primavera, el crecimiento usualmente queda debilitado y no produce un florecimiento de la espiga. Estos trigos no requieren temperaturas bajas. Ellos son plantados exitosamente en regiones de temperaturas de invierno moderadas (Mattern, 1991).

La calidad del grano depende de numerosos factores, siendo los más importantes:

- a) El terreno: factor estrechamente dependiente del clima.
- b) El fertilizante: parecería que el fertilizante nitrogenado, y en particular los nitratos, no sólo son factores favorables, sino que tienen la función de aumentar el contenido proteico del grano; esto es válido dentro de ciertos límites, por cuanto al superar un cierto valor de fertilización la cantidad de nitrógeno cedido por el fertilizante no está en relación con la cantidad y calidad del gluten.

c) La temperatura y el estado higrométrico de la zona, tienen influencia sobre la calidad del grano en su fase de maduración, fundamentalmente en los últimos veinte días que preceden a la maduración.

d) Los cultivos anteriores influyen en el rendimiento. Se obtienen buenos granos si el cultivo precedente fue soja.

El grano de trigo se muele con el fin de producir una harina, que se emplea para la elaboración de pan, tortas, galletas o productos similares.

El trigo duro o *Triticum durum*, tiene un color ambar, se utiliza fundamentalmente como sémola para la fabricación de pastas alimenticias, aunque en algunas regiones de Italia meridional una vez molido, se emplea para la producción de pan (Quaglia, 1991).

1.1.4 Importancia económica mundial y nacional del trigo

La agricultura proporciona a la sociedad otros servicios además de la mera generación de energía e ingresos. Por su propia naturaleza, la agricultura se relaciona con bienes comunes e intereses públicos. Un desarrollo nacional equilibrado entraña el mantenimiento de los medios de subsistencia y las tradiciones rurales para que las zonas remotas sigan siendo habitables. Los sistemas de utilización de la tierra con fines múltiples anuncian también una era de adopción descentralizada y participativa de decisiones (Fresco, 2000).

Los cereales han sido durante varios miles de años la fuente más importante de calorías en la alimentación de los cuales se deriva cerca del 70 % de la proteína disponible para consumo humano (Bourne, 1989). El trigo es el cereal de mayor importancia debido a que es uno de los cultivos más ampliamente distribuidos, ocupando el primer lugar en consumo en el mundo; sus áreas de producción son el norte y sur de América, Europa, Rusia, la región del Mediterráneo China, y Australia; los principales exportadores son Estados Unidos, Canadá y Australia (Bourne, 1989).

Esta gramínea constituye un componente esencial del régimen alimenticio de numerosos países, como fuente fundamental de glúcidos y calorías pero las proteínas del trigo también constituyen la mayor parte de las proteínas consumidas por numerosas regiones en vías de desarrollo. Los alimentos a base de cereales son

pobres en proteínas, a su vez, éstas tienen un bajo valor biológico debido a su bajo contenido de lisina (Lorenz y Kelp, 1991; Renz-Schauen y Renner, 1987). Muchos consumidores buscan mejorar su salud, y esto hace que elijan alimentos naturales como los cereales y las frutas por su rol como agentes que reducen el riesgo de importantes enfermedades (Stauffer, 1999; Miller y Hosenev, 1999; Sloan, 1999).

La producción mundial de este grano ha crecido significativamente desde 1965. El promedio de la producción mundial durante 1960-1964 fue de 232 millones de toneladas. Durante 1978-1980 creció a 432 millones de toneladas. El promedio anual de la producción 1984-2005 fue de aproximadamente 550 millones de toneladas, lo que representa un incremento significativo respecto al período 1960-1964. Se debe considerar que las prácticas de manejo se perfeccionaron, especialmente el mayor uso de fertilizantes nitrogenados y el mejoramiento de nuevos cultivos contribuyeron fuertemente a ese incremento.

Diez países producen el 76 % del trigo mundial basado en el promedio 1983-1985. Tres de ellos, la República Popular de China, la Unión Soviética, y los Estados Unidos tienen el 45,5 % de la producción mundial. Sólo los Estados Unidos, Francia, Canadá, Australia y Argentina son exportadores consistentes. Entre los diez principales exportadores, sólo Australia y Argentina están en el Hemisferio Sur.

Todas las regiones han incrementado sus cultivos de trigo, pero el mayor incremento ha sido en Europa. En la base del promedio mundial esta cantidad se ha acrecentado un 45,5 %. Los mayores cultivos en Europa fueron conseguidos por el Reino Unido, Alemania Occidental y Francia donde las condiciones ideales de crecimiento fueron junto a prácticas intensivas de agricultura.

La producción de trigo se incrementó notablemente en ciertos países que históricamente habían sido importadores, de este modo han deprimido la demanda de trigo de países que son tradicionalmente exportadores (Mattern, 1991).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), la producción mundial de trigo, finalizando el año 2003, ascendía a 552.7 millones de toneladas, por debajo de la producción de la campaña anterior, que según la misma información alcanzó a 566,8 millones de toneladas (Bolsa de Cereales, 2004).

La República Argentina es, sin lugar a dudas, un país privilegiado en materia de producción agropecuaria a nivel mundial. Las cosechas obtenidas han permitido la exportación de elevados volúmenes de materias primas y derivados, ubicando a este sector en la cúspide del comercio exterior argentino. Nuestro país tiene una tradición triguera y harinera, produce 14 millones de toneladas de trigo a partir de 6 millones de hectáreas. Una porción importante de su producción se exporta, siendo Brasil el importador principal. Esto se debe en parte a las excelentes condiciones naturales de nuestro suelo (Bolsa de Cereales, 2004).

En el año 2002/2003, la superficie sembrada con trigo en nuestro país fue de 6.30 millones de hectáreas, 11.40 % inferior al ciclo precedente, superando en apenas el 1.31 % el promedio quinquenal y un incremento del 5.64 % respecto a la década. Por su parte, la producción alcanzó un volumen de 12.30 millones de toneladas, por debajo en un 19.55 % de los valores registrados en el ciclo anterior que alcanzó a 15.29 millones de toneladas. La producción triguera de Argentina es apenas el 1.25 % de la producción mundial. La evolución de la producción de trigo en nuestro país durante el período 1993-2003 se muestra en la Tabla I.1.

Tabla I.1**Evolución de la producción de trigo en Argentina**

Cosecha	Producción (millones de toneladas)
93/94	9.659
94/95	11.306
95/96	9.445
96/97	15.914
97/98	15.000
98/99	12.400
99/00	15.300
00/01	15.960
01/02	15.292
02/03	12.300

Se aprecia un incremento importante de la producción durante la última década de aproximadamente el 60 % (valor “punta a punta”, 1993-2002) con variaciones debidas fundamentalmente a condiciones climáticas y las diferentes situaciones económicas imperantes. Entre enero y agosto de 2003 se exportaron 4.5 millones de toneladas que aportaron a la Balanza Comercial del país cerca de 700 millones de dólares (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 2005).

A mitad del año 2003 la comercialización de trigo en el mercado local, no presentaba variantes fundamentales, continuaba muy atomizada, con algunos molinos interesados en aumentar sus stocks, pero poniendo énfasis en la calidad, cantidad y procedencia de la mercadería, mientras que los exportadores se mantenían casi sin participar en la operatoria dado que a los precios internos vigentes, considerados muy elevados, y un nivel de retención de mercadería de los productores muy superior a la media histórica,

dificultaba la comercialización del saldo exportable en el exterior, excepto algún lote eventual con destino a Brasil. En este contexto se especulaba que el trigo guardado por los productores en algún momento debería salir y si ello sucediera los precios tenderían a la baja.

Sin duda el escenario del precio del trigo local además del mercado externo, presenta factores locales, como la posibilidad de mayores reducciones de la producción por la falta de lluvias y por un bajo nivel de ventas de los productores, los cuales no tienen grandes apremios financieros. Esto significa, para las estrategias comerciales, conservar la posibilidad de aprovechar alzas fuera de los meses de la cosecha (Bolsa de Cereales, 2004).

La producción total nacional para la campaña 2003/2004 fue de 14.5 millones de toneladas, superior a la inmediata precedente en un 18 %, a pesar del déficit hídrico que afectó a gran parte de la región, este aumento se debe principalmente a los mayores rindes obtenidos que superaron los pronósticos (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 2005).

I.1.5 Industrialización del trigo en la Argentina

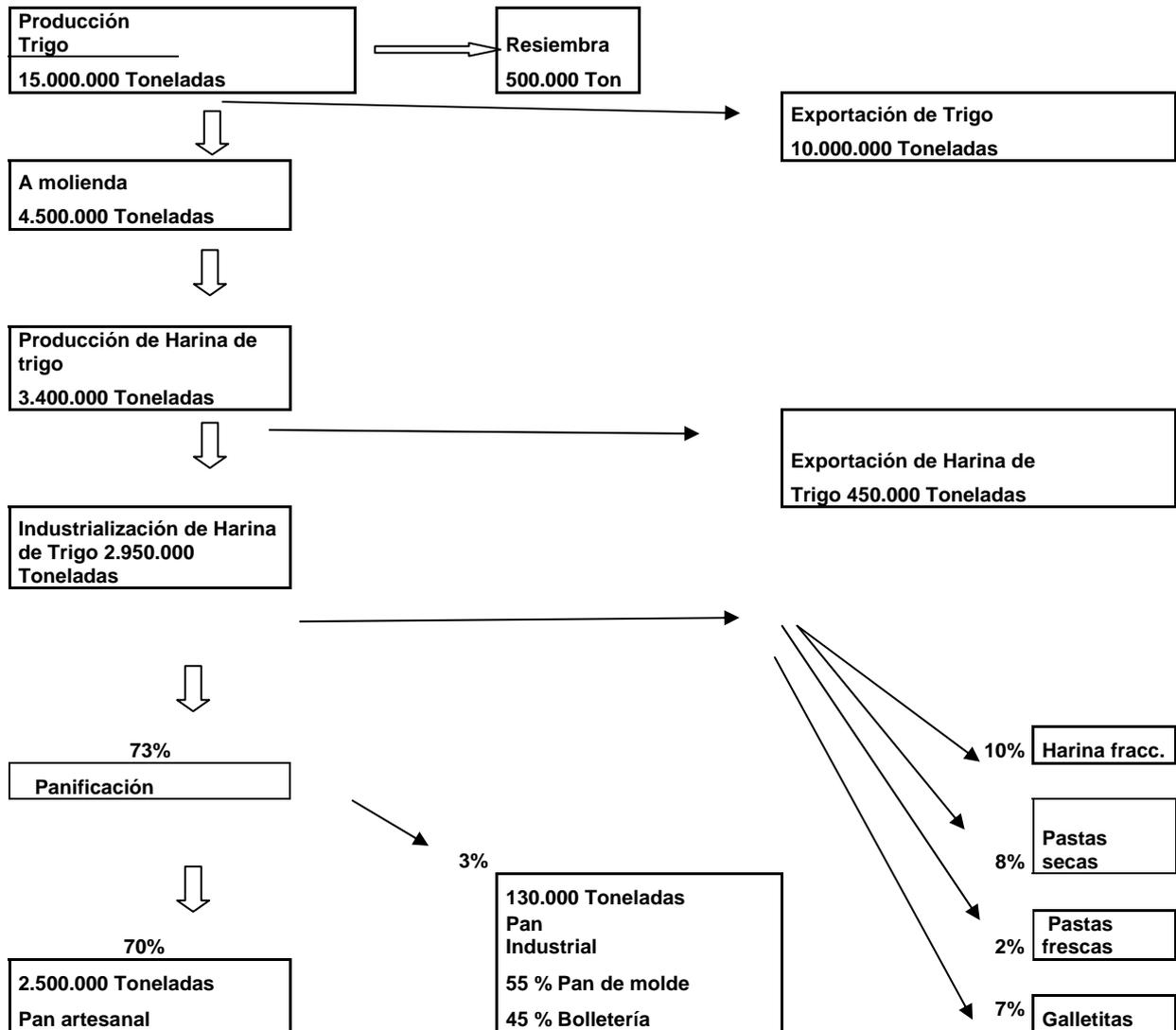
Argentina se ha consolidado como un importante exportador de trigo en un mercado mundial que cada día se torna más competitivo y en el que a cada momento, la demanda impone normas más estrictas, acompañadas por una tecnología de molienda e industrialización que ofrece al consumidor una amplia gama de productos con destinos finales sumamente puntuales y específicos, al tiempo de una provisión consistente en tiempo y forma que permita mantener sin cambios una industrialización continua.

En nuestro país ha prevalecido siempre el concepto de mezcla y pérdida de identidad, si bien en los últimos años se ha iniciado un proceso de diferenciación encarado a la industria molinera, que necesita trigos diferenciados para poder satisfacer la demanda de clientes que lo requieren para productos específicos.

La harina de trigo es el insumo básico de varios productos y su producción mostró una tendencia creciente desde el comienzo de la década del noventa. En Fig. I.1 se

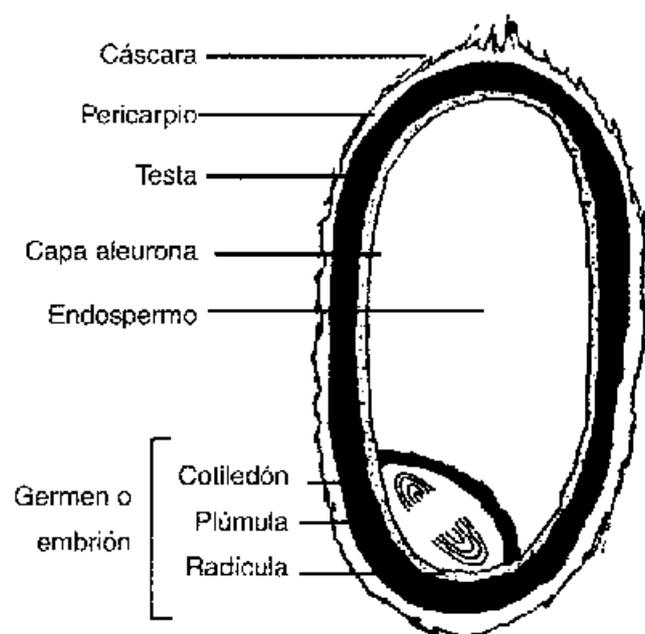
puede apreciar esquemáticamente la derivación de trigo producido hacia la resiembra, la exportación y la molienda. Se destaca que la harina destinada al mercado interno se utiliza en un 70 % para elaborar pan común (o tipo francés), 8 % para pastas secas, 10 % para harina fraccionada, 7 % para galletitas (dulces y saladas) y 3 % para panificados industriales (pan de molde, pan de Viena) (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 2005)

Figura I.1
Industrialización del trigo en Argentina



I.2 GRANO DE TRIGO

Figura I.2: Esquema del grano de trigo



I.2.1 Descripción del grano de trigo

En la figura I.2 se observa el esquema del grano de trigo, donde se distingue que la cariósida del trigo está dotada de una estructura notablemente compleja, con la forma de una nuez alargada, que consta de una única semilla de 6 a 8 mm. de largo y de 3 a 4 mm. de ancho, que presenta longitudinalmente un hundimiento y en la parte opuesta al embrión una barbilla o pincel.

La cariósida está constituida por varias partes:

-la envoltura (representada por el pericarpio y el espermodermo) que representa cerca del 10,5 % del peso de la cariósida;

-capa aleurónica: aproximadamente el 7 %.

-endospermo amiláceo: alrededor del 1,50 %

Otras subdivisiones, más detalladas son las siguientes:

- a) pericarpio, capa celular, capa aleurónica, que contribuyen todas a formar el salvado: del 9-10 %.
- b) Endospermo (almidón y proteínas) del 80 % al 85 %;
- c) Embrión con escutelo; del 2,8 al 3,5 %.

Las envolturas

Las envolturas pueden considerarse constituidas por tres grupos de estratos, puestos el uno sobre el otro, que han tomado el nombre de pericarpio, espermodermo y capa celular aunque el nombre más apropiado es el de perispermo; el último de estos tres grupos está constituido de una sola capa de células, a diferencia de los dos primeros, que están formados por muchas capas (Tirelli, 1962).

Pericarpio

El pericarpio constituye la envoltura externa del fruto, del que representa en peso el 3-4 %. Está formado por varias capas de células y precisamente el epicarpio es la más externa y está compuesta por tres estratos de células que reciben el nombre de: intermedia, cruzada y tubular, situadas en orden debajo del epicarpio, es decir, que mientras este último es el más externo, la capa de células tubulares es la más interna del pericarpio (Cirilli et al, 1971).

Espermodermo.

El espermodermo es una envoltura que sirve para proteger a la propia semilla y su función es de la máxima importancia porque de su eficacia depende la defensa del embrión así como del endospermo. Reviste, por otra parte, notable influencia en relación a los fenómenos de absorción de los líquidos o de las soluciones. El espermodermo está constituido por dos capas de células alargadas estando la primera y la segunda formando un ángulo recto. El espermodermo llamado también tegumento, tegmenotesla, cumple una función de carácter protector de la semilla propiamente dicha y está constituida en gran parte por sustancias de naturaleza celulósica y de sales. La celulosa, no tiene ningún valor alimenticio para el hombre, ya que éste es incapaz de transformarlo en sustancias más simples, pero es útil al organismo porque activa los movimientos peristálticos del intestino (Quaglia, 1991; Tirelli, 1962).

Perispermo

Bajo la última capa del espermodermo existe una capa extremadamente sutil, de células poligonales que llevan el nombre de perispermo y puede considerarse como un residuo del tejido nuclear más externo, pero que, erróneamente, viene llamándose “nucella” o capa hialina. Esta separa la última capa del espermodermo de la capa de células de aleurona, tiene un carácter fundamentalmente celulósico y durante la molienda, sigue la suerte de todas las envolturas de la cariósida (Cirilli et al, 1971).

Endospermo

Bajo las envolturas y por éstas protegidas y custodiadas, se encuentra el endospermo, que a los efectos de la alimentación, es la parte más importante de la cariósida. El endospermo feculento, excluyendo la capa de aleurona, está constituido por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. Las paredes celulares del endospermo, están formadas por pentosanos, otras hemicelulosas y b-glucanas, pero no por celulosa. El espesor de las paredes celulares varía con la posición en el grano; son más gruesas cerca de la aleurona. El espesor de las paredes celulares del endospermo determina el porcentaje de hemicelulosas contenidas en las mismas.

El contenido y las paredes celulares de las células del endospermo constituyen la harina. Las células están repletas de gránulos de almidón incluidos en una matriz proteica (Tarabiono, 1979).

Embrión

El embrión está colocado en la base de la semilla, en la parte opuesta a la barbilla y constituye el aparato germinativo del grano; puede ser considerado como una plantita en miniatura completa en todas sus partes, pronta a desarrollarse apenas se produzcan las condiciones apropiadas (Quaglia, 1991).

I.2.2. Componentes químicos del grano

La composición química del grano se expresa en Tabla I.2 (Quaglia, 1991):

Tabla I.2**Composición química del grano**

	Mínimo	Máximo
Proteína (NX5,7)	7,0	18,0
Cenizas	1,5	2,0
Lípidos	1,5	2,0
Humedad	8,0	18,0
Almidón	60,0	68,0
Pentosas	6,2	8,0
Sacarosa	0,2	0,6
Maltosa	0,6	4,3
Celulosa	1,9	5,0

Agua

El contenido en agua (humedad) del trigo es muy variable y depende del clima y del ambiente donde se ha cultivado.

El contenido en agua representa, en definitiva, un índice comercial importante, ya que influyen en el peso específico del grano y aún cuando no influye en el rendimiento molinero, sí lo hace en la conservabilidad de la harina y sus características tecnológicas (Hyde et al, 1973).

Hidratos de Carbono

El 72 % del peso de la carióspside del trigo está constituido por hidratos de carbono o glúcidos, a su vez formados por el 60-68 % de almidón, el 6,5 % de pentosas, el 2 al 2,5 % de celulosa y el 1,5 % de azúcares reductores.

El componente glucídico más importante desde el punto de vista tecnológico y en el cual el grano es mayoritariamente rico, es el almidón; su importancia tecnológica se debe a la capacidad de absorber agua. Los gránulos de almidón están formados por dos tipos de moléculas, lineales (amilosa) con diámetro de 5-15 μ y ramificadas (amilopectina) con diámetro de 20-39 μ ; la primera son polímeros cuyo monómero es el D-glucosa unidos por enlace alfa 1,4 glucósido; la amilopectina forma la cadena ramificada con enlace alfa 1,6 glucósido (Quaglia, 1991).

Recientes estudios han mostrado que la propiedad reológica del almidón depende también del grado de maduración del grano en el momento de la siega; la capacidad de hidratación disminuye con la maduración del grano, pero el almidón sacado del grano maduro es más hidrolizable por la acción enzimática que el contenido del grano no maduro; además existe un aumento de la amilasa con la maduración. En conclusión, el almidón del grano en plena maduración permite obtener un pan de mayor volumen, que el obtenido con granos no maduros (Quaglia, 1991).

Los cereales contienen otros polisacáridos distintos del almidón. Estos polisacáridos son constituyentes primarios de las paredes celulares y abundan más en las porciones externas que en las internas del grano (en las células del endospermo el contenido de éstos es muy inferior al almidón). Entre ellos tenemos hemicelulosas, pentosanos, celulosa, α -glucofructanos (Belitz y Grosch, 1988).

La celulosa es el polisacárido estructural más importante de las plantas. Al igual que la amilosa del almidón, es un homopolisacárido lineal de unidades de D-glucopiranosas, pero con la diferencia de que los monómeros se unen mediante enlaces glucosídicos β (1,4); su peso molecular llega a ser hasta de varios millones y su alta resistencia mecánica y química se debe a que sus cadenas paralelas se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a microfibrillas altamente estructuradas. Tiene zonas cristalinas y amorfas: las primeras se producen cuando las moléculas se enlazan con un alto grado

de ordenación, mientras que en las segundas no existe esta ordenación. A pesar de tener muchos hidroxilos libres es muy poco soluble en agua debido a que estos grupos no se hidratan por estar actuando entre sí (Badui Dergal S.,1999).

Proteínas

El contenido proteico del grano varía entre 8 a 17 %, dependiendo de la variedad genética y de factores externos asociados con la cosecha. La propiedad de la harina de trigo cuando se pone en contacto con agua, forma una masa proteica viscoelástica que es el gluten. El gluten, comprende aproximadamente el 78 a 85 % del total de proteína del endospermo del trigo, es un largo complejo compuesto principalmente de polímeros (múltiples cadenas polipeptídicas unidas por enlaces disulfuro) y monómeros (cadenas simples polipépticas) de proteínas conocidas como gluteninas y gliadinas respectivamente (MacRitchie, 1994). Las gluteninas confieren elasticidad, mientras que las gliadinas le proporcionan extensibilidad. Las variaciones en el contenido proteico pueden producir una significativa influencia en las propiedades finales (Weegels et al, 1996).

Se ha puesto de manifiesto mediante un simple fraccionamiento basado en la solubilidad en agua, la presencia de cuatro tipos de sustancias proteicas; de éstas, dos son solubles en una solución salina diluída: una albúmina, la lencosina, con un contenido porcentual respecto al total proteico del 12 % y una globulina con el 4 %; dos son insolubles en agua y solubles en solventes polares (alcohol y acetona), una prolamina, la gliadina con el 44 % y una glutelina, con el 40 %.

De entre los componentes proteicos del trigo, las dos fracciones insolubles en agua tienen una gran importancia tecnológica porque en contacto con el agua se unen con enlaces intermoleculares, formando el gluten, que representa la sustancia que confiere resistencia y elasticidad a la masa obtenida a partir de la harina y del agua (Hoseney et al, 1969).

La lisina es el aminoácido limitante en el trigo y la mayoría de los cereales. El contenido proteico en una sola variedad de trigo puede variar dependiendo del ambiente de desarrollo y del uso de fertilizantes. Por lo tanto, cualquier simple dato o comparación de trigo consiste en un valor promedio.

Los constituyentes del grano de trigo no se distribuyen en forma uniforme. El pericarpio es alto en pentosas, celulosa, y cenizas. La aleurona es la porción del endospermo pero durante la molienda es separada con el salvado. Es alta en proteínas, lípidos, pentosas, cenizas por eso contribuye significativamente a la calidad nutricional del salvado como forraje. El almidón se encuentra en el endospermo. El endosperma exterior (subaleurona) es alta en proteínas como la porción interna. El embrión y el escudillo, los cuales forman el embrión, son altos en proteínas, lípidos, azúcares reductores y cenizas.

En cereales sólo el trigo pan, y en algún grado el centeno tienen depósitos de proteínas que forman la red de gluten en la mezcla de harina y agua la cual tienen la propiedad de elasticidad y de fuerza que produce el pan fermentado con levaduras. Las proteínas almacenadas comprenden el 85 % de las proteínas del endospermo del trigo y consisten en gliadina (soluble en alcohol) y glutenina (soluble en ácido o álcalis).

El ambiente de crecimiento y la variedad pueden afectar la proporción de proteínas almacenadas. La cantidad de fracción proteica soluble varía con los diferentes componentes del grano. Los cereales han recibido muchas investigaciones por su importancia como alimento (Mattern, 1991).

Lípidos

Los lípidos son un pequeño porcentaje de la composición química del trigo (1,5-2 %) y están localizados principalmente en el germen. Los componentes lipídicos más importantes son los glicéridos, los fosfolípidos y los esteroides (sitosterol y campesterol); el germen es particularmente rico en tocoferol que toma comúnmente el nombre de vitamina E. En la composición en ácidos grasos de los glicéridos y de los fosfolípidos, sobresalen los ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico y el linoleico.

Numerosas investigaciones han puesto en evidencia la importancia de los lípidos en el proceso tecnológico de transformación, y en la conservación del producto final; tal importancia se debe a la propiedad tensoactiva de las grasas y a su capacidad de reacción con las proteínas (Quaglia, 1991). El material lípido no está distribuido en forma uniforme por todo el grano. El embrión (germen) contiene un 30 % de su peso como aceite. El grano comercial está en un rango del 10-11 %. El endospermo es más

bajo en aceite y las capas externas tienen niveles de lípidos intermedios entre el germen y el endospermo. El aceite del germen de trigo incluye una alta proporción de ácidos grasos insaturados (Mattern, 1991).

Vitaminas y Minerales

Las vitaminas se encuentran en alta concentración en el germen de trigo y el salvado, y los minerales están concentrados especialmente en el salvado (Mattern, 1991).

El trigo contiene cantidades apreciables de vitaminas tales como la tiamina (B1), la riboflavina (B2), la niacina, el ácido pantoténico, el ácido fólico, la biotina, la colina, el inositol, los tocoferoles y la xantofila, precursores de vitamina A; y a la vez es completamente carente en otras como las vitaminas C y D.

Su distribución en la cariósida no es homogénea ya que se localiza casi toda en la capa externa, por lo que se encuentra en gran parte en el producto de desecho de la molienda; como ejemplo el 24 % del total de la tiamina se encuentra contenido en el endospermo, el 13 % en el germen y el 61 % en otras capas (Quaglia, 1991).

Enzimas

Las enzimas son sustancias de naturaleza proteica, que se definen como catalizadores biológicos ya que participan en el desarrollo de reacciones de naturaleza bioquímica; por eso estando presente en pequeña cantidad en la cariósida del grano, tienen una importancia fundamental en las características tecnológicas de los productos derivados (Quaglia, 1991).

La enzima más importante del trigo es la amilasa que está presente en el embrión del grano. La α -amilasa es una endoenzima que degrada los enlaces glucosídicos α -1,4, de forma, más o menos, al azar. El resultado de esta acción enzimática, es la disminución rápida del tamaño de las moléculas del almidón y con ello la reducción de la viscosidad de la solución de almidón o de la suspensión. Mientras la alfa-amilasa produce tanto dextrina como maltosa, la beta-amilasa produce sólo maltosa (Pomeranz, 1988).

La amilasa tiene importancia tecnológica, ya que, produce azúcares reductores, permitiendo por consiguiente la fermentación. La alfa amilasa contenida naturalmente

en la harina de trigo, es muchas veces insuficiente, sobre todo si el grano se ha cultivado en un clima seco, por lo que es necesario añadir a la harina malta particularmente rica en tal enzima. Las proteasas o proteinasas se encuentran en los cereales maduros y sanos, sus niveles de actividad son relativamente bajos, actúan sobre la proteína formando polipéptidos y aminoácidos, tal fenómeno presenta un aspecto negativo desde el punto de vista tecnológico, en los productos de fermentación, ya que no permite la formación del complejo proteico (Quaglia, 1991).

Las lipasas existen en todos los cereales en concentraciones diversas. La actividad lipásica tiene importancia porque los ácidos grasos libres son susceptibles al enranciamiento oxidativo. El aumento de los ácidos grasos libres observable durante el almacenamiento de la harina se debe también a las lipasas procedentes del metabolismo de los microorganismos presentes en la harina que son inactivadas por tratamiento térmico y de este modo se evita el deterioro de la calidad.

La fitasa es una esterasa que hidroliza el ácido fítico. El ácido fítico es el ácido inositol hexafosfórico; la enzima lo transforma en inositol y ácido fosfórico libre. Un 70-75 % del fósforo de los cereales se presenta al estado de ácido fítico, del cual se cree que forma un quelato con iones divalentes que evita que sea absorbido en el tracto intestinal. Por esta razón la actividad enzimática resulta importante ya que convierte un producto desventajoso en inositol (una vitamina del complejo B), y nutrientes (Belitz, 1988).

I.2.3 Molienda del trigo

La molienda del trigo tiene por objeto separar el endospermo del salvado y del germen y reducirlo a harina. Este proceso se divide en cuatro etapas principales:

-Recepción y almacenamiento del grano: El grano de trigo contiene distintas cantidades de impurezas de diferente tipo y tamaño. El objetivo de la limpieza es reducir al mínimo estas impurezas. Para ello se utilizan diversos equipos, casi todos ellos basados en las diferencias de densidad y tamaño entre el trigo y sus contaminantes.

- *Acondicionamiento del grano de trigo*: El acondicionamiento consiste en añadir agua al grano seco por medio de un pulverizador y dejarlo reposar durante un período de tiempo, antes de molerlo. El atemperado tiene dos funciones principales.

a. Poner correoso al salvado para que se resista a ser dividido en pequeños trozos durante la molturación.

b. Ablandar o suavizar el endospermo.

El efecto del agua en el endospermo es ablandarlo, ya que debilita el enlace proteína-almidón, que es el responsable de la dureza del grano.

-*Molienda del trigo y producción de harinas y subproductos*: En el proceso de molienda el primer objetivo es la separación del salvado y el germen del endospermo. Esto se consigue en su mayor parte en el sistema de fragmentación del molino. Después de hacer la separación, el objetivo siguiente es reducir el endospermo al tamaño de la harina (Dizionario di tecnica molitoria, 1980).

-*Envasado, almacenamiento y expendio*. La calidad panadera del trigo está fuertemente influenciada por la variedad y por las condiciones de desarrollo y cultivo (clima, localización, etc); como así también por las condiciones y duración del almacenamiento de la harina.

El molinero mezcla distintas calidades de trigo para lograr harinas con determinada proporción de gluten de comportamiento conocido, a fin de que el panadero pueda elaborar siempre la misma calidad de pan (Christensen, 1982).

I.2.4 Composición de la harina de trigo

Según el artículo 661 del Código Alimentario Argentino (CAA); con la denominación de harina, sin otro calificativo, se entiende: el producto obtenido de la molienda del endosperma del grano de trigo que responda a las exigencias de éste. Las harinas tipificadas comercialmente con los calificativos: cuatro ceros (0000), tres ceros (000), dos ceros (00), cero (0), medio cero (1/2 0), harinilla de primera y harinilla de segunda, corresponderán a los productos que se obtienen de la molienda gradual y metódica del endosperma en cantidad de 70-80 % del grano limpio.

Las harinas tipificadas comercialmente con los calificativos anteriormente mencionados deberán responder a las siguientes características como se muestran en Tabla I.3:

Tabla I.3
Tipificación de Harinas

Harina tipo	Humedad g/100 g Máximo	Cenizas g/100g Máximo	Absorción ml/100g	Vol. de pan cc/100 g Mínimo
0000	15,0	0,492	56-62	550
000	15,0	0,650	57-63	520
00	14,7	0,678	58-65	500
0	14,7	0,873	60-67	475
½ 0	14,5	1,350		

La humedad será determinada en condiciones tipificadas a 130 ° C durante 1 hora.

Las cenizas serán determinadas a 900-920 ° C y calculadas sobre producto seco, admitiéndose una tolerancia de hasta el 3 % sobre los valores establecidos.

Por absorción de agua se entiende la cantidad de agua que absorben 100 g de harina.

Por volumen de pan se entiende el volumen de pan que se obtiene con 100 g de harina.

Su composición debe ser: Hidratos de Carbono: 74-76 %; Proteínas: 9-11 %; Lípidos: 1-2 %; Agua: 11-14 % y Minerales: 1-2 %.

1. Hidratos de Carbono: Almidón

Es el componente principal de la harina. Es un polisacárido de glucosa, insoluble en agua fría pero aumentando la temperatura experimenta un ligero hinchamiento de sus granos. El almidón está constituido por dos tipos de cadenas:

Amilosa: polímero de cadena lineal.

Amilopectina: polímero de cadena ramificada.

Junto con el almidón, vamos a encontrar unas enzimas que van a degradar un 10 % del almidón hasta azúcares simples, son la alfa y la beta amilasa. Estas enzimas van a degradar el almidón hasta dextrina, maltosa y glucosa que servirá de alimento a las levaduras durante la fermentación (Büskens, 1981).

2. Proteínas: Gluten

Entre las harinas de cereales, solamente las de trigo tienen la habilidad de formar una masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gas y rendir por cocción un producto esponjoso. Esta capacidad se atribuye fundamentalmente a las proteínas de trigo, y más concretamente a las proteínas que forman el gluten (Cheftel y Cheftel, 1983).

El gluten es un complejo de proteínas insolubles en agua, que le confiere a la harina de trigo la cualidad de ser panificable. Está formado por dos grupos principales de proteínas: gliadina (una prolamina) y glutenina (una glutelina).

Las gliadinas son un grupo amplio de proteínas con propiedades similares. Su peso molecular medio es de unos 40.000 Dalton, son de cadena simple y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas. Tienen poca o nula resistencia a la extensión y parecen ser las responsables de la cohesión de la masa. Es responsable de la extensibilidad de la masa.

Las gluteninas son un grupo heterogéneo de proteínas. Son de cadenas ramificadas y su peso molecular oscila entre unos 100.000 Dalton y varios millones. Físicamente la proteína es elástica, pero no cohesiva. La glutenina confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión. Son las encargadas de la fuerza o tenacidad de la masa.

La determinación del valor del gluten puede aplicarse para el seguimiento de la calidad de la harina, permitiendo evaluar la cantidad y calidad del gluten de trigo en diferentes etapas de la cadena industrial (Cheftel y Cheftel, 1983).

La cantidad de gluten presente en una harina es lo que determina que la harina sea “fuerte” o “floja”. La harina fuerte es rica en gluten, tiene la capacidad de retener mucha

agua, dando masas consistentes y elásticas, panes de buen aspecto, textura y volumen satisfactorios.

La harina floja es pobre en gluten, absorbe poco agua, forma masas flojas y con tendencia a fluir durante la fermentación, dando panes bajos y de textura deficiente. No son aptas para fabricar pan pero si galletas u otros productos de repostería (Büskens, 1981).

3. Lípidos

El contenido de grasas depende del grado de extracción de la harina. Mientras mayor sea su contenido en grasa más fácilmente se enranciará (Büskens, 1981).

4. Agua

El contenido de humedad de las harinas según el CAA se expresa en base húmeda y varía entre 14,5 y 15,0 %.

5. Minerales: Cenizas

Casi todos los países han clasificado sus harinas según la materia mineral que contienen, determinando el contenido máximo de cenizas para cada tipo. Las cenizas están formadas principalmente por calcio, magnesio, sodio, potasio, etc., procedentes de la parte externa del grano, que se incorporan a la harina según su tasa de extracción (Büskens, 1981).

El contenido de cenizas es uno de los parámetros fundamentales para la tipificación comercial de las harinas comerciales.

I.2.5 Comportamiento reológico

Las diferentes harinas pueden variar considerablemente en su contenido de proteína, cenizas, mezcla, color, etc. Es necesario que los cambios de estas características de una harina a otra sea conocida primero por el panadero (Pylar b, 1973).

Las propiedades reológicas de la masa juegan un papel importante en la calidad del producto y es necesario su determinación para poder prever el comportamiento de los

distintos tipos de harinas durante el proceso de la panificación. Para este fin se utilizan instrumentos cuyo funcionamiento se describe a continuación:

El Farinógrafo

El farinógrafo mide el volumen de agua absorbido por la harina a fin de conseguir una masa de consistencia predeterminada. Se realiza la representación gráfica de la consistencia de la masa frente al tiempo.

Esta determinación nos permite medir el nivel de hidratación de la harina y su comportamiento durante el amasado. Este instrumento mide la consistencia de la masa mediante la fuerza necesaria para mezclarla a una velocidad constante y la absorción del agua necesaria para alcanzar esta consistencia. El principio de la medida se basa en el registro de la resistencia que la masa opone a una acción mecánica constante bajo condiciones de ensayos fijados. Tal resistencia se representa sobre un diagrama de esfuerzo-tiempo a partir del momento de la formación de la masa y durante todo el período de la prueba. El diagrama obtenido reproduce en forma visual el conjunto de características de calidad de la harina. El criterio esencial del farinograma es la determinación exacta de la absorción de agua por la harina, basada en consistencia específica de la masa (Pylar b, 1973).

La curva típica de un farinograma representa la evolución de la calidad viscoelástica de una masa. Esta calidad depende de muchos factores, algunos de ellos son: la naturaleza de la harina, el trigo del que provino, las características físicas y químicas de la harina, el grado de extracción, la madurez y los tratamientos que hubiera recibido (Shuey, 1972).

El Alveógrafo

La determinación alveográfica nos permite tener una importante idea de la calidad del gluten con que cuenta una harina. Esto se realiza obteniendo una delgada lámina de masa a la que se somete a un inflamiento en condiciones estandarizadas. El alveógrafo de Chopin es un instrumento diseñado para medir la extensibilidad y resistencia de expansión de una delgada hoja de masa. Básicamente, el mide la presión obtenida por

una corriente de aire cuidadosamente controlada contra una hoja de masa (Pylar b, 1973).

El principio del alveógrafo consiste en reproducir a escala conveniente y en condiciones experimentales definidas el alveolo panario. Este método reproduce la deformación de la masa bajo la influencia de un impulso gaseoso de origen biológico o químico.

Cuando una harina presenta valores de tenacidad (P) muy altos, esto reflejaría cierta dificultad para retener el CO₂ producidos por las levaduras durante la fermentación de una masa para elaborar pan, es decir que la red o malla formada por el gluten es demasiado cerrada o tenaz.

Cuando son muy altos los valores de hinchamiento (G) o extensibilidad (L), se estaría ante una masa muy extensible para retener CO₂, que no tendría estructura y se deformaría fácilmente.

Debe existir un equilibrio entre el valor de P y G o L. La relación óptima se mide a través de la relación P/L (Shuey, 1975).

El Amilógrafo

Para determinar la actividad de la alfa-amilasa en la producción de la masa se usa un viscosímetro Brabender llamado amilógrafo, que evalúa la calidad de horneado de la harina influenciada por la actividad amilolítica (Pylar b, 1973).

La elevada viscosidad del almidón gelatinizado disminuye por la acción de la alfa amilasa, que ataca los granos de almidón durante el calentamiento.

El valor amilográfico o índice de malta establece el efecto de la alfa-amilasa durante el proceso de panificación (Quaglia, 1991).

I.2.6 Características Panificables de la Harina de Trigo.

El componente más importante de la harina en relación con su uso en panificación es la proteína. Las propiedades de la masa están relacionados al comportamiento viscoelástico del gluten. Las proteínas del gluten como las gliadinas y las gluteninas

están entrecruzadas por puentes disulfuro. Las gluteninas consisten en una mezcla heterogénea de polímeros. Dos clases principales de subunidades de glutenina, la subunidad de alto peso molecular (HMW-GS, High molecular weight glutenin subunits) y la subunidad de bajo peso molecular (LMG-GS, low molecular weight glutenin subunits). (Veraverbeke et al 2000). La subunidad HMW juega un rol importante en la formación del gluten, y numerosos estudios han demostrado la importancia de la estructura y cantidad de las subunidades de HMW para la reología de la masa y la calidad para panificación de los cultivos de trigo (Antes and Wieser, 2001). Las gliadinas, que comprenden aproximadamente el 50 % del gluten, son proteínas monoméricas solubles en alcohol que están interaccionadas, por puentes hidrógeno e interacciones hidrofóbicas (Uthayamakumaran et al 2001).

Dadas sus propiedades físico-químicas, las proteínas de trigo permiten la preparación de una gran variedad de alimentos: los más consumidos son los diversos tipos de pan y las pastas alimenticias. El trigo y el centeno, son los dos únicos cereales cuyas proteínas se prestan bien a la panificación (Cheftel et al 1989).

La calidad de la harina depende de las características intrínsecas, de sus proteínas determinadas por la variedad (genotipo) (Serna-Saldívar, 1996).

Se puede definir la calidad de una harina, como su capacidad para dar un producto final de excelentes características organolépticas como el sabor y el olor, de buen valor nutritivo y de costo competitivo. Con el fin de tener información relativa a la calidad de la harina de trigo o de mezclas de harinas, se determinan analíticamente diversos parámetros cuyos índices óptimos varían en función del tipo de producto que se desee elaborar (Quaglia, 1991). Se ha demostrado que los cambios críticos que tienen lugar durante la panificación determinan la estructura final de la miga y calidad de los productos (Patel et al, 2005).

El contenido y calidad de la proteína (Chacón, 1975; Bushuk, 1998) determinan las propiedades reológicas y panaderas de las variedades de trigo. El contenido de proteína depende de factores agronómicos y ambientales. La calidad del gluten es determinado por el genotipo, y puede ser afectado por condiciones adversas tales como

enfermedades, altas temperaturas y lluvias durante la etapa de maduración, heladas, etc. (Pomeranz, 1988).

Para evaluar la calidad de harinas se usan generalmente tres tipos de análisis: 1) Pruebas fisicoquímicas, 2) pruebas reológicas y 3) panificación. Las propiedades de consistencia de las masas son necesarias como control de calidad de un buen producto final panificable (Gomez, 1989).

Como un indicador de la frescura y aceptabilidad para los consumidores la textura física afecta profundamente el valor de los productos de panadería como el pan. Se realizan mediciones de las propiedades mecánicas para introducir cambios en la calidad, referidos a ingredientes, procesamiento y conservación (Scanlon et al, 2000). Para obtener un pan de gran calidad del pan hay que considerar otros factores como el tamaño de partícula de la harina, el contenido de proteínas o gluten, la cantidad de almidón dañado en la harina y la absorción de agua ya que todos ellos juegan un rol esencial en sus características finales (Bushuk y Hlynka 1964; Kilborn y Tipples 1982; Pylar 1988).

Para obtener propiedades satisfactorias en el proceso de producción de pan, es esencial un apropiado desarrollo del gluten. El punto óptimo de desarrollo de gluten es difícil alcanzar, ya que varía con el tipo de harina usada y es influenciada por factores adicionales como temperatura de masa, velocidad de amasado, absorción de agua, tipo y cantidad de oxidantes, enzimas suplementarias, etc. (Pylar b, 1973).

Las cadenas que forman el gluten interaccionan entre sí o con sustancias (lípidos y glúcidos) formando puentes que crean una red más o menos densa. La densidad y solidez de estos puentes y la elasticidad de la red van a determinar la capacidad que tiene la masa de fermentar o de retener el anhídrido carbónico. Los puentes se derivan de los dos tipos de enlaces: el enlace peptídico como el que se da entre el ácido glutámico y la lisina, y el enlace disulfuro obtenido de la unión de dos moléculas de cisteína por deshidrogenación. Mientras que los enlaces peptídicos dependen del pH del ambiente, la formación de los enlaces disulfuros dependen del potencial de óxido-reducción y en particular de la presencia de oxidantes, que al incrementar la transformación de dos moléculas de cisteína en una de cistina, vuelven a unir de nuevo

las mallas glutínicas (Quaglia 1991). Es conocido además que las propiedades reológicas de la masa y su estructura tridimensional son dependientes de las interacciones sulfhidrilo (SH) y disulfuro (SS) de las moléculas proteicas (Nakamura y Kurata 1997 a).

Por su parte el contenido proteico de cereales es primordial por dos razones: 1) las proteínas son un nutriente para nuestra dieta, son significativas desde el punto de vista nutricional y 2) por las propiedades funcionales siendo por lo tanto el factor más valioso en la calidad de harina para panificación (Hoseney 1998). La calidad de productos de panadería depende de las propiedades reológicas y mecánicas de los componentes de la harina. El gluten contribuye significativamente a las características finales como volumen, uniformidad y textura (Cherian y Chinachoti 1997).

Los agentes oxidantes y reductores afectan las propiedades mecánicas de la masa o del gluten muy fuertemente modificando el estado redox de los grupos sulfhidrilos (SH) y puentes disulfuro (SS) (Larré et al 2000).

El trigo consumido como pan provee más nutrientes a la población mundial que cualquier otra fuente alimenticia. Este es particularmente importante como fuente de carbohidratos, proteínas y vitaminas B y E (Pomeranz, 1987).

I.3 Aditivos

Los aditivos alimentarios los podemos definir como sustancias que se agregan intencionadamente a los alimentos, sin propósito de cambiar su valor nutritivo, con la finalidad de modificar sus caracteres, técnicas de elaboración, conservación y/o para mejorar su adaptación al uso a que se destinen. No son sustancias que posean valor nutritivo y por lo tanto no se pueden considerar como alimentos ni como ingredientes utilizados en la elaboración de alimentos. En un principio se los consideraba como sustancias inofensivas, pero en el transcurso de los años estos compuestos resultaron peligrosos, por producir fenómenos tóxicos a largo plazo (Madrid 1987).

La industria de panificación ha utilizado un amplio rango de agentes químicos para mejorar el rendimiento de la harina y la calidad y vida media de pan, biscochos y tortas.

Los agentes mejoradores son agentes oxidantes y reductores, enzimas, grasas, emulsionantes y otros (Fitchett y Frazier, 1986).

Algunas harinas no tratadas producen panes con pequeño volumen, una estructura de masa abierta, textura rugosa, pobre color de la miga; a veces esto puede mejorarse; los tratamientos o productos de orden químico o biológico que se emplean para tal fin se conocen con el nombre de mejoradores (Calvel 1983).

La calidad de los productos de panificación depende principalmente de las propiedades mecánicas y reológicas de los componentes de la harina. El gluten contribuye significativamente a las características del producto final incluyendo uniformidad y textura. La acción de agentes oxidantes y reductores en las propiedades de la masa ocurre durante diferentes períodos del procesamiento (amasado, horneado, etc), y consecuentemente cambia el desarrollo de la estructura proteica de la masa. Varias interacciones químicas están implicadas en la formación de la masa, incluyendo puente hidrógeno, interacciones electrostáticas, fuerzas de Van der Waals, interacciones hidrofóbicas, y puentes disulfuro (Cherian y Chinachoti, 1997).

Los aditivos han sido utilizados en panificación desde hace mucho tiempo para mejorar las características de manipulación de la masa, la calidad y la vida media (Lang et al, 1992). La adición de agentes oxidantes a niveles óptimos produce un mejoramiento de las propiedades y calidad del pan (Yamada and Preston 1994). Cuando las masas de harinas moderadamente maduras son tratadas con pequeños incrementos de tales agentes oxidizantes como el bromato de potasio o el iodato de potasio, ellas se vuelven más elásticas, más compactas y menos pegajosas que las masas no tratadas. El pan resultante tiene un buen volumen y su textura es suave y aterciopelada. En cambio cuando se agrega demasiado agente oxidante, resulta una sobreoxidación. El pan hecho con tales masas tiene un pequeño volumen, su miga exhibe muchas células rotas y puede tener grandes agujeros (Pylar a, 1973).

1.3.1 Oxidantes

El papel de los componentes naturales de la harina en la formación de las masas, en su fermentación y en la cocción ha constituido siempre un papel dominante en las

investigaciones de este sector; técnicas de fraccionamiento y de recomposición han permitido correlacionar la calidad funcional de las harinas con las propiedades químicas de sus componentes.

A este respecto se ha observado que el volumen del pan depende principalmente del contenido proteico de la harina, y en especial de las fracciones proteicas que en la fase de amasado dan lugar a la formación del gluten.

Además, las harinas reconstituidas con fracciones proteicas enriquecidas en gliadina pero escasas en glutenina tienen un comportamiento diferente en la panificación. En efecto, las fracciones de pH más alto y por consiguiente ricas en gliadina y escasas de glutenina provocan una reducción apreciable del tiempo de amasado y de absorción de agua y un aumento de las necesidades de oxidantes.

Por otra parte, el mayor contenido en gliadina de las fracciones insolubles, al aumentar el pH influye en el volumen del pan obtenido, que es máximo como consecuencia de la mayor concentración de gliadina.

Como conclusión, las proteínas de la gliadina que se encuentran en la harina son responsables del volumen potencial del pan y en cambio las de la glutenina regulan el tiempo de amasado de la harina por lo que una justa proporción de ambas, nos dan las condiciones ideales para la harina orientada a la panificación (Quaglia, 1991).

La Industria de la panificación adopta a diario cambios a efectos de mejorar la calidad de la harina y ha modificado procesos durante un largo tiempo. Por una cuestión de seguridad se considera inconveniente el uso del bromato de potasio, además en algunos países como Argentina la legislación prohíbe su uso, por lo que la industria busca otros productos que reemplacen la funcionalidad del bromato de potasio (Allen 1999). Algunos agentes oxidantes utilizados son: ADA y ácido ascórbico. Mientras el efecto es esencialmente el mismo, el mejoramiento de las características físicas de la masa, no es idéntico, así que se debe hacer la selección del oxidante adecuado para diferentes tipos de harinas, distintas etapas de amasado y fermentación, calidad del agua, etc. (Pardo 1985). La oxidación incrementa principalmente la fuerza de la masa (Miller y Hosney 1999).

Las interacciones fisicoquímicas entre varios componentes contribuyen a la calidad de los alimentos. Por ejemplo el ácido ascórbico ha sido usado como un antioxidante en

el procesamiento y preservación de alimentos y además juega un importante rol en la modificación de las propiedades reológicas de algunos de ellos, ha sido usado por esta razón en la industria de la panificación (Nakamura y Kurata 1997 a y b).

Se sugirió que los mejoradores oxidantes pueden formar puentes SS proteína-proteína, la primera reacción resulta en la rotura de la masa y la reacción posterior resulta en la reconstrucción de estructuras proteicas complejas. La remoción de grupos SH de la masa a través de reacciones con oxidantes químicos como el iodato o el bromato, o por la reacción de agentes bloqueantes como N-etilamida generalmente mejoran la masa, presumiblemente evitando la rotura de los puentes SS (Yamada y Preston 1992).

El componente L- Acido Ascórbico (LAA) fue aislado primero de los jugos de frutas en 1928 y sintetizado químicamente cinco años después. Es un sólido cristalino, que es oxidado en solución por el oxígeno atmosférico. Luego se reconoció la acción mejoradora del ácido ascórbico en la masa de pan, que actuaba de manera contraria a otros agentes reductores que tendían a ablandar la masa (Jorgensen, 1935). En 1938 Mellville y Shattock explicaron que el LAA de jugo de limón fue también efectivo, lo cual permitió determinar al Acido dehidroascórbico (DHLAA) y llegar a la conclusión de que esta forma era la responsable de la acción mejoradora (Fitchett y Frazier, 1986).

A medida que se va adicionando ácido ascórbico a la harina, ésta reacciona en presencia de la enzima ácido ascórbicoxidasas de la harina, con pérdida de dos átomos de hidrógeno y formación de agua y ácido dehidroascórbico que es un agente oxidante. (Mellville y Shattock; 1938; Meredith, 1965). Este oxidante reacciona sucesivamente con los grupos sulfidrilos de una harina débil representada por RSH, bajo la acción de la ácido-dehidroascórbico reductasa presente en la harina, se transforman en grupos disulfuros que caracterizan la tenacidad del gluten (Lu y Seib 1998; Kaid et al 1997; Every et al 1996). El ácido dehidroascórbico es inestable y se descompone rápidamente perdiendo su actividad. Por lo tanto es necesario que la reacción del ácido ascórbico pasando a ácido dehidroascórbico se produzca sólo durante el amasado. Un método interesante para prevenir el desarrollo prematuro de esta reacción, consiste en encapsular el ácido ascórbico en grasas con elevado punto de fusión.

El ácido dehidroascórbico, por medio de una enzima específica, oxida la cisteína a cistina aumentando el número de puentes entre las proteínas y volviéndose a transformar en ácido L-ascórbico. De este modo las cadenas polipeptídicas se refuerzan y forman un tejido reticular más denso y aumentan la capacidad de retención del gas que se producen durante la fermentación de la masa (Quaglia, 1991). Se usa prácticamente en todo el mundo y la dosis tiene que ver con la calidad del gluten, así si el gluten es fuerte y tenaz, se agrega menos que si el gluten es blando y elástico. La acción del ácido ascórbico se hace sentir en varias propiedades:

- Refuerza las propiedades físicas, aumentando su tenacidad.
- Disminuye la viscosidad haciéndola menos pegajosa.
- Mejora la tolerancia al empuje en la fermentación, permitiendo obtener masas más levantadas y por lo tanto panes más voluminosos.
- Actúa por oxidación, no provoca el blanqueo ni tampoco variaciones en el gusto del pan.
- Acelera notablemente la maduración, hecho que junto a un amasado intensivo reduce en gran medida la primera fermentación, y hasta puede llegarse a suprimirla, si se agrega una dosis de refuerzo de ácido ascórbico. Esta reducción de la primera fermentación trae una ventaja desde el punto de vista práctico ya que permite la utilización de medios mecánicos modernos para el moldeado y la división.
- Tiene una tendencia a hacer aumentar la duración de la segunda fermentación, ya que tiende a frenar la actividad fermentativa (Wikström y Eliasson 1998).
- Se lo utiliza exitosamente en los procesos fermentativos de larga duración ya que puede frenar la actividad de las enzimas proteolíticas. Así en fermentaciones de 12 a 18 horas hasta se puede aumentar la dosis de ácido ascórbico.
- Juega su rol en la coloración de la corteza, disminuyendo su intensidad. Así en la panificación con harinas hiperdiastásicas, se pueden poner dosis de refuerzo de ácido ascórbico a fin de disminuir la tendencia rojiza de la corteza (Calvel 1977).

Otro oxidante es Azodicarbonamida (ADA) el cual es un mejorador de más reciente aplicación. Fue introducido en 1962 bajo el nombre de "Maturox". Recién en 1972 fue aceptado con prudencia su uso en el Reino Unido después de realizar

considerables estudios sobre su acción. ADA es bastante insoluble en agua, un hecho que parece contrario a su acción rápida.

Los estudios sobre su acción química (Tsen y Bushuk, 1963) identificaron que este mejorador fue efectivo oxidando los grupos tiol (SH) a disulfuro (SS). Su acción es formar una masa seca, cohesiva, que pueda tolerar una absorción alta de agua mientras resulta un pan de buena textura y volumen. A diferencia de otros mejoradores, ADA no destruye las vitaminas de la harina, actúa extremadamente rápido convirtiendo los grupos SH en SS, así se fortalece la masa y deja un residuo inofensivo y aceptable, la biurea. Tsen (1963) sugirió que el ADA es un reemplazante ideal para el iodato –un mejorador de acción rápida que es menos aceptado como aditivo alimentario (Fitchett y Frazier, 1986).

I.3.2 Reductores

Las endopeptidasas y los agentes reductores como metabisulfito y L-cisteína producen una acción de ruptura de enlaces; en el primer caso es sobre las uniones peptídicas internas de las proteínas del gluten, y en el segundo es sobre las uniones disulfuro; en ambos casos se produce un aumento de la extensibilidad del gluten pero por vías de acción totalmente diferentes (Osella et al 1995). La particular acción de la L-cisteína genera una reducción del tiempo de mezclado de la masa a causa de la disminución de la fuerza elástica de la matriz del gluten (Lang et al., 1992; Dreese et al., 1988). Esta disminución se debe a que teóricamente las interacciones proteína-proteína a través de puentes covalentes disulfuro pueden ser rotas por el agregado de cisteína (Lambert y Kokini 2001).

El uso del aminoácido L-cisteína como un agente reductor que podía acelerar el desarrollo de la harina de trigo, fue patentado en 1962.

La L-Cisteína juega un papel importante en la modificación de las propiedades reológicas de la masa, actuando como un agente reductor. Teóricamente el agregado de este aditivo puede romper las uniones disulfuro entre las proteínas por intercambios tiol-disulfuro, causando dispersión de las uniones disulfuro (Lambert y Kokini, 2001; Manley, 1983; Linko, 1985; Fitchett y Frazier, 1986). Los cambios que ocurren no se

conocen con certeza. Las propiedades reológicas, las cuales son muy sensibles a las transformaciones químicas, pueden servir para entender las transformaciones que se producen. La relación es significativa porque los cambios químicos afectan las propiedades mecánicas y la textura (Ledward y Mitchell 1988; Stanley 1989, Wasserman et al 1992).

Varias investigaciones proponen que los puentes disulfuro y las interacciones hidrofóbicas juegan un rol transcendental en el procesamiento, desarrollo y textura de los productos (Areas 1992; Martínez-Serna y Villota 1992; Strecker et al 1995; Li and Lee 1996 a,b).

La cisteína, un aminoácido que contiene grupos SH, puede actuar como un agente reductor y como radical libre durante el procesamiento de la harina de trigo (Stauffer 1990; Koh et al 1996; Li and Lee 1996 a, b). Teóricamente, las interacciones proteína-proteína pueden ser rotas por el agregado de cisteína. En todos los casos, los cambios en la estructura de las proteínas del trigo debe verse reflejada en las propiedades reológicas de la masa (Lambert y Kokini, 2001).

La L-cisteína no puede sola producir el desarrollo de la masa y el proceso incluye agentes oxidantes como el bromato y el ácido ascórbico para oxidar las uniones disulfuro rotas y formar otras nuevas que sean reológicamente efectivas (Fitchett y Frazier 1986).

Otra acción reductora también muy efectiva, es la generada por la presencia de iones sulfito a través de la incorporación de metabisulfito de sodio (Na_2HSO_3) el que se encuentra en equilibrio con sus iones sulfito que serían finalmente los responsables de la ruptura de las uniones disulfuro y consecuentemente de la pérdida de la elasticidad del gluten (Fitchett y Frazier, 1986; Bloksma y Bushuk, 1988).

I.3.3 Otros

I.3.3.1 Surfactantes

Se ha estudiado que los surfactantes tienen un efecto mejorador en la tolerancia de la masa a los abusos mecánicos durante el procesamiento. Esta tolerancia es

particularmente evidente en las masas hechas con harinas más débiles (Junge et al, 1981)

Monoglicéridos: Los Monoglicéridos han sido utilizados por los panaderos desde hace más de 40 años. Está bien conocido su efecto retardador del endurecimiento del pan, por lo menos en parte, debido a la habilidad de los monoglicéridos de entrar a los gránulos de almidón y formar un complejo con la amilosa (Knightly, 1968).

En la industria existen algunas controversias pertinentes a la forma óptima de los monoglicéridos para los propósitos de la panificación. Los monoglicéridos pueden ser obtenidos en una forma plástica, absorbidos con la harina, como polvo finamente dividido y como hidratos. La forma como se comercializan está influenciada por la distribución de ácidos grasos. Los monoglicéridos más duros por su mayor punto de fusión son vendidos como polvo o como hidratos (Doerfert 1968; Knightly, 1968).

DATEM: Se demostró que este emulsionante incrementa la resistencia y disminuye la extensibilidad de la masa (Stampfly et al, 1996; Ravi et al, 2000). Jacobsberg et al (1976) postularon que facilita la interacción de los lípidos con las proteínas y el almidón. Las ventajas más reconocidas de su uso son el incremento del volumen y la mejor estructura de la miga (Junge et al 1981; Kokelaar et al 1995; Mettler et al 1992; Ravi et al 2000; Campbell et al 2001).

Lecitina y Estearoil lactilato de sodio (SSL): Son emulsionantes muy utilizados en panificación, en rangos que varían del 0.1 al 0.5 %. La lecitina incrementa el volumen y produce una miga más fina y regular. Es un fosfolípido y se obtiene del aceite de soja. El SSL produce los mismos resultados. Este emulsionante está hecho por una reacción entre el glicerol y un triglicérido utilizando soda como catalizador. SSL es usado frecuentemente en la industria de panificación, produciendo una textura de la miga más suave y fina (Sluimer, 2005).

I.3.3.2 Suplementos enzimáticos

El suplemento con alfa-amilasa usualmente se realiza durante la molienda del trigo (Reed, 1966). El molino le agrega malta para incrementar la actividad amilasa a un nivel óptimo, determinado por éste o especificado por el panadero (Reed, 1963).

El panadero puede seleccionar controlar la actividad amilásica, y puede ser realizado con el agregado de harina malteada, o amilasas fúngicas.

Las proteasas son también usadas en panificación. Los últimos materiales contienen mezclas de proteasas y amilasas

La principal razón del agregado de proteasas a la mezcla convencional es para reducir el tiempo de mezclado y para conseguir una masa más extensible, con buenas propiedades tecnológicas. Esta es agregada por dos razones: permitir un mayor tiempo de reacción en la harina y evitar el efecto inhibitor de la sal que lo ejerce alterando tanto al sustrato como a la enzima (Pyler, 1958).

Las enzimas fúngicas son también usadas en panificaciones continuas (Gross, et al, 1968; Waldt 1965).

Se puede hacer una mención a otros suplementos enzimáticos usados en panificación como las amilasas bacterianas. Esta enzima es bastante termoestable y puede conservar su actividad durante el proceso de panificación. Cuando se usa a niveles muy bajos, ocurren modificaciones en el almidón y se retarda el endurecimiento (Waldt, 1968).

I.3.3.3 Gluten de Trigo

El gluten de trigo tiene típicamente esta composición: 75 % de proteínas, 6 % de humedad, 1 % de cenizas, y 1 % de lípidos. El gluten es un fortalecedor para harinas débiles, y mejora la calidad de los productos terminados (Hale y Carlson, 1969).

Otros usos de este material son para bollos y panes que requieren más fuerza y en panes especiales con altos niveles de ingredientes inertes. Se ha introducido gluten cubierto con lípidos hidrofílicos no iónicos (Landfried y Moneymaker, 1968).

OBJETIVOS

CAPITULO II

OBJETIVOS

II.1 Objetivo general

*Estudiar el efecto de aditivos, combinados de a pares, sobre harinas de trigo, para la elaboración de pan.

II.2 Objetivos específicos

*Seleccionar combinaciones *oxidante-reductor* para el mejoramiento de la calidad del pan de molde a partir de harinas con diferentes características reológicas.

*Optimizar los niveles de las combinaciones *oxidante-reductor* seleccionadas, para el mejoramiento de la calidad del pan de molde, con harinas de características tecnológicas débiles.

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

El esquema de trabajo consistió en llevar a cabo dos etapas:

Etapa 1: Selección de combinación *oxidante-reductor*, panificando harinas con características diferentes, utilizando el volumen específico como respuesta tecnológica.

Etapa 2: Optimización de los niveles *oxidante-reductor* panificando una harina de baja calidad tecnológica, utilizando como respuestas: Consistencia final del amasado, Volumen específico de pan, Puntaje total día 0, día 3 y día 7, Humedad día 0 y día 7, Textura de miga día 0, día 3 y día 7.

III. 1 MATERIAS PRIMAS

Se utilizaron las harinas comerciales cuyas características se detallan en la Tabla III.1

En la Etapa 1 se utilizaron las tres harinas A, B y C, en cambio en la Etapa 2 sólo se utilizó la harina A que fue la que presentó características tecnológicas más débiles. Esto último se manifiesta a través del bajo valor alveográfico de W y del elevado valor de ablandamiento farinográfico.

También se utilizaron los siguientes ingredientes: azúcar refinada comercial, oleomargarina de PF 36° C, sal, leche en polvo, levadura prensada comercial, aditivos oxidantes: ácido ascórbico (Ac Asc) y azodicarbonamida (ADA) y aditivos reductores: Cisteína (Cist) y bisulfito de sodio (Bisulf).

Tabla III.1
Características de las harinas comerciales A, B y C

	<i>Harina A</i>	<i>Harina B</i>	<i>Harina C</i>
Humedad (%)	12.40	11.70	12.60
Cenizas (%bs)	0.78	0.74	0.69
Gluten hum (%)	25.10	27.30	29.00
Farinograma			
Abs. agua (%)	59.10	58.10	61.20
Desarrollo (min)	2.10	2.30	3.00
Estabilidad (min)	3.00	4.10	5.30
Ablandamiento (UB)	140	100	60
Alveograma			
Relación P/L	1.37	1.12	1.38
Energía W	150	205	252
Amilograma			
Pico amilográfico	850	840	950

III. 2 ENSAYOS PARA DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS DE LA MASA.

Para conocer el comportamiento de las harinas en el proceso de panificación es necesario saber las propiedades reológicas (Faubion et al, 1985), ya que éstos incluyen determinaciones de la calidad como las Curvas Alveográficas, Farinográficas que proporcionan información para valorar la fuerza panadera, el tiempo de desarrollo de las masas, absorción de agua y estabilidad o comportamiento de esta durante el amasado.

A continuación se describen los métodos usados.

III. 2.1 Ensayo Farinográfico



El **ensayo farinográfico** fue realizado según método AACC (1994) utilizando el Farinógrafo Brabender.

El farinógrafo consta de dos partes: el aparato propiamente dicho y un termostato que contiene agua a temperatura constante que se usa para introducir líquido mediante una bomba a la camisa de la amasadora para de este modo mantener constante la temperatura a 30 ° C (Shuey, W. 1975). Este análisis se efectúa para una consistencia de masa fija de 500 U.B. (Pylar, 1973b).

Los índices que normalmente se determinan con el análisis farinográfico son:

- la absorción de agua (%)
- el desarrollo de la masa (min);
- la estabilidad (min)
- el ablandamiento (UB).

La absorción de agua se calcula en la prueba preliminar y representa la cantidad de agua necesaria para alcanzar una consistencia de 500 U.B.

El desarrollo de la masa, es el tiempo necesario para alcanzar la máxima consistencia. En una harina fuerte, este período puede ser notablemente largo.

La estabilidad es el intervalo de tiempo durante el cual la masa tiene la máxima consistencia y se mide por el tiempo entre la intersección de la línea 500 con la curva en el ascenso y en el descenso.

El ablandamiento, representa la diferencia entre la máxima consistencia y la que se obtiene después de 20 minutos (Quaglia, 1991).

En los farinogramas, el desarrollo y la estabilidad son los parámetros que denotan con más evidencia el efecto del tipo de aditivo. Ambos disminuyen a medida que se tiene mayor proporción de proteasa en la mezcla. Este hecho nos indicaría que hay un debilitamiento de la estructura interna de la masa, especialmente del gluten, cuando crece la proporción de proteasa en la harina (Osella, et al, 1995).

III. 2. 2 Ensayo Alveográfico



El **ensayo alveográfico** fue realizado según método AACC (1994).

El Alveógrafo de Chopin es un instrumento diseñado para medir la extensibilidad y resistencia de expansión de una delgada hoja de masa. Básicamente, mide la presión obtenida por una corriente de aire debidamente controlada contra una hoja de masa (Pylar, 1973 b). Es similar al extensógrafo; para su utilización la masa se elabora formando pequeños discos redondos, planos, que se ponen sobre una plancha donde se les inyecta aire a presión, y se

forma una burbuja hasta llegar al punto de rotura. Las partes principales son: 1) el depósito con agua, el cual cuando se traslada de soporte permite al agua dar la presión para inflar la burbuja; 2) la ampolla de vidrio donde llega el agua que proviene del depósito. Esta ampolla está calibrada en mm y se puede medir la cantidad de agua necesaria para romper la burbuja (la velocidad de salida de agua hacia la ampolla recogedora, se regula por un capilar introducido en el recorrido); 3) la placa del soporte donde está la masa cuando se ensancha la burbuja. Esta placa contiene además una tapa móvil para dar a la masa el espesor deseado 4) un manómetro de control que registra la presión del aire necesaria para producir la burbuja (Quaglia, 1991).

Una curva típica obtenida por este instrumento muestra que la resistencia de la masa es más grande al principio del test, resultando en un crecimiento vertical de la curva hasta un punto P. Esta presión inicial es atribuida a la necesidad de orientación de las fibras de gluten siguiendo la masa. Al punto máximo de presión las fibras de gluten son forzadas a alineamientos paralelos y comienzan a estrecharse y a pasar uno a otro con más facilidad. El resultado es una rápida declinación de la curva, seguida por una más gradual declinación hasta que la burbuja explota en un punto M. La altura es indicativa de la fuerza de tensión de la masa o estabilidad en su punto inicial (Pylar, 1973 b).

Las lecturas obtenidas de un alveograma son similares a las del extensograma, es decir:

- altura máxima de la curva (P), similar a la resistencia al estiramiento.
- longitud de la curva (L), correspondiente a la extensibilidad;
- área bajo la curva (W), correspondiente al área del alveograma.

El alveograma muestra una elevada correlación con el contenido proteico de la harina o del grano: es mayor el contenido proteico cuanto más alta es la altura de la curva. Si bien no tiene una exacta correspondencia entre alveograma y extensograma, si se puede obtener, a través de estas determinaciones, información relativa a la propiedad mecánica de la masa y su estado de oxidación. La extensibilidad de la masa tendría una correlación con el volumen del pan (Faridi, H. y Rasper, V. 1987).

III.2.3 Ensayo Amilográfico



Es un instrumento que determina la consistencia de una suspensión agua-harina en función de la temperatura. De este modo es posible valorar la actividad amilolítica de una harina o de un preparado a base de alfa-amilasa.

La elevada viscosidad del almidón gelatinizado viene determinada por la acción de la alfa-amilasa, que ataca a los granos de almidón durante el calentamiento. El valor amilográfico o índice de malta establece el efecto de la alfa amilasa durante el proceso de panificación (Crossland y Favor, 1948).

La curva típica trazada por el amilógrafo permite la siguiente lectura en una suspensión de agua-harina:

1. Temperatura en la cual comienza la gelatinización
2. Altura de la curva. La altura de la curva es un indicador importante del tipo de miga que puede ser esperado. Las experiencias demuestran que una curva demasiado alta, lo cual corresponde a una consistencia elevada, nos producirá una miga que endurecerá rápidamente. Cuando una curva es demasiado baja, lo cual resulta de una excesiva actividad de

alfa amilasa, es normalmente indicativa de una miga húmeda. El mejor tipo de miga se obtiene con una curva de altura mediana.

3. Susceptible de adiciones de enzimas. Incrementos tan pequeños como 0,03 % producirán cambios reconocibles en las curvas (Pylar b, 1973).

Además de un amilógrafo estándar que requiere 45 minutos para la determinación, existe en el comercio una especie de amilógrafo rápido capaz de hacer la prueba en pocos minutos. Los resultados obtenidos con los dos instrumentos son bastantes confrontables. La propiedad gelatinizante de la harina viene determinada por la diferencia de alturas del máximo de consistencia y de la sucesiva licuefacción del almidón.-

El amilógrafo en definitiva da información sobre la calidad del almidón y el contenido de enzimas de una harina.

El amilógrafo, mediante la valoración de la propiedad gelatinizadora de la harina permite saber con anterioridad la estructura de la miga, la eventual necesidad de añadir harinas especiales, aditivos diastásicos, malta y derivados, determinando también la aptitud en la conservación del producto final. (Shuey, 1972).

III. 3 DETERMINACIONES QUÍMICAS

III. 3. 1 Humedad

Este método determina el contenido de humedad que se mide por la pérdida de peso que experimenta una muestra cuando se calienta bajo determinadas condiciones.

Se determina el contenido de humedad en la harina y en los panes al día 0 y 7 de elaboración. La estufas mantiene uniformemente la temperatura Se utilizan estufas de 30 ° C y de 130 ° C.

Se cortan 2 rodajas de pan, pesarlas y colocarlas en cámara durante 24 hs.a 30 ° C.Pesarlas nuevamente, moler la muestra y transferir 2-3 g de ésta a dos o más cápsulas. Pesar y colocar en estufa a 130 ° C durante 60 minutos, posteriormente llevar a desecador durante 20 minutos. Registrar el peso de la muestra y calcular la humedad perdida con las siguientes ecuaciones:

Cálculos

Ecuación 1 (paso 1 y 103 ° C)

% Humedad: $A/B * 100$

En el cual A= humedad perdida en gramos, B= peso original de la muestra.

Ecuación 2 (paso dos)

$\% \text{ Sólidos Totales} = Y * Z / X$

Donde X peso de la muestra original usada para el secado en aire, Y= peso de la muestra después del secado en aire, Z= % sólidos totales en la muestra (100 %- % humedad después de 1 h en estufa a 130 ° C) (Oxley, and Pistón 1960 a y b; U.S. Department of Agricultura, 1971).

III.3.2 Cenizas

La determinación de cenizas es referida como el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento.

El contenido de cenizas de los alimentos fue realizado por el método ICC N° 104-IRAM 15851 que tiene el siguiente procedimiento: se pesan 3g de grano ó 5 g de harina y se colocan en cápsulas de porcelana o platino previamente pesadas. Se incinera en mufla a 920° C durante 2 horas con ligera ventilación dada por el orificio de la puerta de la mufla. Luego se enfrían en el desecador con Silica Gel o Cl_2Ca y se pesan. La diferencia de peso de las mismas permite calcular el contenido de cenizas referido a sustancia seca y expresada en porcentaje (Ranganna, S. 1977).

III.3.3 Gluten

El gluten constituye la fracción no soluble de las materias nitrogenadas presentes en la harina y si bien su determinación no puede dar el porcentaje total de estas materias, puede proporcionar en cambio, las siguientes indicaciones muy útiles sobre el valor panadero de la harina:

- la cantidad de gluten seco
- el coeficiente de hidratación (el porcentaje de agua presente en el gluten húmedo está en relación con la cantidad de agua que agregará el panadero durante el amasado.
- las características del gluten: firmeza, elasticidad, tenacidad.

Las características plásticas del gluten tienen una gran importancia: no es suficiente que una harina contenga un gran porcentaje de gluten para poseer un buen valor panadero: también es necesario que éste sea relativamente firme, y a la vez elástico y tenaz (Calvel, 1983).

Para realizar la determinación de gluten, se pesan 25 g de harina y se adicionan 12-13 ml de solución de cloruro sódico al 2 % para obtener una masa homogénea, que se deja reposar aproximadamente media hora en un recipiente tapado con un vidrio de reloj.

Después se separa el gluten del almidón mediante lavado con agua, tal operación puede realizarse con un ligero chorro de agua del grifo o con un aparato automático.

El gluten húmedo se pesa y su peso referido a cien partes de sustancia seca se divide por tres, asumiendo que el gluten seco es la tercera parte del húmedo (Shuey 1975).

III.4 FORMULACIÓN UTILIZADA EN LA PANIFICACIÓN

Se utilizó la siguiente formulación: harina de trigo 300g, azúcar 18 g, levadura 15 g, grasa 9 g, leche en polvo 6 g , sal 6 g , aditivos en cantidades variables y la cantidad de agua necesaria para alcanzar las 600 unidades Brabender en el test farinográfico (Tosi et al, 2002).

III.5 PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN DE PAN.

El ensayo de elaboración de pan de molde se realizó siguiendo el siguiente orden:

AMASADO

El amasado es la primera operación de la panificación propiamente dicha; asegura la mezcla íntima de las materias primas y el desarrollo del gluten.

Durante mucho tiempo fue llevado a cabo manualmente. En la actualidad, se hace únicamente con amasadoras mecánicas.

La mezcla de estos ingredientes se amasa para:

- a) dispersar los ingredientes uniformemente.
- b) incorporar aire a la masa.
- c) provocar el “desarrollo de la masa”, esto es la formación de una red tridimensional de gluten que contenga al almidón. La cantidad de proteína no puede ser menor que 7 %.

La duración completa del amasado depende del tipo de máquina amasadora utilizada y de las características de la harina: harinas fuertes necesitan más tiempo de amasado que las débiles; también el tipo de amasadora influye en la duración de la operación por las diferentes velocidades y energía suministradas, factores que por tanto repercuten en la eficiencia de la mezcla (Quaglia, 1991).

Todos los ingredientes, a excepción del oxidante, reductor y agua, se mezclaron primero a 60 rpm durante 1 minuto en la amasadora de 300 g del farinógrafo. Se agregó el agua a una cierta temperatura para obtener al final del amasado una temperatura de masa entre 24 y 26 ° C, el aditivo se disolvió en el agua y luego se agregó a la amasadora en movimiento. Se emplearon 10 minutos de amasado a 60 rpm en todos los ensayos. Al concluir el amasado se controló la temperatura de la masa y se tomó el valor de su consistencia de la gráfica obtenida en el farinógrafo.

PRIMERA FERMENTACIÓN

La primera fermentación se hace con el total de la masa, es una fermentación alcohólica provocada por la acción de fermentos que transforman los azúcares presentes en la masa en alcohol y dióxido de carbono. Las principales funciones de la primera fermentación son:

- a) generar gas y aumentar el volumen de la masa
- b) producir aldehídos y ácidos orgánicos, que mejoran el aroma y favorecen la conservación, ya que disminuyen el pH.
- c) Producir una transformación física lenta (trabajo mecánico) que modifica la estructura del gluten.

Las propiedades físicas de la masa van evolucionando durante la fermentación: la elasticidad disminuye y la tenacidad aumenta. La fuerza sirve para definir, en el transcurso de la fermentación panaria, uno de los aspectos de las propiedades físicas de la masa. Es la consecuencia de su evolución durante

la fermentación y se traduce por una pérdida de elasticidad de la masa que está siempre compensada por un aumento de su tenacidad.

El empuje es la traducción en imagen de la fermentación. Es la expresión visual de una actividad que se revela por un desarrollo creciente y continuo de la masa (Calvel, 1983).

La fermentación se lleva a cabo en cámara a humedad constante, a 30 ° C y 0.75 de humedad relativa. La primera fermentación termina cuando la masa duplica su volumen (25 g de masa en medidor de empuje de 1.25 a 2.50 de altura en aproximadamente 40 min.) (Tosi et al, 2002).

MOLDEADO

Luego de cumplida la primera fermentación se cortan trozos de masa de aproximadamente 250 g, se laminan, enrollan y se colocan en moldes para una segunda fermentación. Los moldes de panificación son de 5.5 cm de alto, de 7 x 17.5 cm en la base y de 9 x 18 cm en la parte superior (Tosi et al, 2002).

SEGUNDA FERMENTACIÓN

En la segunda fermentación se produce otro aumento de volumen para conseguir la textura adecuada. El tiempo de prueba termina cuando la masa cuadriplica su volumen inicial, medida por la elevación del medidor de empuje que asciende de 1.50 a 6 (Tosi et al, 2002).

COCCIÓN

La cocción se desarrolla durante 30 minutos en un horno a 215 ± 5 ° C. Durante la cocción se produce la transformación de la masa fermentada en pan. (Calvel, 1983).

III.6 EVALUACIÓN DE LOS PANES

III.6.1 Volumen específico

La determinación de volumen específico se realiza por el método de desplazamiento de semillas (Tosi et al, 2002).

III.6.2 Evaluación sensorial

Los panes fueron evaluados 1 hora después de su elaboración por un jurado compuesto por tres individuos entrenados con más de 20 años de experiencia en panificación de acuerdo a una escala estructurada (Osella, 1995). Cada experto examinó cada muestra una vez. Los resultados de las corridas triplicadas fueron analizadas estadísticamente por el test de rangos múltiples de Duncan (Tosi et al, 2002).

La evaluación del producto consiste en comparar las características físicas y organolépticas del pan frente a lo que se considera un patrón hipotético.

Las características que se evalúan son: Volumen, corteza, textura, color de la miga, estructura, aroma y sabor.

A cada una de ellas se le otorga un puntaje, de manera que la suma de todas (Puntaje total) en el caso óptimo, da 100 puntos.

VOLUMEN: Es el espacio ocupado por el pan y medido por desplazamiento de semillas. En base a este dato y al peso, se determina el volumen específico en cc/g. volumen del pan constituye uno de los factores más importantes de la fuerza potencial de la harina, porque demuestra la capacidad de expansión del gluten por medio de la gasificación producida por la levadura en contacto con los azúcares y, al mismo tiempo, la capacidad de mantener este gas durante todo el tiempo de dicha expansión.

CORTEZA: El aspecto de la corteza del pan debe ser dorado y brillante, debe presentar además un espesor apropiado y los cortes deben abrir bien y regularmente para darle simetría a la pieza.

TEXTURA: Se evalúa a través del grado de suavidad y elasticidad de la miga. Se la aprecia por medio del tacto ejerciendo presión sobre la miga y estableciendo si es áspera, o suave, elástica o rígida, etc.

COLOR DE LA MIGA: El color deseable de la miga es blanco crema y depende principalmente del color natural del endospermo del trigo y de las partículas de salvado e impurezas que se encuentran en la harina.

Este parámetro debe medirse sobre el pan recién cortado, ya que la miga tiende a oscurecerse después del corte.

ESTRUCTURA: Es el alveolado de la miga. Puede presentar celdas regulares o de distinto tamaño, pueden ser redondas o alargadas y con paredes finas o gruesas.

AROMA: Se determina aspirando sobre un pan recién abierto por la mitad.

SABOR. Se establece llevando una porción de miga a la boca. Esta determinación del sabor se ve complementada por el aroma, dado que el evaluador reacciona ante el efecto combinado.

La evaluación sensorial se efectúa según los siguientes puntajes máximos: volumen 15, corteza 15, textura de la miga 15, color de miga 10, estructura 10, aroma 15 y sabor 20 (Tosi et al, 2002)

La calificación final del pan es la siguiente: excelente: 90-100; muy bueno: 80-90; bueno: 70-80; regular: 60-70; malo: 50-60; muy malo: 40-50 puntos (Tosi et al, 2002)

III.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

III.7.1 Diseño experimental y análisis estadístico para la Etapa 1.

En la mayor parte de los problemas reales, son numerosos los factores que pueden afectar a los resultados. En estas situaciones el enfoque tradicional, consistente en ir estudiando uno a uno de forma secuencial los efectos de cada factor, es completamente desaconsejable, debiéndose en su lugar recurrir a las técnicas de Diseño de Experimentos, cuyo soporte estadístico es la técnica del Análisis de la Varianza (ANOVA) (Romero y Zunica, 1996).

Los diseños factoriales son sumamente útiles porque permiten al investigador evaluar los efectos de cada variable independiente sobre la dependiente por

separado y los efectos de las variables independientes conjuntamente, o sea la interacción entre estas variables independientes.

La interacción es un efecto producido sobre la variable dependiente, de tal manera que el efecto de una variable independiente deja de permanecer constante a través de los niveles de la otra. El efecto de interacción está presente si el efecto conjunto de las variables independientes no es igual a sus efectos por separado (aditivos). Ello significa que el efecto de una variable independiente por sí mismo no es igual que cuando se toma en combinación con los niveles de otra variable independiente.

Así, hay dos tipos de efectos que se pueden evaluar en los diseños factoriales: los efectos de cada variable independiente (llamados efectos principales) y los efectos de interacción entre dos o más variables independientes (Wiersma, 1986).

Los Diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el conjunto de éstos sobre una respuesta. El diseño 2^k es particularmente útil en las primeras fases del trabajo experimental, cuando es probable que haya muchos factores por investigar. Conlleva el menor número de experiencias con las cuales pueden estudiarse k factores en un diseño factorial completo. Debido a que sólo hay dos niveles por cada factor, debe suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal en el intervalo de los niveles elegidos de los factores (Montgomery, 1991).

En nuestro caso se utilizó un diseño factorial 2^2 o sea dos factores en dos niveles, con dos repeticiones en tres bloques de cuatro combinaciones *oxidante-reductor* de los siguientes aditivos: Azodicarbonamida (ADA), Acido Ascórbico (Ac Asc), Bisulfito de Sodio (Bisulf) y Cisteina (Cist) que se presentan en Tabla III.2.

Tabla III.2

Diseño factorial para las combinaciones oxidante-reductor

Bloque	Variable		Variables Reales (ppm)							
	Codific.		ADA	Bisulf	ADA	Cist	Ac Asc	Bisulf	Ac Asc	Cist
1,2 y 3	-1	-1	100	50	100	50	100	50	100	50
	1	-1	200	50	200	50	200	50	200	50
	-1	1	100	100	100	100	100	100	100	100
	1	1	200	100	200	100	200	100	200	100

Se aplicó una fórmula para establecer el coeficiente de variación (CV%) utilizando como medida de dispersión la desviación media respecto al testigo (v), de los valores de volúmenes específicos obtenidos con cada harina, usando las distintas combinaciones de aditivos (v_i), siendo N el número total de experiencias con cada harina. Dicha fórmula es la siguiente:

$$CV(\%) = \frac{\sum |v_i - v|}{N \cdot v} \cdot 100$$

III.7.2 Diseño experimental y análisis estadístico para la Etapa 2.

Una vez obtenida la mejor combinación de aditivos oxidante-reductor se utilizó el método de superficie de respuesta para optimizar sus niveles. Esta herramienta estadística es muy útil para analizar la influencia de factores sobre cada una de las respuestas y lograr su optimización.

La metodología de superficie de respuesta ha sido ampliamente utilizada en la evaluación del efecto de distintos ingredientes en formulaciones y en la optimización de fórmulas de alimentos (Sánchez et al, 2002; Sánchez et al, 2004). Esta técnica es útil para modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés es influida por varias variables, y el objetivo es optimizar esta respuesta (Malcolmson et al, 1993). También permite obtener las condiciones que optimizan la respuesta y predecir valores de la misma para niveles de las variables que no fueron ensayadas experimentalmente (Cochram y Cox, 1957).

En la mayoría de los problemas de metodología de superficies de respuesta, (MSR o RSM), la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes se desconoce. Por ello, el primer paso en la RSM consiste en determinar una aproximación apropiada a la relación funcional real entre y y el conjunto de variables independientes. Por lo general se emplea un polinomio de orden bajo sobre alguna región de las variables independientes (Montgomery, 1991).

Tabla III.3

Diseño experimental central compuesto rotacional para las combinaciones seleccionadas

Bloques	Variable Codificadas	
	Oxidante	Reductor
1 y 2	1	-1
	0	-1.41
	0	0
	0	0
	1.41	0
	0	1.41
	-1.41	0
	-1	-1
	-1	1
	1	1

Se empleó un modelo de segundo orden que generó una superficie de respuesta. El modelo propuesto para cada respuesta está dado por la siguiente expresión

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$$

Donde b_0 es el valor de la respuesta medida en el punto central del diseño [punto (0,0)]; b_1 y b_2 son los términos de regresión lineal; b_{11} y b_{22} son los términos de regresión cuadrática; y b_{12} es el término de regresión del producto cruzado (Sánchez et al, 2004).

Se realizaron las siguientes determinaciones:

- Consistencia de la masa en el farinógrafo al final del amasado.
- Volumen Específico por desplazamiento de semillas.
- Evaluación Sensorial realizado por tres jurados expertos en el día 0, 3 y 7.
- Humedad día 0 y 7. La humedad en panes se determinó el día de su elaboración (día 0) y el día 7. Se utilizó el método AACCC (1994), el cual determina el contenido de humedad en base a la pérdida de peso de los panes bajo condiciones específicas.

El procedimiento se realizó en dos etapas, según lo aconsejado para muestras con un contenido mayor al 16 % de humedad.

Se cortaron rodajas de 1 cm. de espesor de cada pan. Se colocaron en recipientes metálicos previamente tarados. Se pesó y se registró el peso de cada muestra. Dichos recipientes se colocaron destapados a 27 ° C durante 48 hs. Se pesaron nuevamente. Se molieron las muestras en molino de laboratorio marca Dalvo MC₁ durante 30 segundos. Se mezclaron cuidadosamente con espátula, se colocó aproximadamente 2 gr de cada muestra, en recipientes tarados y se pesaron. Se llevaron a estufa a 130 ° C durante 60 minutos. Posteriormente fueron colocadas en desecador durante 20 minutos para ser pesadas nuevamente. Se calculó la pérdida de humedad por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de sólidos totales} = \frac{Y \times Z}{X}$$

Donde:

X = peso de la muestra original utilizada para el secado al aire a 27 °C.

Y = peso de la muestra luego de secada al aire a 27 °C

Z = porcentaje de sólidos totales en la muestra molida (100 % - humedad %)

-Textura día 0, 3 y 7, realizado por tres jurados expertos con asignación de puntaje.

Se utilizó un programa de STATGRAPHICS.

III.7.3. Verificación de modelos

La verificación de la idoneidad del modelo fue realizada mediante un Test de Hipótesis (Montgomery, 1991; Sánchez et al, 2002).

Las experiencias de verificación se realizaron contrastando las respuestas de “volumen específico” y “puntaje del panel de expertos” obtenidas con las correspondientes respuestas sextuplicadas del punto óptimo del modelo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV.1 SELECCIÓN DE COMBINACIÓN OXIDANTE-REDUCTOR PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE A PARTIR DE HARINAS CON DIFERENTES CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS. (ETAPA 1)

IV.1.1 Características químicas de las harinas y propiedades físicas de las masas.

En base a Tabla III.1 se observa que harina A presenta un mayor ablandamiento (140 UB) en comparación con harina B (100 UB) y C (60 UB). La Energía absorbida (W) para Harina A es menor (150) que B (205) y C (252). También la Estabilidad es menor para Harina A (3.0 min) que B (4.1 min) y C (5.3 min). Esto permite concluir que la harina A presenta características tecnológicas más débiles y la harina C las más fuertes.

En las características reológicas de las harinas se puede apreciar que los valores de pico amilográfico obtenidos varían y fueron más bajos en Harinas A y B que en C. Esto refleja una mayor actividad amilásica, probablemente debido a valores más altos de almidón dañado (Sánchez et al., 1986) o a la presencia de mayor contenido de amilasas en aquellas harinas procedentes de un molino con mayor rendimiento de molienda. Las amilasas del trigo se encuentran alojadas principalmente en el pericarpio, con pequeñas cantidades también en la aleurona y en la envoltura de la semilla o testa (Rani et al., 2001), por lo tanto un valor algo más alto de cenizas, indica también una mayor contaminación de la harina con partículas de pericarpio y germen (Osella C. et al, 2006).

Los valores obtenidos con el farinógrafo, en coincidencia con Kihlberg et al., (2004), muestran algunas diferencias entre las harinas procedentes de los distintos molinos. Se observa una diferencia que podría deberse al distinto contenido de almidón dañado. Sánchez et al. (1986) mostraron una alta correlación entre el contenido de almidón dañado de harinas y su capacidad de absorción de agua en el farinógrafo.

En coincidencia con Collado y De Leyn (2000) este conjunto de resultados muestra que no todas las evaluaciones reológicas pueden predecir con certeza el comportamiento de una harina.

IV.1.2 Volumen específico de los panes de molde obtenidos

En tablas IV 1, IV 2, IV 3 y IV 4 se muestran los valores de volúmenes específicos de los panes de molde elaborados con las distintas combinaciones *oxidante-reductor* y en las proporciones establecidas según diseño experimental.

Tabla IV.1

Volumen específico de pan para la combinación ADA-Bisulfito de Sodio

Bloque	Variables codificadas		Variables reales (ppm)		Volumen específico (cc/g)		
	ADA	Bisulf	ADA	Bisulf	Harina		
					A	B	C
1	-1	-1	100	50	4.40	4.66	4.39
1	1	-1	200	50	4.49	4.75	4.50
1	-1	1	100	100	4.42	4.10	4.36
1	1	1	200	100	4.45	5.00	4.21
2	-1	-1	100	50	4.48	4.60	4.31
2	1	-1	200	50	4.46	4.83	4.43
2	-1	1	100	100	4.48	4.18	4.47
2	1	1	200	100	4.46	5.00	4.22
3	-1	-1	100	50	4.59	4.63	4.37
3	1	-1	200	50	4.57	4.79	4.34
3	-1	1	100	100	4.60	4.14	4.43
3	1	1	200	100	4.52	5.00	4.24

Tabla IV.2.

Volumen específico de pan para la combinación ADA-Cisteína

Bloque	Variables codificadas		Variables reales (ppm)		Volumen específico (cc/g)		
	Ada	Cist	Ada	Cist	Harina		
					A	B	C
1	-1	-1	100	50	4.49	4.36	4.39
1	1	-1	200	50	4.01	4.59	4.50
1	-1	1	100	100	4.50	4.51	4.46
1	1	1	200	100	4.50	4.69	4.21
2	-1	-1	100	50	4.46	4.55	4.30
2	1	-1	200	50	4.01	4.38	4.43
2	-1	1	100	100	4.44	4.44	4.47
2	1	1	200	100	4.60	4.53	4.22
3	-1	-1	100	50	4.38	4.46	4.34
3	1	-1	200	50	4.10	4.49	4.48
3	-1	1	100	100	4.50	4.48	4.43
3	1	1	200	100	4.61	4.61	4.24

Tabla IV.3. Volumen específico de pan para la combinación Ácido Ascórbico-Bisulfito de Sodio

Bloque	Variables codificadas			Variables reales (ppm)		Volumen específico (cc/g)		
	Ac	Asc	Bisulf	Ac	Asc	Harina		
						A	B	C
1	-1	-1	100	50	4.60	4.64	4.39	
1	1	-1	200	50	4.30	4.36	4.50	
1	-1	1	100	100	4.27	4.46	4.36	
1	1	1	200	100	4.48	4.77	4.21	
2	-1	-1	100	50	4.60	4.63	4.31	
2	1	-1	200	50	4.20	4.39	4.43	
2	-1	1	100	100	4.17	4.51	4.47	
2	1	1	200	100	4.40	4.74	4.22	
3	-1	-1	100	50	4.56	4.64	4.37	
3	1	-1	200	50	4.24	4.38	4.34	
3	-1	1	100	100	4.27	4.49	4.43	
3	1	1	200	100	4.48	4.76	4.24	

Tabla IV.4

Volumen específico de pan para la combinación Ácido Ascórbico-Cisteína

Bloque	Variables codificadas		Variables reales (ppm)		Volumen específico (cc/g)		
	Ac Asc	Cist	Ac Asc	Cist	Harina		
					A	B	C
1	-1	-1	100	50	4.18	4.64	4.40
1	1	-1	200	50	4.30	4.48	4.32
1	-1	1	100	100	4.31	4.57	4.28
1	1	1	200	100	4.44	4.69	4.30
2	-1	-1	100	50	4.18	4.61	4.36
2	1	-1	200	50	4.31	4.48	4.25
2	-1	1	100	100	4.28	4.66	4.32
2	1	1	200	100	4.41	4.70	4.25
3	-1	-1	100	50	4.21	4.63	4.40
3	1	-1	200	50	4.30	4.48	4.32
3	-1	1	100	100	4.27	4.62	4.33
3	1	1	200	100	4.48	4.70	4.21

El efecto de la combinación oxidante-reductor sobre las harinas A, B y C ha tenido significación estadística existiendo además una clara diferencia de eficacia entre cada una de estas combinaciones de aditivos.

La combinación Ac Asc-Bisulf de Na provoca una mejora promedio, en las tres harinas, del 4 % que es el resultado de relacionar a cada testigo con el valor promedio de volumen específico de los distintos niveles de esta combinación. Para la combinación Ac Asc-Cist la mejora promedio, para las mismas, fue sólo del 1.5% aunque con la harina B tuvo un comportamiento muy eficaz. Por su parte, el par ADA-Bisulf de Na brindó una mejora promedio en las harinas del 3,5 % y el par ADA-Cist de 1.2%. De este análisis se destaca que las combinaciones más influyentes sobre el volumen específico fueron ADA-Bisulf de Na y Ac Asc-Bisulf de Na lo que en parte concuerda con Fitchett y Frazier (1986) quienes establecen que los agentes reductores solos no son suficientes para un buen desarrollo de la masa y para que esto ocurra es necesario incluir mejoradores oxidantes como el bromato de potasio o el ácido ascórbico. Ellos recomiendan niveles de agente reductor entre 35 y 70 ppm y nivel de oxidante alrededor de 100 ppm.

Coincidiendo con Yamada y Preston (1994) el agregado de niveles crecientes de oxidante incrementa el volumen y el puntaje del pan hasta un determinado valor a partir del cual decrecen (Tsen 1964, Yamada y Preston, 1992).

Las harinas muy tenaces con una concentración de oxidante mayor de 200 ppm presentan un volumen reducido, coincidiendo con Lu y Seib (1998) que a niveles de ácido ascórbico mayores a 200 ppm presentaban una disminución del volumen y un deterioro en la textura de la miga.

En el estudio hecho por Don et al (2003), las propiedades de reagregación de los polímeros más grandes era mejor para las harinas más fuertes comparadas con las más débiles.

La diferente capacidad de reagregación de las proteínas durante el tiempo de fermentación puede ser la explicación para las diferentes calidades de panificación de las harinas. Esto puede ser corroborado cuando se agrega ácido ascórbico pero no se observa cuando se excluye el mismo (Kasarda, 1999)

Los estudios sugieren que el ácido ascórbico fortalece la masa, entonces el trabajo del gluten para la variedad de trigo débil es suficientemente fuerte para compensar la disminución de las propiedades elásticas causadas por una disminución en

el contenido proteico y para prevenir la masa del colapso como se observa cuando no se agrega este oxidante (Nakamura y Kurata, 1997 a).

De lo expuesto se interpreta que estaría ocurriendo una ruptura de uniones disulfuro por acción de los agentes reductores y posteriormente formación de nuevos enlaces covalentes disulfuro con una mejora de las propiedades físicas de la masa que favorecería su comportamiento durante el proceso de panificación.

IV.1.3 Análisis estadístico de los resultados del diseño experimental.

En tablas IV.5, IV.6, IV.7 y IV.8 se observa el resultado del Análisis de Variancia para los Volúmenes Específicos de los panes elaborados con la incorporación de aditivos oxidantes y reductores en distintas combinaciones.

Tabla IV.5

Análisis de Varianza para Volumen Específico para la combinación ADA-Bisulfito de Sodio

FUENTE	Harina A		Harina B		Harina C	
	F	P	F	P	F	P
O-ADA	70,63	0,0002	224,55	0,0006	0,10	0,7660
R-Bisulfito	8,05	0,0297	16,92	0,0260	12,82	0,0116
OR	14,44	0,0090	105,76	0,0020	35,01	0,0010
Bloque	0,37	0,7057	0,54	0,5158	0,56	0,5966

Tabla IV.6

Análisis de Varianza para Volumen Específico para la combinación ADA-Cisteína

FUENTE	Harina A		Harina B		Harina C	
	F	P	F	P	F	P
O-ADA	21,66	0,0035	18,53	0,0051	8,66	0,0259
R-Cisteína	70,90	0,0002	0,03	0,8636	15,44	0,0081
OR	53,71	0,0003	180,97	0,0000	103,14	0,0001
Bloque	0,17	0,8438	0,15	0,8615	1,32	0,3339

Tabla IV.7

Análisis de Varianza para Volumen Específico para la combinación Acido Ascórbico-Bisulfito de Sodio

FUENTE	Harina A		Harina B		Harina C	
	F	P	F	P	F	P
O-Ac Ascórbico	9,13	0,0233	0,05	0,8429	2,81	0,1444
R-Bisulfito	12,97	0,0114	44,81	0,0068	11,93	0,0136
OR	192,28	0,0001	230,68	0,0006	54,79	0,0003
Bloque	4,30	0,0694	0,25	0,6490	3,55	0,0963

Tabla IV.8

Análisis de Varianza de Volumen Específico para la combinación Acido Ascórbico-Cisteína.

FUENTE	HARINA A		HARINA B		HARINA C	
	F	P	F	P	F	P
O-Ac Ascórbico	103,05	0,0001	0,44	0,5548	12,20	0,0129
R-Cisteína	79,18	0,0001	3,03	0,1802	8,17	0,0289
OR	2,65	0,1544	29,90	0,0120	0,63	0,4575
Bloque	0,77	0,5040	1,54	0,3022	0,71	0,5305

En la Harina A todos los factores son significativos excepto la interacción Acido Ascórbico-Cisteína.

En las Harinas B y C hay una menor cantidad de factores significativos pero las interacciones son significativas salvo la interacción Acido Ascórbico-Cisteína en la Harina C.

IV.1.4. Efecto de las combinaciones de aditivos sobre cada harina.

En las Tablas IV.9, IV.10 y IV.11; se aprecian los valores de los Volúmenes Específicos de los panes elaborados con las Harinas A, B y C y con el agregado de las distintas combinaciones de oxidantes-reductores.

Tabla IV.9

Comparación de Medias. Harina A.

Niveles de aditivos (ppm)		Cantidad de muestras	Media	Grupos homogéneos
Oxid.	Reduc.			
ADA 200	Cist. 50	3	4,04	h
Ac.Asc 100	Cist 50	3	4,19	h
Ac. Asc 100	Bisulf 100	3	4,24	gh
Ac. Asc 200	Bisulf 50	3	4,25	gh
Ac. Asc. 100	Cist 100	3	4,29	fg
Testigo		3	4,29	fg
Ac.Asc. 200	Cist 50	3	4,30	fg
ADA 200	Bisulf. 100	3	4,36	ef
ADA 200	Bisulf 50	3	4,39	de
ADA 100	Cist 50	3	4,44	cd
Ac. Asc. 200	Cist 100	3	4,44	cd
ADA 100	Cist 100	3	4,47	cd
Ac. Asc. 200	Bisulf 100	3	4,45	cd
ADA 100	Bisulf 50	3	4,53	bc
ADA 200	Cist 100	3	4,57	B
Ac. Asc. 100	Bisulf 50	3	4,59	b
ADA 100	Bisulf 100	3	4,74	a

Letras distintas indican que hay diferencias significativas a nivel $p \leq 0,05$

Tabla IV.10
Comparación de Medias. Harina B

Niveles de aditivos (ppm)		Cantidad de muestras	Media	Grupos homogéneos
Oxid	Reduc			
ADA 100	Bisulf 100	3	4,14	f
ADA 200	Cist 100	3	4,28	e
Testigo		3	4,31	e
ADA 100	Cist 50	3	4,36	d
Ac Asc 200	Bisulf 50	3	4,38	d
Ac Asc 200	Cist 50	3	4,48	c
Ac Asc 100	Bisulf 100	3	4,49	bc
ADA 200	Cist. 50	3	4,53	b
ADA 100	Cist 100	3	4,61	b
Ac Asc 100	Cist. 100	3	4,62	b
Ac Asc 100	Cist 50	3	4,63	b
Ac Asc 100	Bisulf 50	3	4,64	b
Ac Asc 200	Cist 100	3	4,70	ab
ADA 100	Bisulf 50	3	4,75	a
Ac Asc 200	Bisulf 100	3	4,76	a
ADA 200	Bisulf 50	3	4,79	a
ADA 200	Bisulf 100	3	5,00	a

Letras distintas indican que hay diferencias significativas a nivel $p \leq 0,05$

Tabla IV.11

Comparación de Medias. Harina C

Niveles de aditivos (ppm)		Cantidad de muestras	Media	Grupos Homogeneos
Oxid.	Reduc.			
ADA 200	Cist 100	3	4,22	j
ADA 200	Bisulf 100	3	4,22	j
Ac Asc 200	Cist 100	3	4,25	ij
Ac Asc 200	Cist 50	3	4,30	hij
Ac Asc 100	Cist 100	3	4,31	hi
ADA 100	Cist. 50	3	4,34	gh
ADA 100	Bisulf 50	3	4,36	fgh
Ac Asc 100	Cist 50	3	4,39	efg
ADA 100	Bisulf 100	3	4,40	defg
ADA 200	Bisulf 50	3	4,42	def
ADA 100	Cist 100	3	4,45	de
ADA 200	Cist 50	3	4,47	cd
Testigo		3	4,47	cd
Ac Asc 200	Bisulf 100	3	4,54	bc
Ac Asc 100	Bisulf 50	3	4,57	b
Ac Asc 100	Bisulf 100	4	4,60	b
Ac Asc 200	Bisulf 50	3	4,73	a

Letras distintas indican que hay diferencias significativas a nivel $p \leq 0,05$

Analizando las harinas respecto a la variación de volumen específico producido por la incorporación de aditivos, se obtuvo para la harina A un CV de 3.7% con un aumento promedio de volumen específico del 2.4% respecto al testigo. Para la harina B el CV fue de 6.6% con un crecimiento promedio en el volumen específico de 6.4%, mientras que para la Harina C el CV fue de 2.9% sin que se perciba un aumento de volumen en el promedio. Se manifiesta entonces que el efecto de las combinaciones de aditivos es más evidente sobre los valores de volumen específico de la harina B. Esta harina testigo B pese a dar un valor bajo de volumen específico de pan (4.29 cc/g), similar a la harina testigo A, manifiesta un mayor potencial de mejora ante el agregado de los aditivos, cualidad que se refleja a causa de un mayor valor de proteínas en su composición y de mejores propiedades físicas desde el punto de vista alveográfico ($W=205$, $P/L=1.12$). Esto le permite ofrecer un gluten con mayores posibilidades para lograr una mejora tecnológica en el proceso de panificación cuando se utilizan aditivos que modifican la estructura de la red proteica. En el particular caso de la harina C los aditivos estudiados no consiguen modificar su potencial tecnológico, indicando esto que el efecto de los mismos es superior en los casos de harinas débiles y sobre todo en aquellas que conservan cierta capacidad de mejoramiento de su estructura de red tridimensional. Yamada y Preston (1994) establecieron que en harinas consideradas normales, cuando se agregan niveles crecientes de un oxidante se puede incrementar levemente el volumen del pan y el puntaje de su evaluación sensorial pero luego comienza un brusco descenso en los valores de estos atributos de calidad.

IV.1.5 Conclusiones Etapa 1.

En la elaboración de pan de molde, la utilización de aditivos combinados por un oxidante y un reductor provoca una mejora significativa de los valores de volumen específico. Este efecto resulta de mayor evidencia en los casos que se elaboren panes de molde con harinas débiles y sobre todo con aquellas harinas débiles que conservan cierta capacidad de mejoramiento de su estructura de red tridimensional del gluten. Los agentes oxidantes utilizados en este trabajo (ácido ascórbico y azodicarbonamida) generaron una mejor respuesta en el proceso de panificación cuando fueron combinados con el bisulfito de sodio que cuando se utilizaron junto a la cisteína.

Finalmente se pueden extraer dos conclusiones de esta Etapa 1, a saber:

- 1) La harina B es la que ofrece mayores posibilidades de mejorar el volumen de pan con el uso de aditivos oxidante-reductor.
- 2) Los pares de aditivos que resultaron más efectivos fueron:

ADA-Bisulf y Ac Asc-Bisulf

IV. 2. OPTIMIZACIÓN DE LOS NIVELES OXIDANTE-REDUCTOR DE LAS DOS COMBINACIONES SELECCIONADAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL PAN DE MOLDE CON HARINAS DE CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DÉBILES. ETAPA 2.

IV.2.1. Selección del diseño experimental

Se seleccionó un diseño experimental central compuesto rotacional $2^2 +$ estrella.

Se analizan dos factores con una repetición en dos bloques con dos puntos centrales en cada bloque (Tabla IV.12).

IV.2.2 Resultados experimentales obtenidos con las dos combinaciones de oxidante-reductor

En Tablas IV.13 y IV.14 se muestran los valores experimentales obtenidos con las combinaciones Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio y Azodicarbonamida-Bisulfito de Sodio.

Tabla IV.12

Variables codificadas y reales del diseño experimental para ambas combinaciones en estudio.

Exp	Bloque	V. Codificadas			V. Reales		
		Oxid	Red	ADA	Bisulf	Ac Asc	Bisulf
1	1	1	-1	200	50	200	50
2	1	0	-1,41	150	40	150	40
3	1	0	0	150	75	150	75
4	1	0	0	150	75	150	75
5	1	1,41	0	221	75	221	75
6	1	0	1,41	150	110	150	110
7	1	-1,41	0	79	75	79	75
8	1	-1	-1	100	50	100	50
9	1	-1	1	100	100	100	100
10	1	1	1	200	100	200	100
11	2	1	-1	200	50	200	50
12	2	0	-1,41	150	40	150	40
13	2	0	0	150	75	150	75
14	2	0	0	150	75	150	75
15	2	1,41	0	221	75	221	75
16	2	0	1,41	150	110	150	110
17	2	-1,41	0	79	75	79	75
18	2	-1	-1	100	50	100	50
19	2	-1	1	100	100	100	100
20	2	1	1	200	100	200	100

Tabla IV.13

Resultados experimentales obtenidos con la combinación Acido Ascórbico- Bisulfito de sodio

Exp	Bloque	AcAsc	Bisulf	Cons. masa	Vol esp	Puntaje total día 0	Puntaje total día 3	Puntaje total día 7	Hum día 0	Hum día 7	Text día 0	Text día 3	Text día 7
1	1	79,29	75,00		4,34	84,30	77,00	70,50	38,50	38,00	12,80	10,50	9,00
2	1	100,00	100,00	480,00	4,24	81,70	75,20	68,20	38,80	37,80	13,50	11,30	9,80
3	1	200,00	50,00	470,00	4,60	87,00	78,70	72,20	37,00	36,20	12,80	10,50	7,50
4	1	150,00	110,36	560,00	4,76	89,00	77,40	70,90	36,90	36,00	13,80	11,30	9,00
5	1	220,71	75,00	500,00	4,71	89,80	79,80	73,30	37,40	37,00	13,50	10,50	8,30
6	1	150,00	75,00	540,00	4,94	93,50	83,50	75,00	36,80	36,10	13,80	10,50	8,30
7	1	150,00	39,64	570,00	4,74	89,20	81,20	73,20	36,80	36,30	12,00	10,50	8,00
8	1	150,00	75,00	580,00	4,92	88,80	79,80	73,30	37,10	36,50	13,50	10,50	9,00
9	1	100,00	50,00	450,00	4,16	83,00	74,50	67,80	39,30	38,30	12,00	10,50	8,30
10	1	200,00	100,00	470,00	4,61	88,80	78,10	71,60	35,50	35,10	12,80	10,50	9,00
11	2	79,29	75,00	470,00	4,38	84,60	79,20	70,20	38,00	37,40	12,00	10,50	9,00
12	2	100,00	100,00	490,00	4,27	81,80	76,10	69,80	38,60	38,00	12,00	10,50	9,00
13	2	200,00	50,00	590,00	4,66	88,30	78,50	71,80	37,40	36,60	12,80	10,50	8,30
14	2	150,00	110,36	490,00	4,88	90,00	80,80	71,30	36,70	35,80	13,50	11,30	9,80
15	2	220,71	75,00	520,00	4,65	89,00	81,80	75,00	37,40	36,80	13,50	10,80	8,00
16	2	150,00	75,00	540,00	4,88	88,20	81,70	74,00	37,20	36,70	13,50	11,30	9,00
17	2	150,00	39,64	560,00	4,65	89,00	82,50	73,50	37,50	37,10	12,80	10,80	8,30
18	2	150,00	75,00	590,00	4,90	93,40	82,00	75,80	38,00	37,00	13,80	11,30	9,00
19	2	100,00	50,00	460,00	4,21	83,40	76,90	69,60	38,70	38,00	11,80	9,80	7,50
20	2	200,00	100,00	480,00	4,63	88,80	81,60	73,30	35,50	35,00	13,50	11,30	9,00

Tabla IV.14
Resultados experimentales obtenidos con la combinación Azodicarbonamida- Bisulfito de sodio.

Exp	Bloque	ADA	Bisulf	Cons. masa	Vol esp	Puntaje total día 0	Puntaje total día 3	Puntaje total día 7	Hum día 0	Hum día 7	Text día 0	Text día 3	Text día 7
1	1	200,00	50,00	500,00	4,48	83,40	76,20	68,90	37,30	36,60	12,50	10,30	8,00
2	1	150,00	39,64	560,00	4,19	84,90	77,60	70,60	38,10	36,30	12,80	10,50	8,00
3	1	150,00	75,00	550,00	4,70	87,60	79,10	70,90	36,90	35,90	13,00	10,50	9,00
4	1	150,00	75,00	530,00	4,63	86,40	75,40	68,20	36,00	35,50	13,00	9,80	8,00
5	1	220,71	75,00	500,00	4,68	87,30	77,30	69,20	36,70	36,40	13,10	9,80	7,50
6	1	150,00	110,36	620,00	5,00	91,00	81,00	75,70	36,70	36,00	13,50	10,50	9,50
7	1	79,29	75,00	570,00	4,94	89,80	83,30	74,60	36,90	36,40	13,50	12,00	9,80
8	1	100,00	50,00	560,00	4,82	88,00	82,80	73,80	36,10	35,10	13,50	10,80	8,50
9	1	100,00	100,00	560,00	4,54	88,60	81,10	74,10	38,40	37,50	13,30	11,30	9,00
10	1	200,00	100,00	600,00	4,90	89,50	81,60	73,10	36,30	35,90	13,50	10,50	9,00
11	2	200,00	50,00	480,00	4,46	82,70	73,90	65,40	37,40	36,90	12,80	10,50	8,00
12	2	150,00	39,64	550,00	4,22	83,00	79,30	69,80	36,90	36,10	12,80	10,50	8,30
13	2	150,00	75,00	530,00	4,75	89,30	78,30	71,00	36,20	35,40	13,50	10,50	9,00
14	2	150,00	75,00	530,00	4,63	86,40	75,40	68,20	36,00	35,70	12,90	10,50	9,00
15	2	220,71	75,00	520,00	4,64	83,40	76,90	68,20	36,20	36,00	12,50	10,50	7,50
16	2	150,00	110,36	630,00	4,90	91,50	83,50	77,00	36,60	36,40	14,00	12,00	10,50
17	2	79,29	75,00	580,00	4,90	91,20	83,20	74,50	36,70	36,60	14,00	12,00	10,00
18	2	100,00	50,00	580,00	4,80	87,40	80,40	71,20	38,20	37,70	13,50	10,50	9,00
19	2	100,00	100,00	570,00	4,50	87,50	82,00	74,00	37,30	37,00	13,50	12,00	9,80
20	2	200,00	100,00	600,00	5,00	91,50	83,30	74,80	36,30	35,90	14,00	11,30	10,00

IV.2.3 Análisis de los resultados

IV.2.3.1 Consistencia de la masa

Acido Ascórbico-Bisulfito de Sodio

El ANOVA que se observa en la Tabla IV.15 parte las varianzas de consistencia de la masa en piezas separadas para cada uno de los efectos. Entonces evalúa la significancia estadística de cada efecto en comparación de la media cuadrática contra un error experimental estimado. En este análisis, acido ascórbico al cuadrado tiene un valor de P menor a 0,05 indicando que es significativamente diferente de cero a un nivel de confianza de 95 %. Las diferencias en la consistencia de la masa para la combinación Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio no son significativos ya que $P > 0,05$.

El *test de lack of fit* está diseñado para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para los datos observados, o si se debería usar un modelo más complicado. El test está realizado para comparar la variabilidad de los residuos actuales a la variabilidad observada entre las réplicas de los factores. Como el valor de P de *lack of fit* en el ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 88,48 en la consistencia de la masa. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 19,49.

Tabla IV.15
Análisis de varianza de la Consistencia de la masa para la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	9291,29	1	9291,29	14,29	0,0634
B:Bisulfito	8196,32	1	8196,32	12,61	0,0710
AA	12222,30	1	12222,30	18,80	0,0493
AB	7812,50	1	7812,50	12,02	0,0741
BB	4250,94	1	4250,94	6,54	0,1249
<i>Lack of fit</i>	3638,81	11	330,80	0,51	0,8136
Error total	1300,00	2	650,00		

r^2 estadístico = 88,48 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.) = 84,36 por ciento

Error estándar. = 19,49

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se observa en la Figura IV.1, se observa el comportamiento de la Consistencia de la masa al final del amasado y con distintos niveles de aditivos. Se puede apreciar que al ir aumentando el nivel de Acido Ascórbico hay una tendencia a aumentar la consistencia de la masa mientras que al ir aumentando el nivel de Bisulfito el efecto sobre la consistencia de la masa es variable.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Figura IV.2 se puede analizar el comportamiento de la variable Consistencia de la masa a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar que valores de consistencia aptos para panificar (500-550 UB) se consiguen con concentraciones de ácido ascórbico entre 100 y 150 ppm y de bisulfito de sodio entre 50 y 80 ppm.

Fig IV.1

Superficie de respuesta de la variación de la Consistencia de la masa con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio

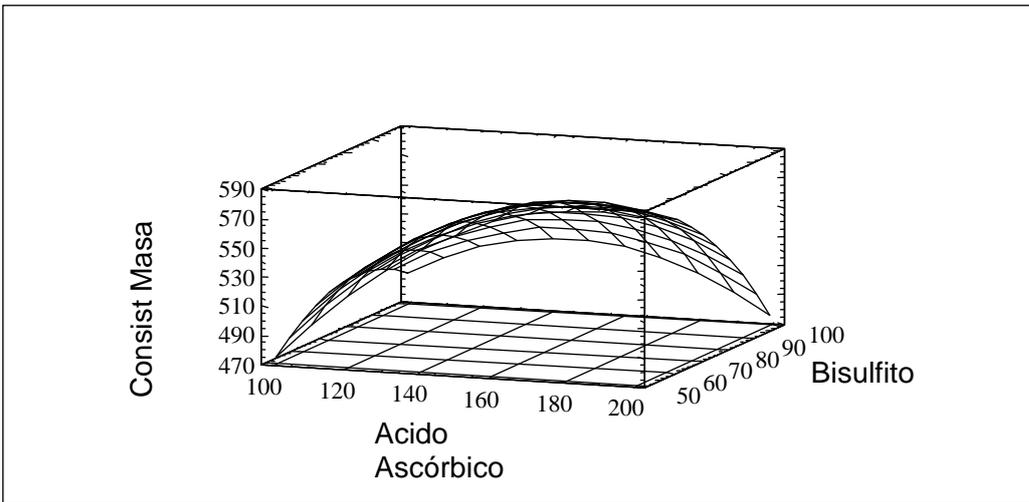
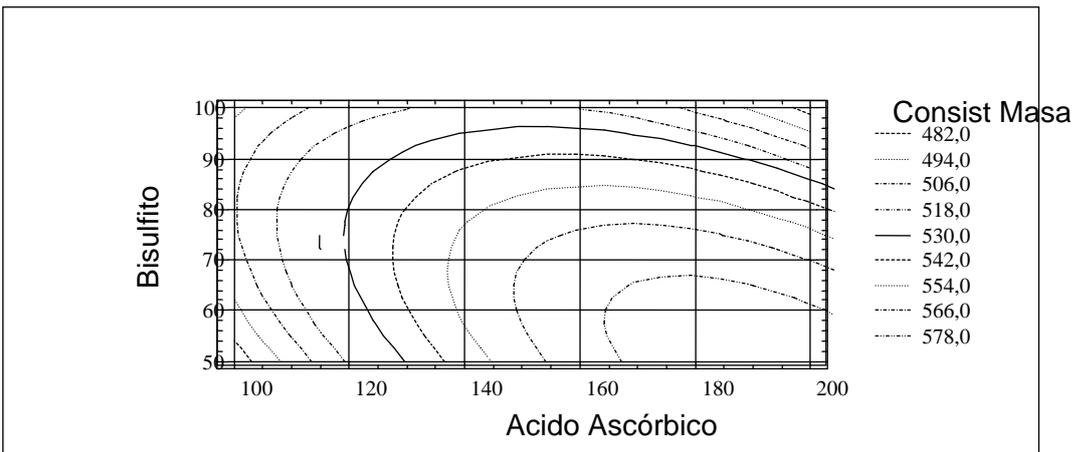


Fig. IV.2

Curvas de Contorno de la variación de la Consistencia de la masa con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio



Azodicarbonamida-Bisulfito de Sodio

En este análisis, ADA, bisulfito, ADA-bisulfito y bisulfito al cuadrado tienen valores de P menores a 0,05 indicando que son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %. Los valores obtenidos se presentan en la tabla IV.16.

Como el valor de P para el *lack of fit* en el ANOVA es mayor a 0.05 el modelo resulta ser adecuado a los datos obtenidos con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 93,31 % en la consistencia de la masa. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 12,52.

Tabla IV.16

Análisis de varianza de la Consistencia de la masa para la concentración de ADA y Bisulfito de sodio

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	4687,04	1	4687,04	46,87	0,0207
B:Bisulfito	10403,60	1	10403,60	104,04	0,0095
AA	14,28	1	14,28	0,14	0,7418
AB	6612,50	1	6612,50	66,13	0,0148
BB	5714,28	1	5714,28	57,14	0,0171
<i>Lack of fit</i>	1839,50	11	167,23	1,67	0,4331
Error total	200,00	2	100,00		

r^2 estadístico = 93,31 por ciento.

r^2 (ajustado por d.f.) = 90,92 por ciento

Error estándar. = 12,52

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se observa en la Figura IV. 3, se puede analizar el comportamiento de la Consistencia de la masa a distintos niveles de aditivos. Se puede concluir que al ir aumentando el nivel de ADA disminuye la consistencia de la masa y al ir aumentando el nivel de Bisulfito aumenta la consistencia de la masa.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Figura IV.4 se puede analizar el comportamiento de la variable Consistencia de la masa a diferentes niveles de

aditivos. Se puede observar que valores de consistencia aptos para panificar (500-550 UB) se consiguen con concentraciones de ADA entre 120 y 200 ppm y de Bisulfito entre 80 y 100 ppm.

Fig. IV.3

Superficie de respuesta de la variación de la Consistencia de la masa con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio

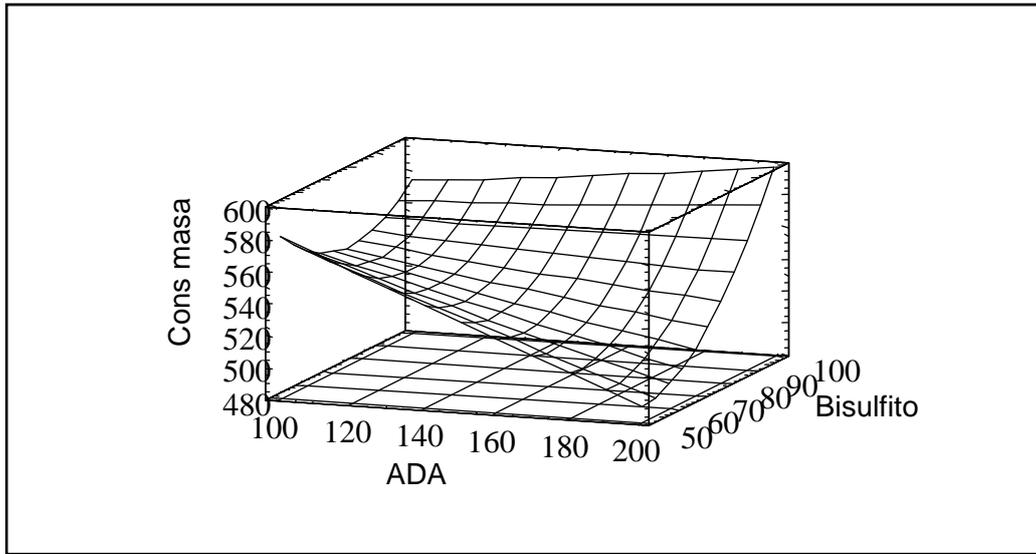
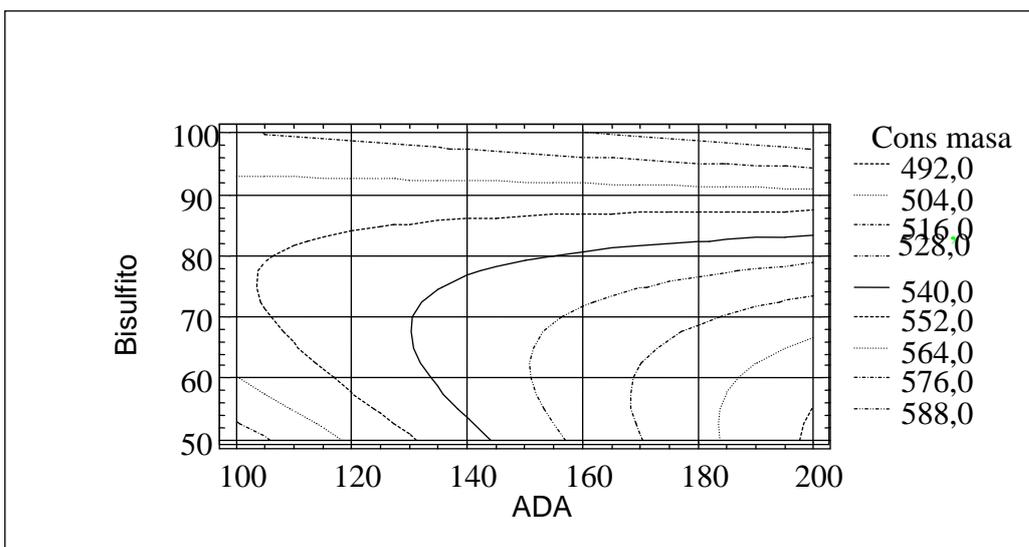


Fig. IV.4

Curvas de Contorno de la variación de la Consistencia de la Masa con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio



IV.2.3.2. Volumen Específico

Acido Ascórbico-Bisulfito de Sodio

En el ANOVA que se analiza, ácido ascórbico, bisulfito, ácido ascórbico al cuadrado y bisulfito al cuadrado tienen valores de P menores a 0,05 indicando que son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla IV.17.

Como el valor de P para el *lack of fit* en el ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado a los datos obtenidos con una confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 80,38 % en el volumen específico. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,14.

Tabla IV.17

Análisis de varianza del Volumen Específico para las concentraciones de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
AcAsc	0,40	1	0,40	1992,55	0,0005
B:Bisulfito	0,01	1	0,01	70,07	0,0140
AA	0,57	1	0,57	2835,76	0,0004
AB	0,01	1	0,01	16,00	0,0572
BB	0,16	1	0,16	776,30	0,0013
<i>Lack of fit</i>	0,24	11	0,02	109,61	0,0910
Error total	0,0004	2	0,0002		

r^2 estadístico = 80,38 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)= 73,37 por ciento

Error estándar = 19,49

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se presenta en la figura IV.5, se observa el comportamiento del Volumen específico a distintos niveles de los aditivos. Se puede concluir que al ir aumentando los niveles de aditivos aumenta el volumen específico hasta un valor determinado a partir del cual el volumen específico comienza a disminuir. Esto coincide con el estudio realizado por Yamada y Preston

(1994) donde el agregado de oxidantes por encima de su nivel óptimo produce una disminución de la calidad del pan (volumen y puntaje).

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Figura IV.6 se puede analizar el comportamiento de la variable Volumen específico a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar que los mayores valores del mismo se presentan en un valor de Acido Ascórbico alrededor de 165 ppm y de Bisulfito en valores comprendidos entre 70 y 90 ppm.

Figura IV.5
Superficie de respuesta de la variación del Volumen Específico con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio

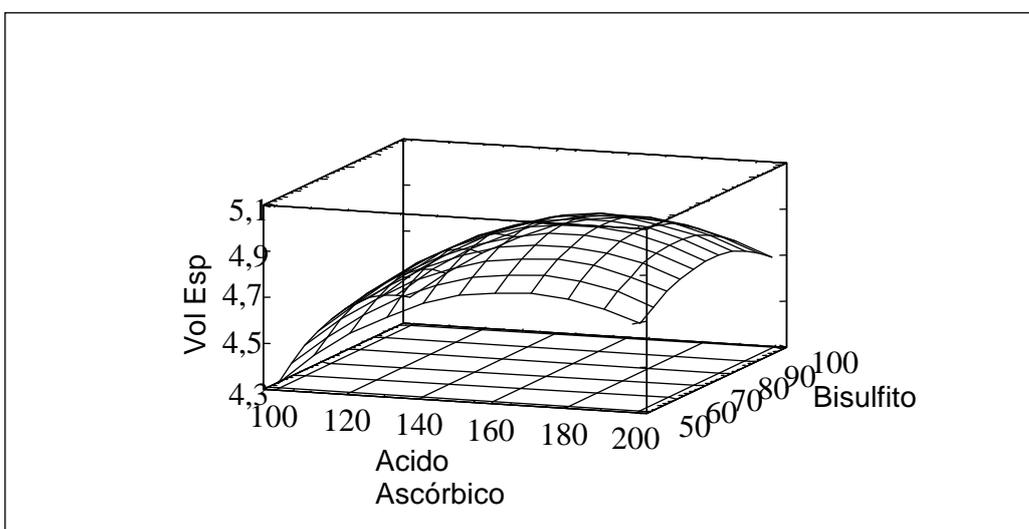
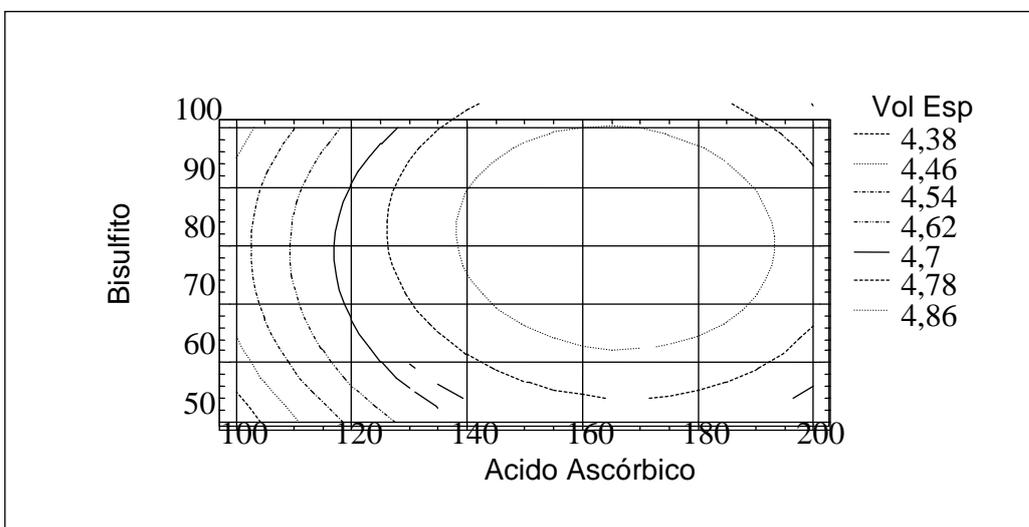


Figura IV.6
Curvas de Contorno de la variación del Volumen Específico con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio



Azodicarbonamida-Bisulfito de Sodio

En este análisis, bisulfito y ADA-bisulfito tienen valores de P menores a 0,05 indicando que son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %. Los valores obtenidos se presentan en la tabla IV.18.

Como el valor de P para el *de lack of fit* en el ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado a los datos obtenidos con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 75,16 % en el Volumen Específico. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,14.

Tabla IV.18
Análisis de varianza del Volumen Específico para la concentración
de ADA y Bisulfito de sodio

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	0,02	1	0,02	4,00	0,1837
B:Bisulfito	0,39	1	0,39	80,13	0,0123
AA	0,03	1	0,03	6,20	0,1305
AB	0,30	1	0,30	61,44	0,0159
BB	0,02	1	0,02	4,56	0,1662
<i>Lack of fit</i>	0,25	11	0,02	4,76	0,1864
Error total	0,0096	2	0,0048		

r^2 estadístico = 75,16 por ciento

r^2 (ajustada por d.f.)= 66.2952 por ciento

Error estándar=0,14

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se presenta en la Figura IV.7, se observa el comportamiento del Volumen específico a distintos niveles de los aditivos. Se puede concluir que al ir aumentando el nivel de ADA disminuye el volumen específico y al ir aumentando el nivel de Bisulfito aumenta el volumen específico

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Figura IV.8 se puede analizar el comportamiento de la variable Volumen específico a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar que a valores de ADA cercanos a 200 ppm y combinado con Bisulfito de sodio en 100 ppm, el volumen específico que se logra tiene los valores máximos.

Fig. IV.7

Superficie de respuesta de la variación del Volumen Específico con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio

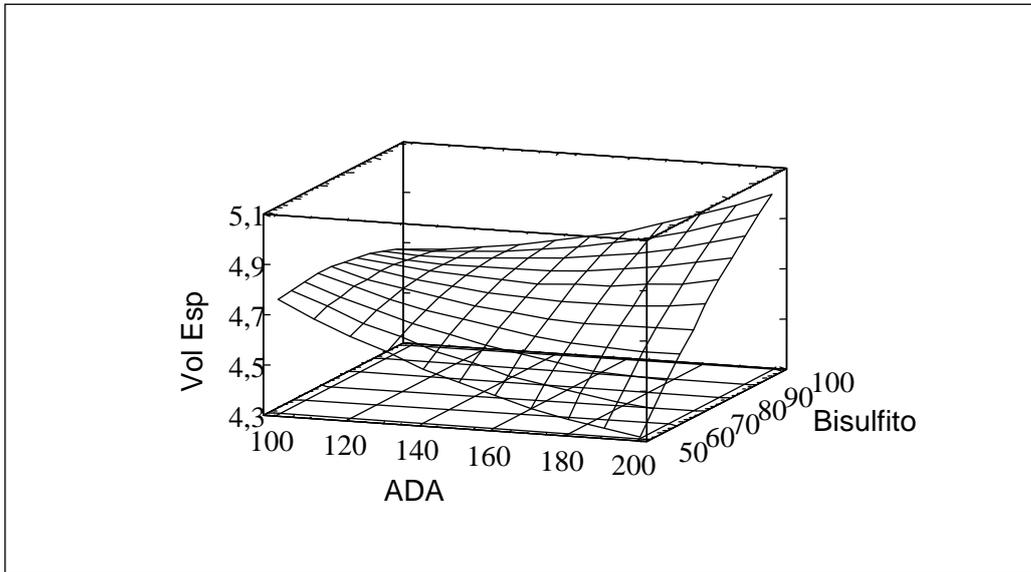
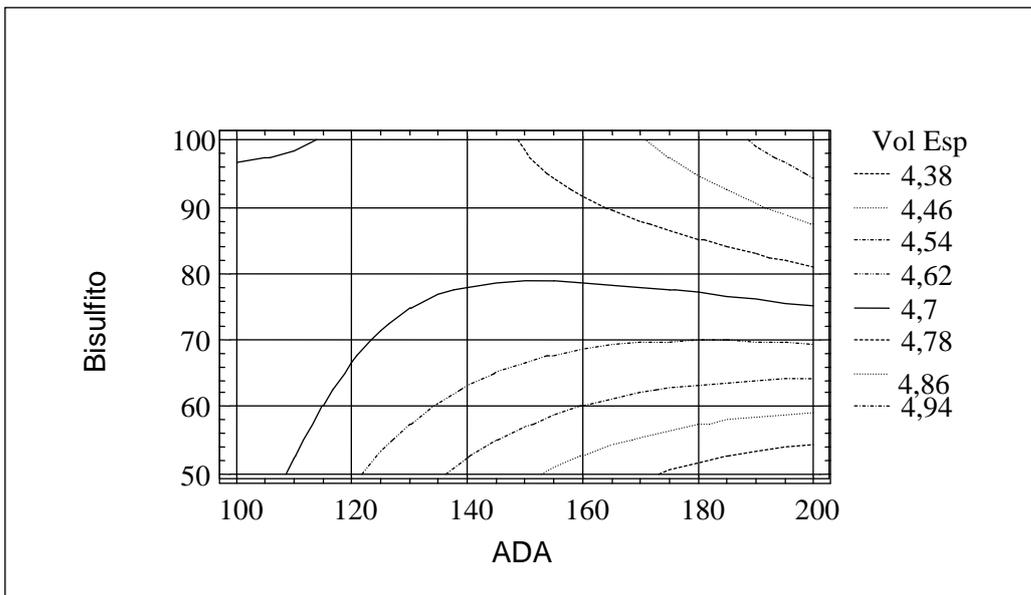


Fig. IV.8

Curvas de Contorno de la variación del Volumen Específico con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio



IV.2.3.3. Evaluación Sensorial

Panel día 0

Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 0)

En el ANOVA analizado ningún efecto tiene un valor de P menor a 0,05 indicando que no son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %. Los valores se presentan en la Tabla IV.19.

En el *test de lack of fit* el valor de P en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, por consiguiente el modelo parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 71,76 % en el Volumen Específico.

Tabla IV.19
Análisis de varianza del Puntaje total para la concentración de
Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 0)

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	5,57	1	5,57	6,97	0,1186
B:Bisulfito	0,02	1	0,02	0,00	0,9732
AA	67,42	1	67,42	5,49	0,1439
AB	3,38	1	3,38	0,28	0,6522
BB	1,35	1	21,35	1,74	0,3181
<i>Lack of fit</i>	37,61	11	3,42	0,28	0,9370
Error total	24,56	2	12,28		

r^2 estadístico = 71,76 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)= 61.67 por ciento

Error estándar =2,19

Si bien el efecto de los aditivos no es significativo respecto de los atributos sensoriales, se puede admitir que hay una tendencia a aumentar el puntaje otorgado por el panel día 0 hasta un valor determinado y luego disminuye (Fig IV.9).

Mediante las curvas de superficie de contorno que se muestran en la Figura IV.10 se puede analizar el comportamiento de la variable Panel día 0 a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar que los mayores valores del mismo se presentan en un valor de Acido Ascórbico cercanos a 170 ppm y de Bisulfito entre 70-80 ppm.-

Fig. IV.9

Superficie de respuesta de la variación de Puntaje total con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 0)

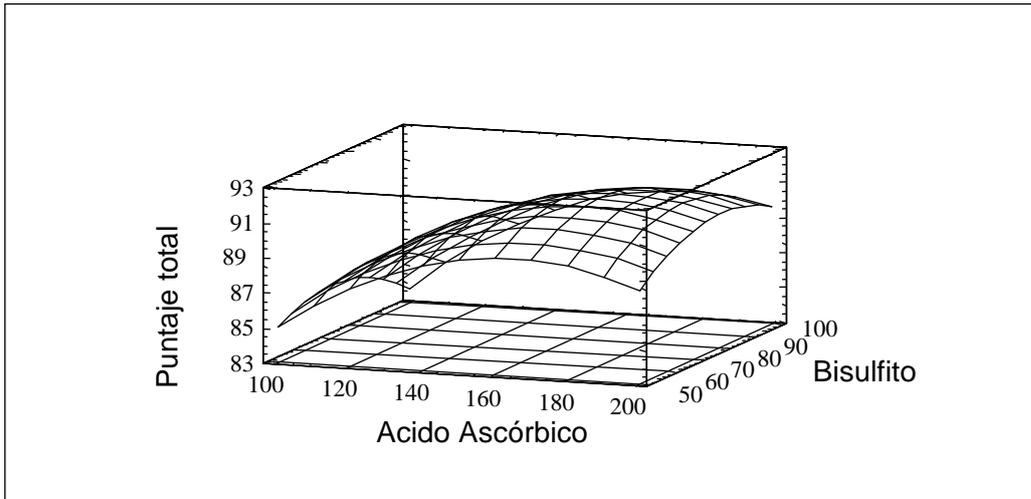
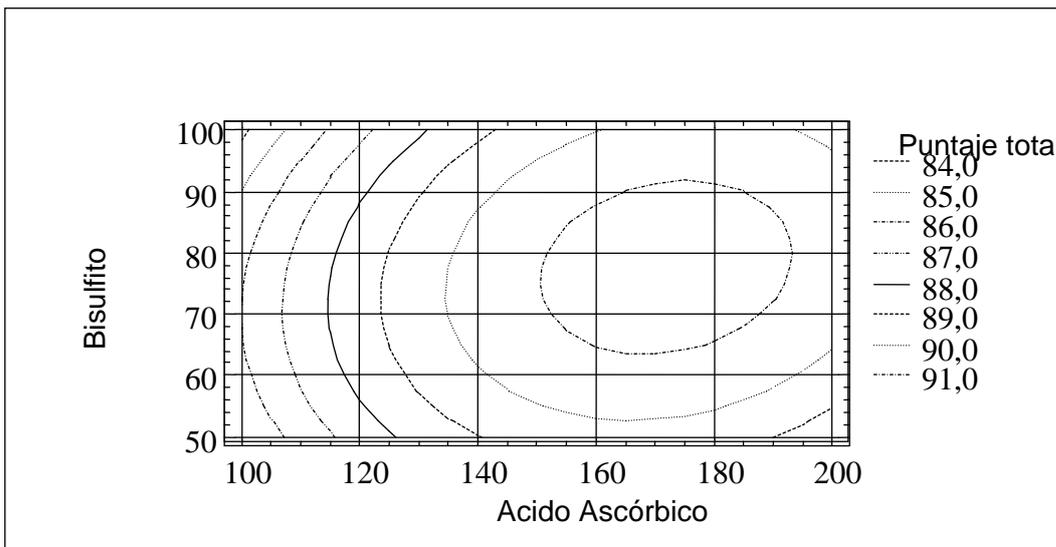


Fig. IV.10

Curvas de Contorno de la variación de Puntaje total con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 0)



Azodicarbonamida-Bisulfito de Sodio (día 0)

En este análisis, bisulfito tiene un valor de P menor a 0,05 indicando que es significativamente diferente de cero a un nivel de confianza de 95 %. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla IV.20.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 82,49% en el Volumen Específico.

Tabla IV.20
Análisis de varianza de Puntaje total para la concentración
de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 0)

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	22,48	1	22,48	9,13	0,0943
B:Bisulfito	82,12	1	82,12	33,35	0,0287
AA	0,18	1	0,18	0,07	0,8118
AB	25,20	1	25,20	10,24	0,0854
BB	0,01	1	0,01	0,00	0,9702
<i>Lack of fit</i>	22,75	11	2,07	0,84	0,6597
Error total	4,92	2	2,46		

r^2 estadístico = 82,49 por ciento.

r^2 (ajustada por d.f.)= 76.24 por ciento

Error estándar=1,46

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se presenta en la Figura IV.11, se observa el comportamiento del Puntaje total (panel día 0) a distintos niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando los niveles de ADA disminuye el puntaje y al ir aumentando los niveles de Bisulfito aumenta el puntaje.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Figura IV.12 se puede analizar el comportamiento de la variable Puntaje total (Panel día 0) a diferentes niveles

de aditivos. Se puede observar que los mayores valores del mismo se presentan en un valor de ADA cercano a 200 ppm y de Bisulfito de aproximadamente 100 ppm.

Fig. IV.11
Superficie de respuesta de la variación de Puntaje total con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 0)

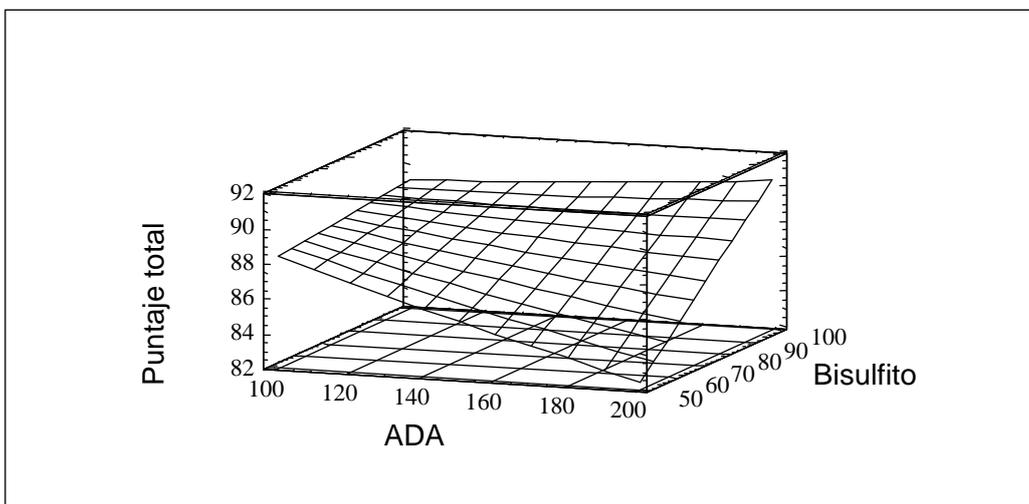
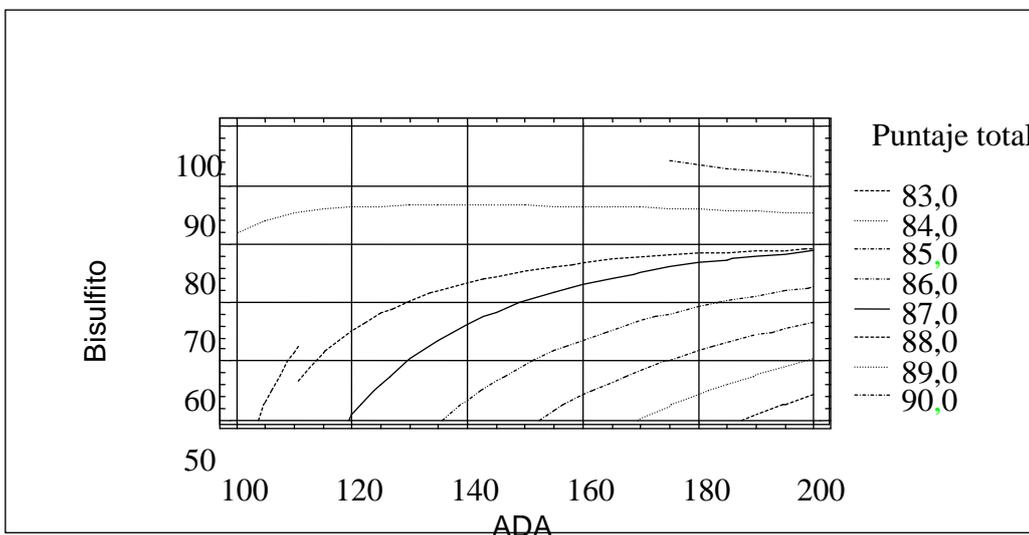


Fig. IV.12
Curvas de Contorno de la variación de Puntaje total con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 0)



Panel día 3**Ácido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 3)**

En este análisis, ningún efecto tiene un valor de P menor a 0,05 indicando que no son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 60,97 % en el Panel día 3.

Tabla IV.21
Análisis de varianza del Puntaje total con la concentración
De Ácido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 3)

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	29,80	1	29,80	8,65	0,0988
B:Bisulfito	1,81	1	1,81	0,52	0,5441
AA	28,91	1	28,91	8,39	0,1014
AB	0,84	1	0,84	0,25	0,6695
BB	14,64	1	14,64	4,25	0,1753
<i>Lack of fit</i>	42,29	11	3,84	1,12	0,5640
Error total	6,89	2	3,44		

r^2 estadístico = 60,97 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)= 47.04 por ciento.

Error estándar = 1,94

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se presenta en la Figura IV.13, se observa el comportamiento del Puntaje total (Panel día 3) a distintos niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando los niveles de aditivos aumenta el puntaje hasta un valor determinado a partir del cual comienza a disminuir.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Figura IV.14 se puede analizar el comportamiento de la variable Puntaje total (Panel día 3) a diferentes niveles

de aditivos. Se puede observar que los mayores valores del mismo se presentan en un valor de Acido Ascórbico cercano a 170 ppm y de Bisulfito entre 70 y 80 ppm.

Fig. IV.13
Superficie de respuesta de la variación de Puntaje total con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 3)

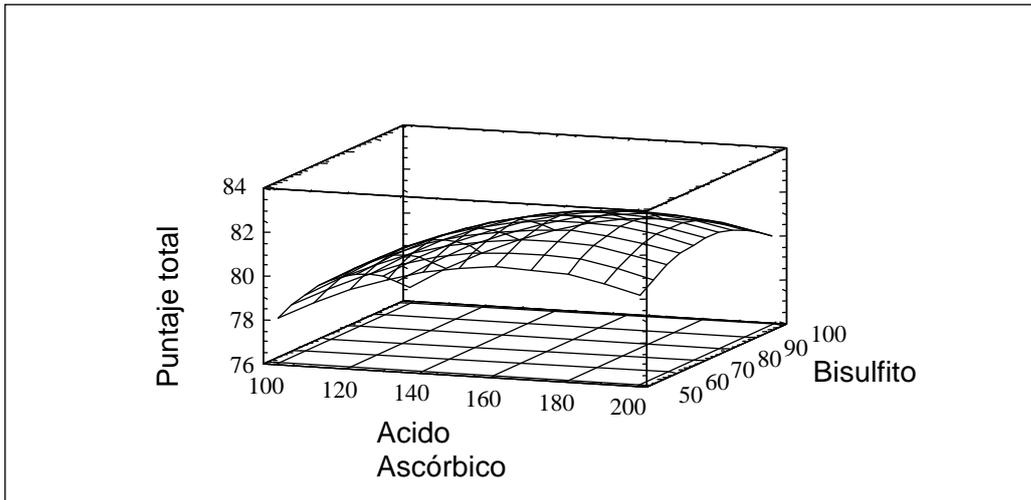
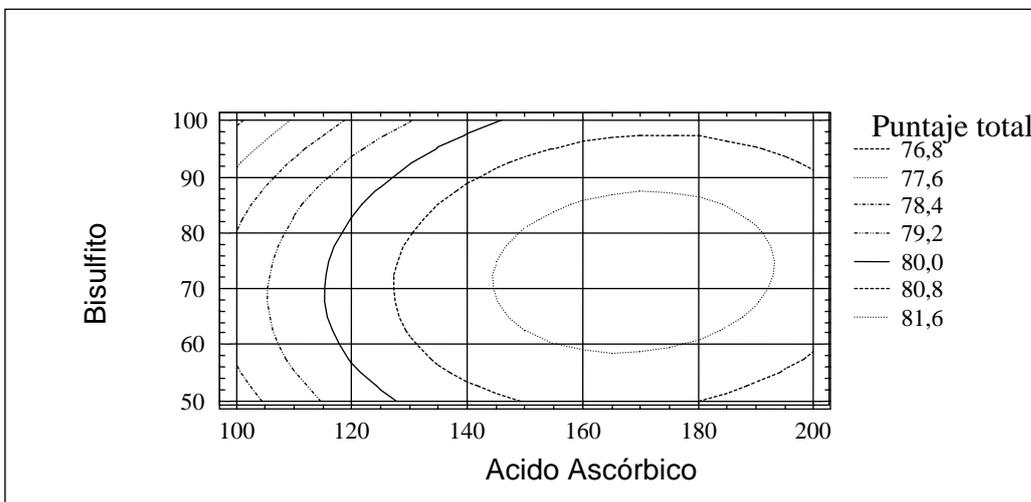


Fig. IV.14
Curvas de Contorno de la variación de Puntaje total con la concentración De Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 3)



Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio (día 3)

En el Análisis de Varianza (ANOVA), que se presenta en la tabla IV.22 ningún efecto tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que no son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 85,11 % en panel día 3. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 1,43.

Tabla IV.22
Análisis de Varianza del Puntaje total para la concentración
de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 3)

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	51,46	1	51,46	9,31	0,0927
B:Bisulfito	40,48	1	40,48	7,33	0,1137
AA	21,61	1	21,61	3,91	0,1866
AB	27,75	1	27,75	5,02	0,1543
BB	24,14	1	24,14	4,37	0,1717
<i>Lack of fit</i>	15,50	11	1,41	0,25	0,9482
Error Total	11,05	2	5,52		

r^2 estadístico: 85,11 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)=79,80 por ciento.

Error estándar: 1,43

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se presenta en la Fig. IV.15 se observa el comportamiento de Puntaje total (Panel día 3) a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando el nivel de oxidante disminuye el Puntaje total al contrario de lo que ocurre con el reductor donde un aumento del mismo provoca un crecimiento del puntaje.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Fig. IV.16 se puede analizar el comportamiento de la variable Puntaje total (Panel día 3) a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar que los mayores valores del mismo se presentan en un

nivel de ADA de 100 ppm y de Bisulfito de 50 ppm, como así también elevados valores para 200 ppm de ADA y 100 ppm de Bisulfito.

Fig. IV.15

Superficie de respuesta de la variación de Puntaje total con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 3)

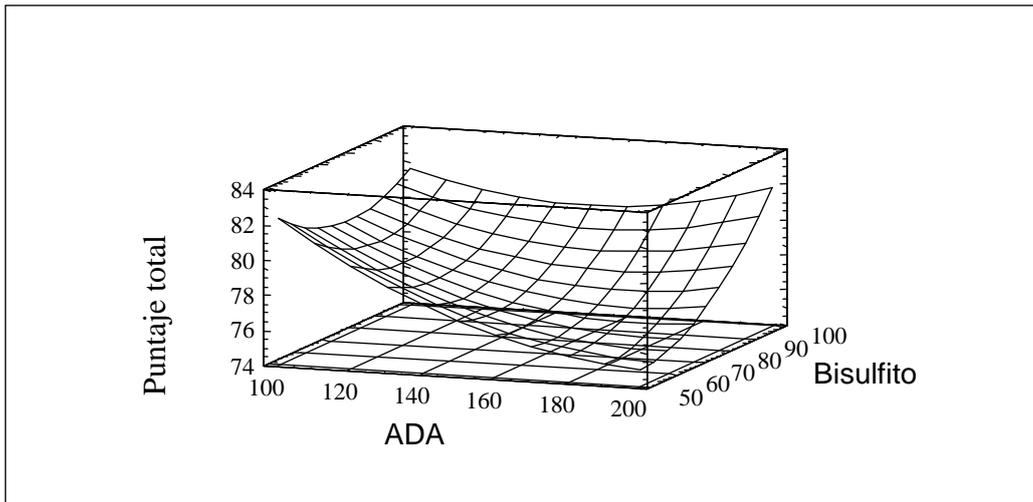
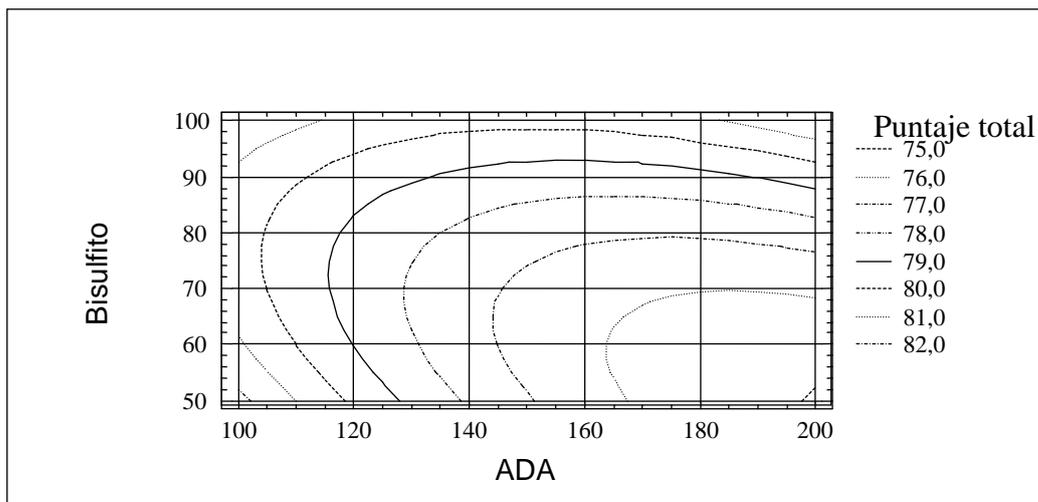


Fig. IV.16

Curvas de Contorno de la variación de Puntaje total con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 3)



Panel día 7**Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 7)**

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA). Este análisis fue utilizado para determinar el significado estadístico de los diferentes efectos. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla IV.23

En este caso, ácido ascórbico tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero a un nivel de confianza de 95 %.

El *test de lack of fit* está diseñado para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para los datos obtenidos o si se debería usar otro más complejo. El test compara la variabilidad de los residuos actuales con la de las réplicas de los factores. Como el valor de P para el *test de lack of fit* en el ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de 76,79 en panel día 7. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 1,30.

Tabla IV.23

**Análisis de Varianza de Puntaje total para la concentración
de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 7)**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	36,75	1	36,75	23,98	0,0393
B:Bisulfito	1,48	1	1,48	0,96	0,4295
AA	22,32	1	22,32	14,57	0,0623
AB	0,01	1	0,01	0,01	0,9395
BB	22,68	1	22,68	14,80	0,0614
<i>Lack of fit</i>	19,06	11	1,73	1,13	0,5597
Error total	3,06	2	1,53		

r^2 estadístico: 76,79 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)=68,50 por ciento.

Error Estándar: 1,30

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se muestra en la Fig. IV.17, se observa el comportamiento del Puntaje total (Panel día 7) a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando los niveles de aditivos aumenta el puntaje día 7 hasta un determinado valor a partir del cual comienza a disminuir.

Mediante las curvas de contornos que se muestran en la Fig. IV.18 se puede analizar el comportamiento de la variable Puntaje total (Panel día 7) a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar que los mayores valores del mismo se presentan en un nivel de Acido Ascórbico de 170 ppm y de Bisulfito entre 70 y 80 ppm.

Fig. IV.17
Superficie de respuesta de Puntaje total con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 7)

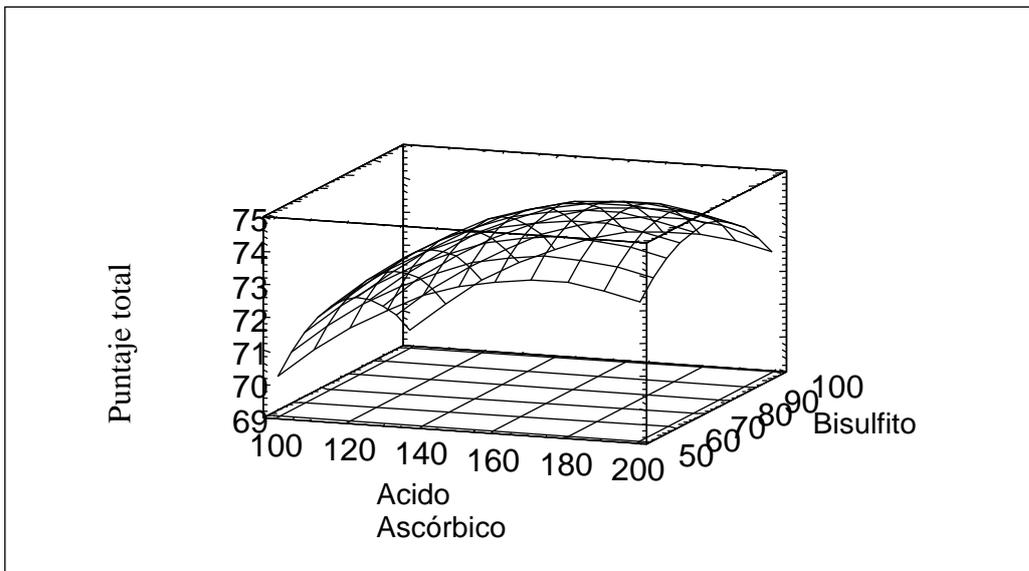
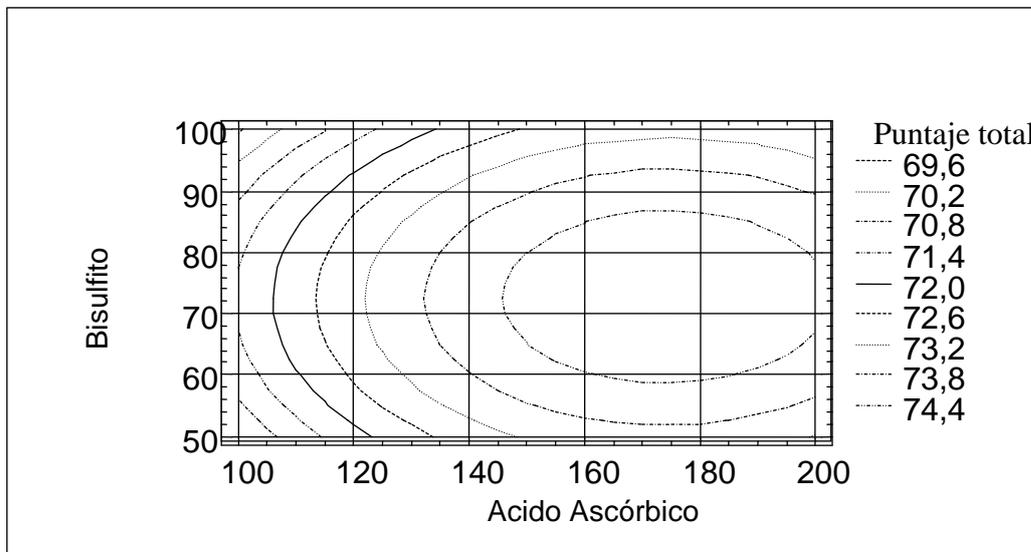


Fig. IV.18
Curvas de Contorno de la variación de Puntaje total con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio (Panel día 7)



Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio (día 7)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA). Este análisis fue utilizado para determinar el significado estadístico de los diferentes efectos. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla IV. 24.

En este caso, bisulfito tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que es significativamente diferente a cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 87,98 % en Panel día 7. El error estándar de lo estimado muestra un valor de de 1,30.

Tabla IV.24

**Análisis de Varianza de Puntaje total para la concentración
de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 7)**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	47,08	1	47,08	12,45	0,0718
B:Bisulfito	72,65	1	72,65	19,21	0,0483
AA	7,25	1	7,25	1,92	0,3004
AB	13,78	1	13,78	3,64	0,1965
BB	26,91	1	26,91	7,11	0,1165
<i>Lack-of-fit</i>	14,56	11	1,32	0,35	0,8999
Error total	7,56	2	3,78		

r^2 estadístico: 87,98 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)= 83,69 por ciento.

Error estándar: 1,30

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se muestra en la Fig. IV.19, se observa el comportamiento de Puntaje total (Panel día 7) a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentándole nivel de ADA disminuye el puntaje día 7 y el mismo aumenta al aumentar los niveles de Bisulfito.

Mediante las curvas de contorno, que se muestran en la Fig. IV. 20 se puede analizar el comportamiento de la variable Puntaje total (Panel día 7) a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar el puntaje óptimo se presenta con un nivel de ADA de 100-200 ppm y de Bisulfito alrededor de 100 ppm.

Figura IV.19

Superficie de respuesta de la variación de Puntaje total con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 7)

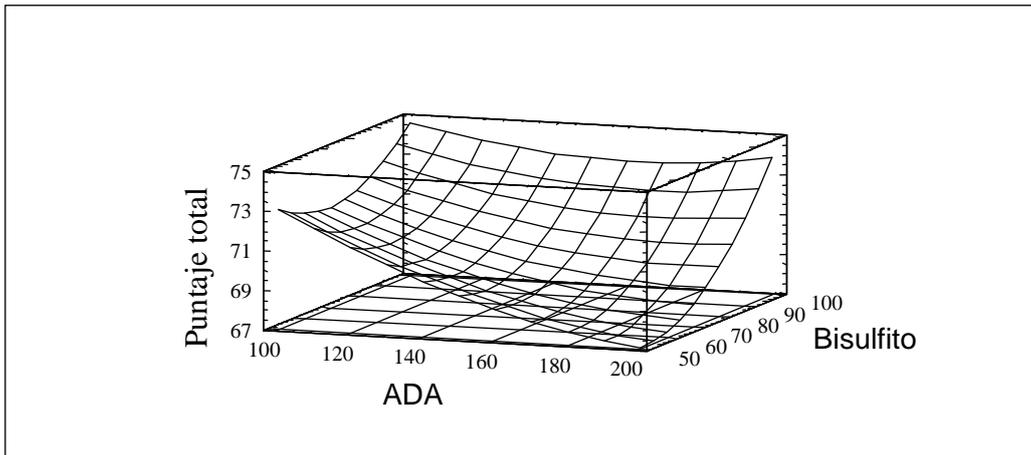
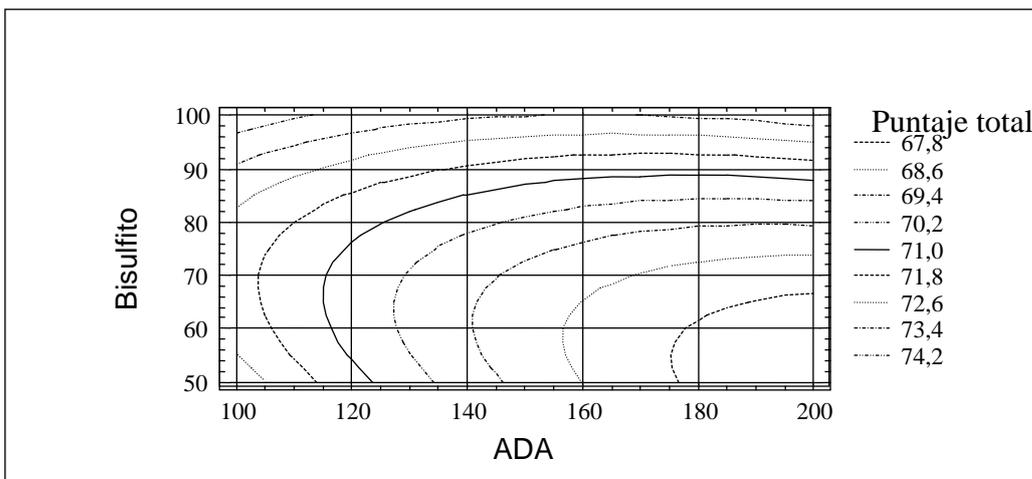


Figura IV.20

Curvas de Contorno de la variación de Puntaje total con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio (Panel día 7)



IV.2.3.4 Humedad

Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 0)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA). Este análisis fue utilizado para determinar el significado estadístico de los diferentes efectos. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla IV.25. En este caso, ácido ascórbico tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 70,59 % en Humedad día 0. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,66.

Tabla IV.25

Análisis de Varianza de Humedad día 0 para la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	9,62	1	9,62	52,69	0,0185
B:Bisulfito	1,56	1	1,56	8,53	0,1000
AA	0,96	1	0,96	5,29	0,1481
AB	0,98	1	0,98	5,37	0,1464
BB	0,09	1	0,09	0,50	0,5524
<i>Lack of fit</i>	5,38	11	0,49	2,68	0,3028
Error total	0,36	2	0,18		

r^2 estadístico: 70,59

r^2 (ajustado por d.f.)= 60,09 por ciento

Error estándar: 0,66

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se muestra en la Fig. IV.21 se analizó el comportamiento de Humedad día 0 a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que el nivel de Bisulfito no influye como el de Acido Ascórbico el cual influye de manera significativa.

Mediante las curvas de contornos que se muestran en la Fig. IV.22 se puede analizar el comportamiento de la variable Humedad día 0 a diferentes niveles de aditivos. La mayor retención acuosa en pan se produce con valores de ácido ascórbico cercanos a 100 ppm

Figura IV.21

Superficie de respuesta de la variación de la Humedad de día 0 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio

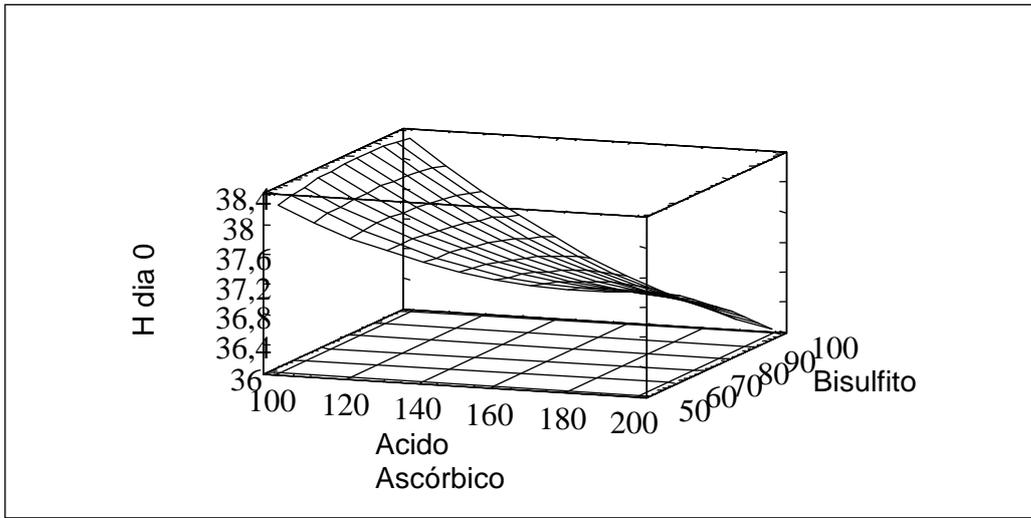
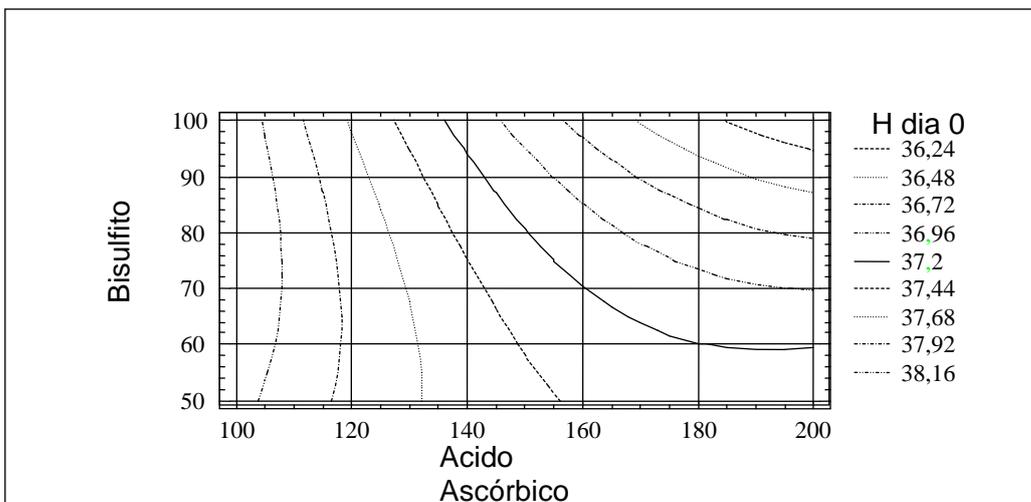


Figura IV.22

Curvas de Contorno de la variación de la Humedad de día 0 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio



Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio (día 0)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA), que se presenta en la Tabla IV.25. En este análisis, ningún efecto tiene un valor de P menor de 0,05, indicando que no son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de 51,83 % en Humedad día 0. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,61.

Tabla IV.26

Análisis de Varianza de Humedad día 0 para la concentración de ADA y Bisulfito de sodio

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	0,85	1	0,85	4,00	0,1833
B:Bisulfito	0,60	1	0,60	2,83	0,2343
AA	0,59	1	0,58	2,76	0,2387
AB	1,53	1	1,53	7,21	0,1153
BB	2,09	1	2,09	9,84	0,0884
<i>Lack of fit</i>	4,43	11	0,40	1,90	0,3955
Error total	0,42	2	0,21		

r^2 estadístico: 51,83 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)= 34,63 por ciento.

Error estándar: 0,61

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se aprecia en la Fig. IV.23 se observa el comportamiento de la Humedad día 0 a diferentes niveles de aditivos.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Fig. IV.24 se puede analizar el comportamiento de la variable Humedad día 0. Los mayores niveles de retención acuosa del pan se dan a valores de ADA cercanos a 200 ppm y de Bisulfito de aproximadamente 50 ppm, como así también cuando ambas variables simultáneamente tienen valores alrededor de 100 ppm.

Figura IV.23
Superficie de respuesta de la variación de la Humedad de día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio

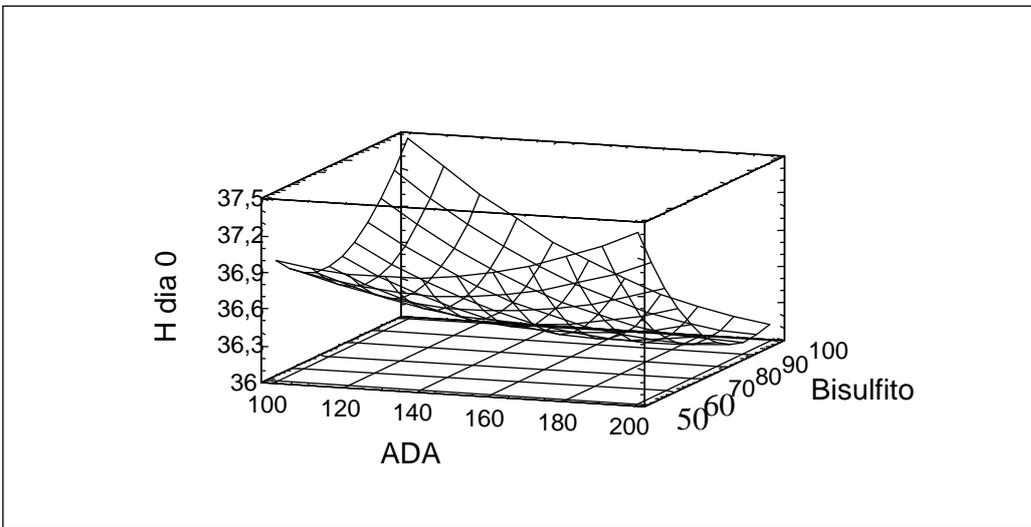
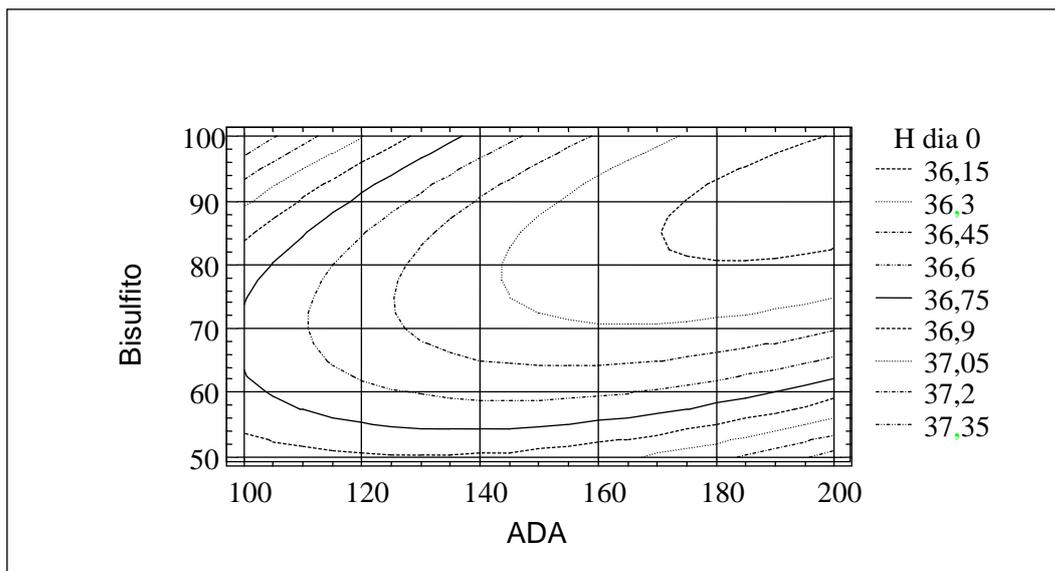


Fig. IV.24
Curvas de Contorno de la variación de la Humedad de día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito de sodio



Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 7)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA) para Humedad día 7, se presenta en la Tabla IV.27. En este análisis, ácido ascórbico, bisulfito y ácido ascórbico al cuadrado tienen valor de P menores a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05, el modelo resulta ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95%.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 75,78. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,56.

Tabla IV.27

**Análisis de Varianza de Humedad día 7 para la concentración
de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	8,21	1	8,21	131,39	0,0075
B:Bisulfito	1,86	1	1,86	29,84	0,0319
AA	1,33	1	1,33	21,26	0,0440
AB	0,60	1	0,60	9,68	0,0896
BB	0,13	1	0,13	2,06	0,2874
<i>Lack of fit</i>	4,02	11	0,36	5,84	0,1551
Error total	0,12	2	0,06		

r^2 estadístico= 75,78 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.) 67,14 por ciento.

Error estándar: 0,56

Mediante la metodología de superficie de respuesta, cuya gráfica se observa en la Fig. IV.25 al ir aumentando el nivel de Acido Ascórbico disminuye la Humedad. El nivel de Bisulfito no influye tan marcadamente.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Fig IV.26 se puede analizar el comportamiento de la variable Humedad día 7 a diferentes niveles de aditivos. Los mayores niveles de retención acuosa del pan después de siete días, se producen a

niveles de Acido Ascórbico de aproximadamente 100 ppm y de Bisulfito entre 50 y 100 ppm.

Fig. IV.25

Superficie de respuesta de la variación de la Humedad de día 7 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio

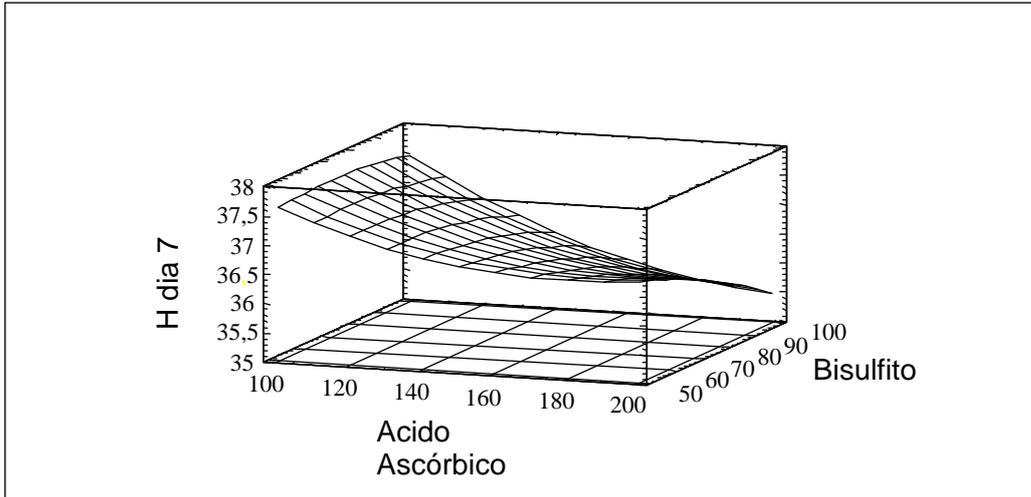
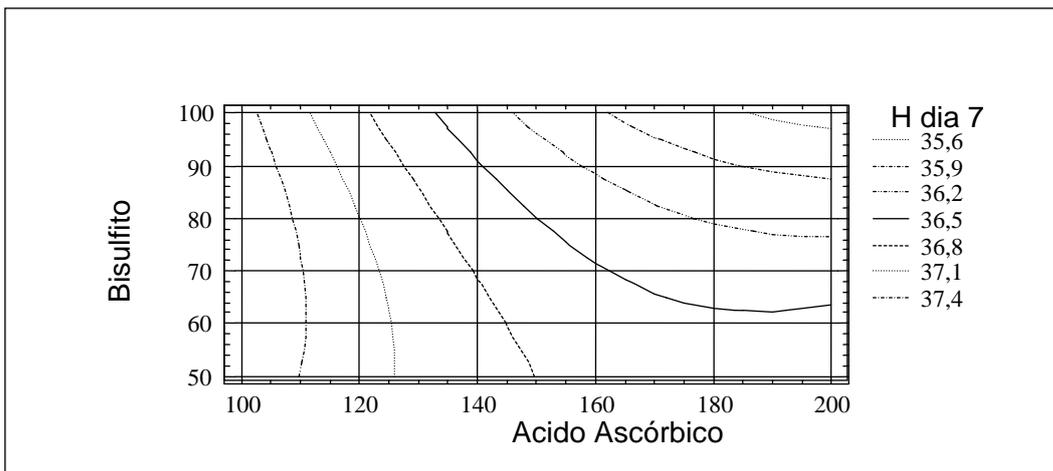


Figura IV.26

Curvas de Contorno de la variación de la Humedad de día 7 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio



Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio (día 7)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA), se presenta en la Tabla IV.28. En este análisis, ADA al cuadrado, ADA-bisulfito y bisulfito al cuadrado tienen un valor de P menor a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de 50,87 en Humedad día 7. El error estándar de lo estimado muestra un valor de: 0,56.

Tabla IV.28

**Análisis de Varianza de Humedad día 7 para la concentración
de ADA y Bisulfito de sodio**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	0,51	1	0,51	8,11	0,1043
B:Bisulfito	9,22E-11	1	9,22E-11	0,00	1,0000
AA	1,75	1	1,75	28,00	0,0339
AB	1,44	1	1,44	23,12	0,0406
BB	1,20	1	1,20	19,22	0,0483
Lack-of-fit	3,99	11	0,36	5,81	0,1559
Error total	0,12	2	0,06		

r^2 estadístico: 50,87

r^2 (ajustado por d.f.)= 33,32 por ciento

Error estándar: 0,56

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se muestra en la Fig. IV.27, se observa el comportamiento de la Humedad día 7 a diferentes niveles de aditivos.

Mediante las curvas de contornos que se muestran en la Fig IV.28 se puede analizar el comportamiento de la variable Humedad día 7 a diferentes niveles de aditivos. Se puede observar que los mayores valores del mismo se presentan en un nivel de ADA y de Bisulfito de aproximadamente 100 ppm.

Fig. IV.27

Superficie de respuesta de la variación de la Humedad de día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito

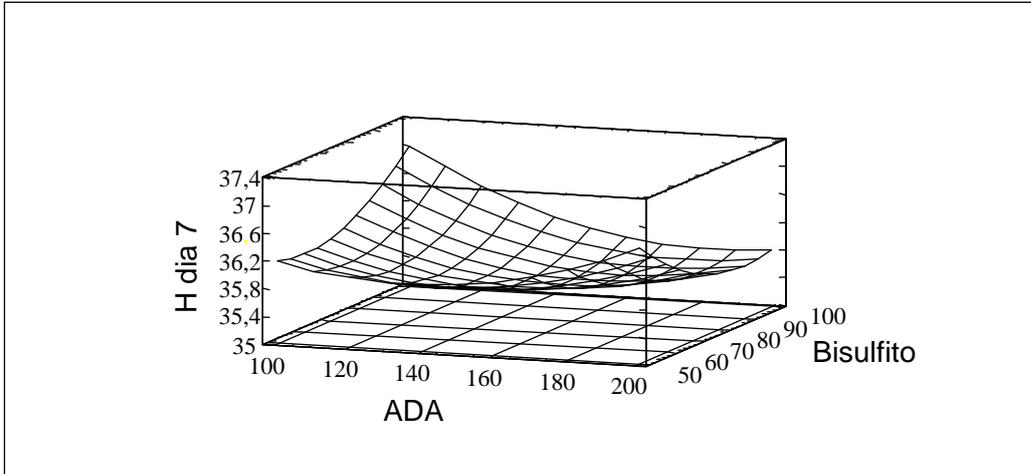
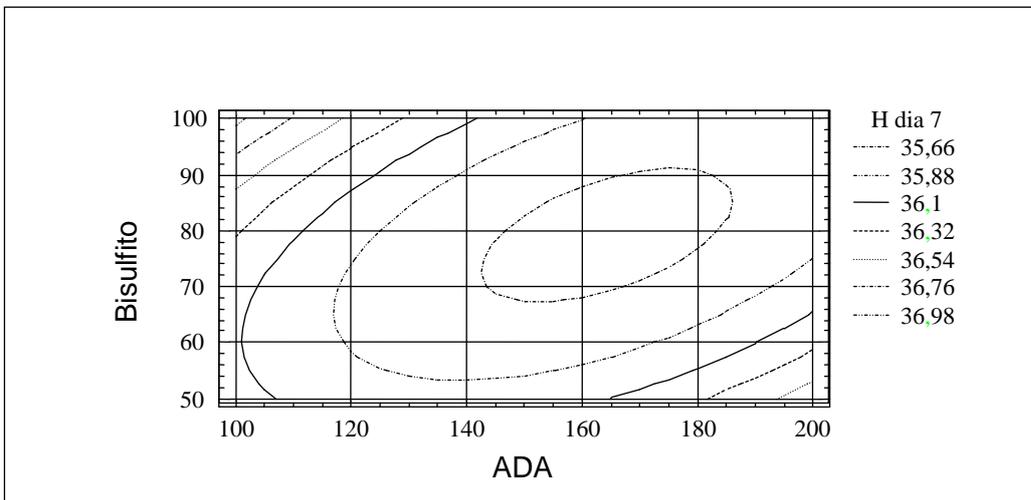


Fig. IV.28

Curvas de Contorno de la variación de la Humedad de día 7 con la concentración de ADA y Bisulfito



IV.2.3.5. Textura

Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 0)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA), que se presenta en la Tabla IV.29.

En este análisis, ácido ascórbico, bisulfito, ácido ascórbico al cuadrado y bisulfito al cuadrado tienen valores de P menores a 0,05, indicando que son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 71,70. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,45.

Tabla IV.29

**Análisis de Varianza de Textura día 0 para la concentración
de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	2,04	1	2,04	45,30	0,0214
B:Bisulfito	2,20	1	2,20	48,93	0,0198
AA	1,72	1	1,72	38,34	0,0251
AB	0,12	1	0,12	2,78	0,2375
BB	1,44	1	1,44	32,00	0,0299
<i>Lack of fit</i>	2,54	2	0,04	5,14	0,1741
Error total	0,09	2	0,045		

r^2 estadístico: 71,70 por ciento.

r^2 (ajustado por d.f.)=61,60 por ciento.

Error estándar: 0,45

Mediante las curvas de superficie de respuesta que se muestran en la Fig. IV.29 se puede comprobar que a medida que aumentan los niveles de aditivos también aumentan los valores de puntaje asignado a la Textura (día 0), pasando por un máximo.

En las curvas de contorno de la Fig IV.30 se puede observar que se obtienen los mayores valores del puntaje a la Textura (día 0) en la zona correspondiente de: Acido Ascórbico 170 ppm, Bisulfito entre 70-80 ppm.

Fig. IV.29

Superficie de Respuesta de la variación de la Textura de día 0 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito

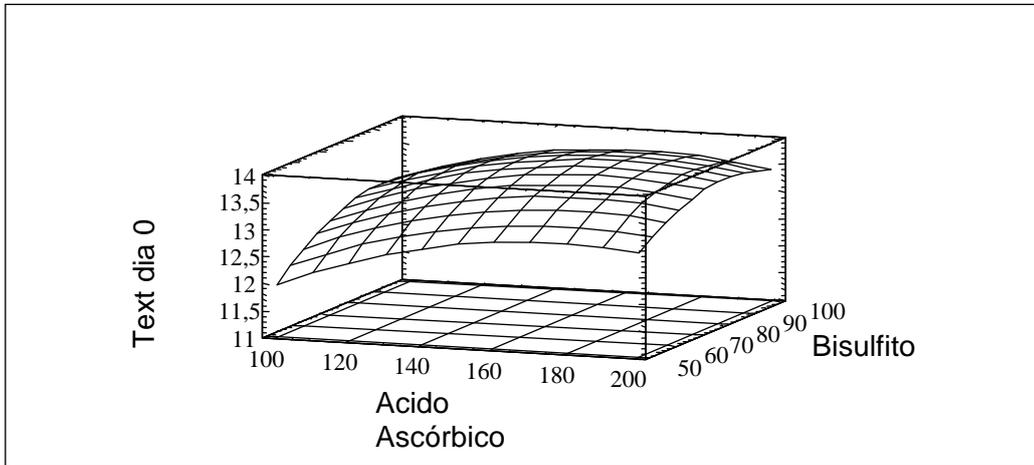
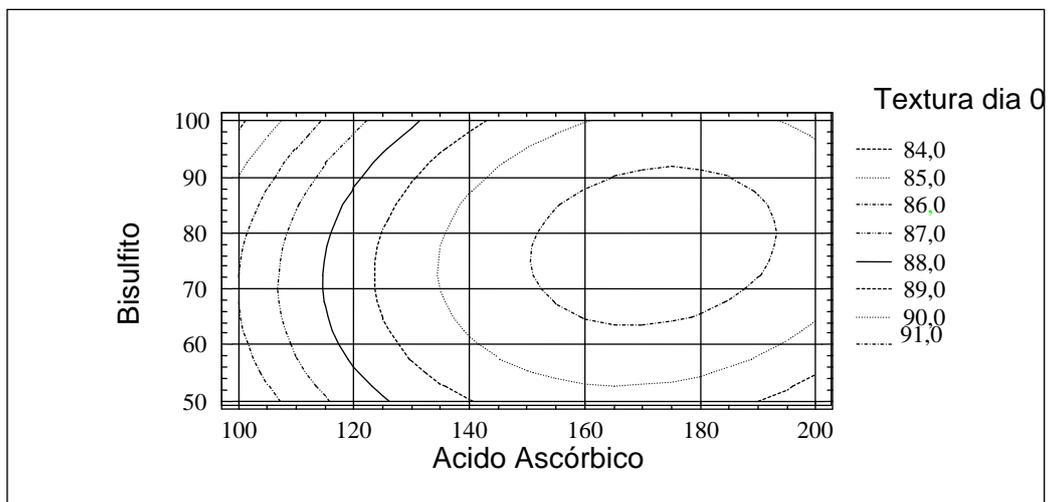


Fig. IV.30

Curvas de Contorno de la variación de la Textura de día 0 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito



Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio (día 0)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA), que se presenta en la Tabla IV.30. En este análisis, ningún efecto tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que no son significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %. Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05 el modelo resulta ser adecuado para los datos obtenidos.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 78,31%. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,26.

Tabla IV.30

Análisis de Varianza de Textura día 0 para la concentración de ADA y Bisulfito

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	0,85	1	0,85	9,44	0,0916
B:Bisulfito	1,37	1	1,37	15,26	0,0597
AA	0,09	1	0,09	1,02	0,4196
AB	0,72	1	0,72	8,00	0,1056
BB	0,09	1	0,09	1,02	0,4196
<i>Lack of fit</i>	0,71	11	0,06	0,72	0,7090
Error total	0,18	2	0,09		

r^2 estadístico: 78,31 por ciento.

r^2 (ajustado por d.f.)= 70,56 por ciento

Error estándar: 0,26.

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se observa en la Fig. IV.31, se observó el comportamiento de Textura día 0 a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando el nivel de aditivos aumenta el puntaje a la Textura día 0. En el gráfico de curvas de contorno, de Fig. IV.32 se puede observar que el mayor puntaje de Textura día cero corresponde a aproximadamente 100 ppm de Bisulfito y entre 100 y 200 ppm de ADA.

Fig. IV.31
Superficie de respuesta de la variación de la Textura de día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito

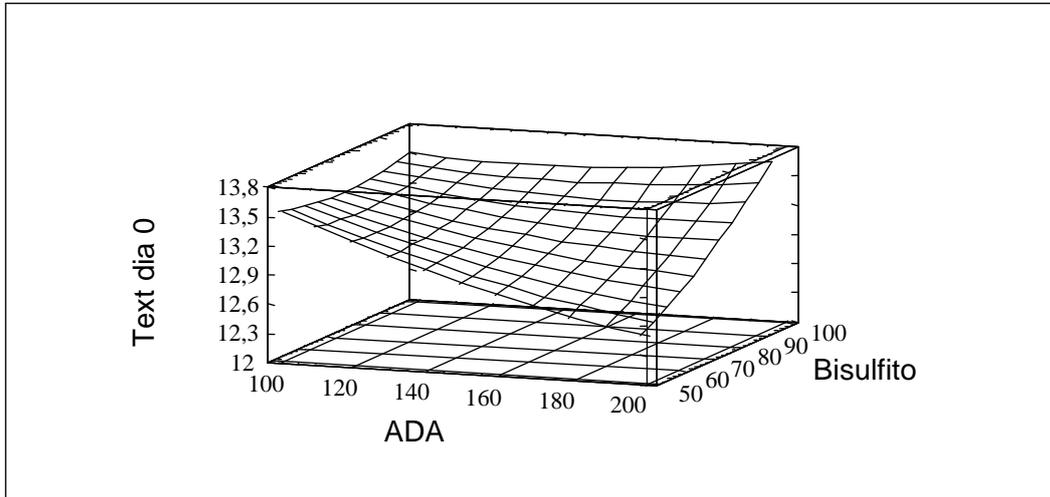
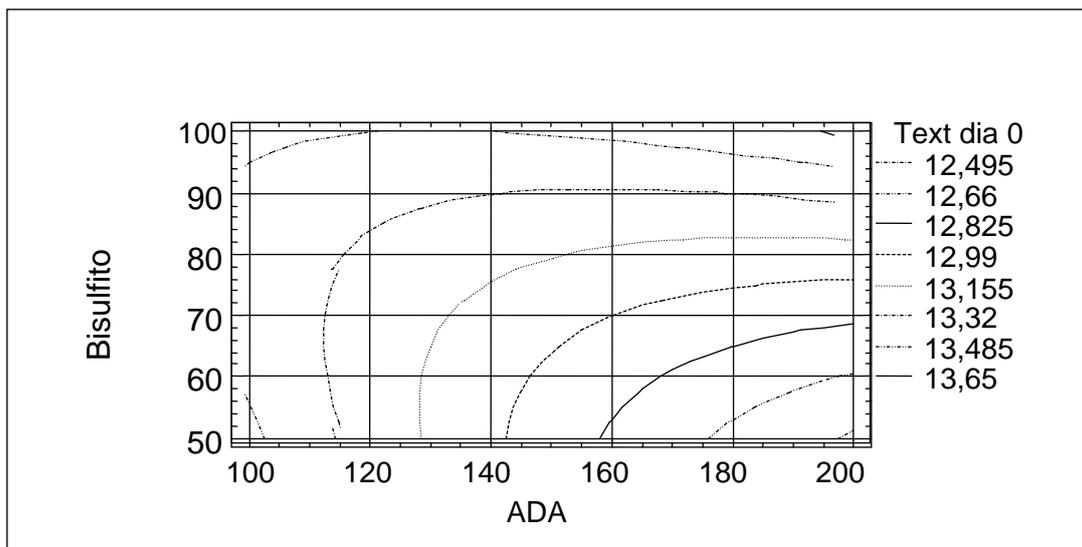


Fig. IV.32
Curvas de Contorno de la variación de la Textura de día 0 con la concentración de ADA y Bisulfito



Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 3)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA), que se presenta en la Tabla IV.31. En este análisis, bisulfito tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 55,17. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,49.

Tabla IV.31

**Análisis de Varianza de Textura día 3 para la concentración
de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	0,08	1	0,08	0,54	0,4786
B:Bisulfito	1,07	1	1,07	7,29	0,0207
AA	0,38	1	0,38	2,57	0,1373
AB	0,06	1	0,06	0,42	0,5316
BB	0,00	1	0,00	0,00	0,9808
<i>Lack of fit</i>	0,12	3	0,04	0,28	0,8382
Error total	1,62	11	0,15		

r^2 estadístico: 55,17 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)= 39,16 por ciento.

Error estándar = 0,49.

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se muestra en la Fig. IV.33, se observa el comportamiento de la Textura día 3 a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando los niveles de Bisulfito aumenta el puntaje de Textura día 3 y que los valores máximos de puntaje corresponden a un valor de Acido Ascórbico entre 140 y 180 ppm y de Bisulfito de 100 ppm. En el gráfico de curvas de contorno de la Fig. IV.34 se puede observar con más precisión lo apuntado anteriormente.

Fig. IV.33

Superficie de respuesta de la variación de la Textura de día 3 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito de Sodio

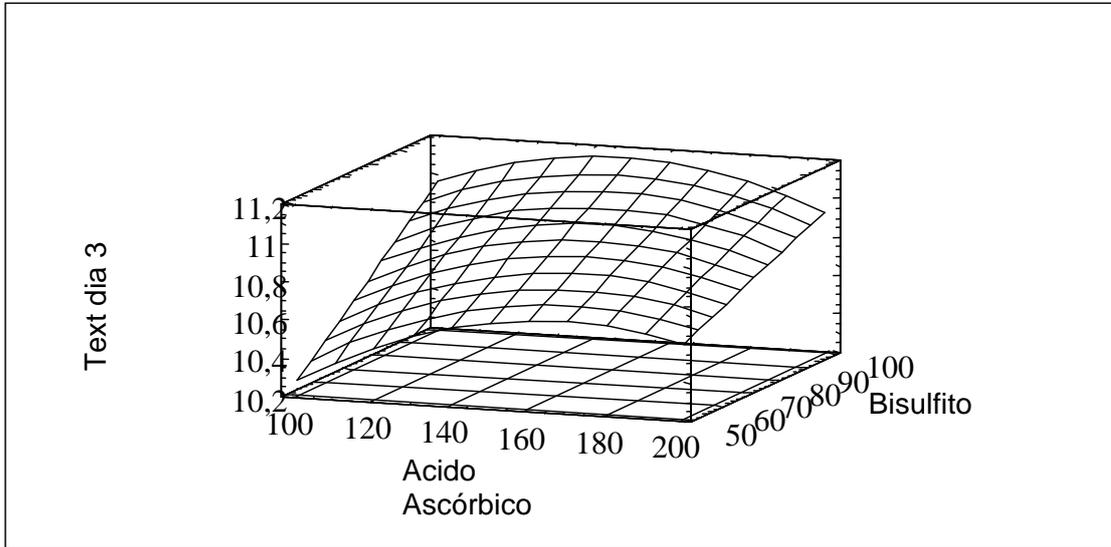
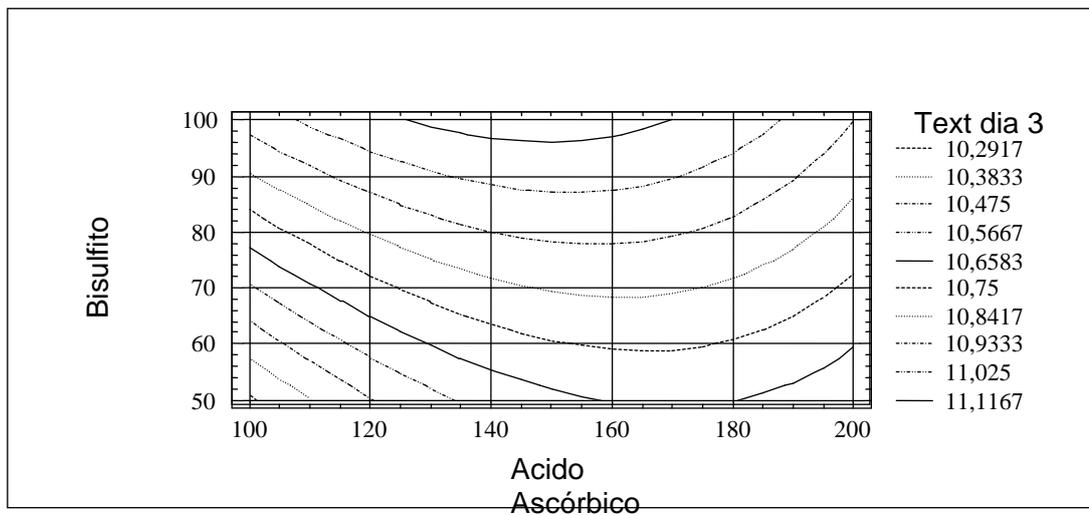


Fig. IV.34

Curvas de Contorno de la variación de la Textura de día 3 con la concentración de Ácido Ascórbico y Bisulfito de Sodio



Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio (día 3)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA) que se presenta en la Tabla IV.32. En este análisis, ADA tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero a un nivel de confianza de 95 % por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula ya que no hay diferencias significativas entre las medias de los grupos.

Como el valor de P para el *lack of fit* es mayor a 0,05 el modelo parece ser adecuado para los datos obtenidos con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 76,96 %. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,41.

Tabla IV.32
Análisis de varianza de Textura de día 3 para la concentración
de ADA y Bisulfito de Sodio.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	3,27	1	3,27	26,69	0,0355
B:Bisulfito	1,64	1	1,64	13,38	0,0673
AA	1,16	1	1,16	9,47	0,0913
AB	0,12	1	0,12	1,02	0,4188
BB	0,60	1	0,60	4,90	0,1573
<i>Lack of fit</i>	1,92	11	0,17	1,43	0,4831
Error total	0,24	2	0,12		

r^2 estadístico: 76,96 por ciento

r^2 (ajustado por d.f.)= 68,73 por ciento.

Error estándar = 0,41

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se muestra en la Fig. IV.35 se observa el comportamiento de Textura día 3 a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando el nivel de ADA y de Bisulfito el puntaje a la Textura día 3 resulta cambiante, pasando por un mínimo.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Fig. IV.36 se puede analizar el comportamiento de la variable Textura día 3 a diferentes niveles de aditivos. Al tercer día los panes tienen un óptimo a niveles de Bisulfito de 100 ppm y de ADA de aproximadamente 100 ppm.

Fig. IV.35
Superficie de respuesta de la variación de la Textura de día 3 con la concentración de ADA y Bisulfito de Sodio

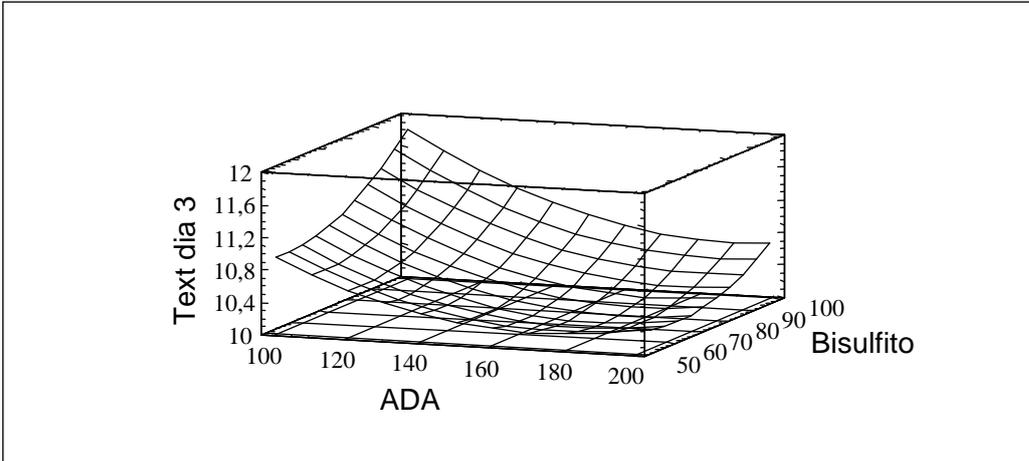
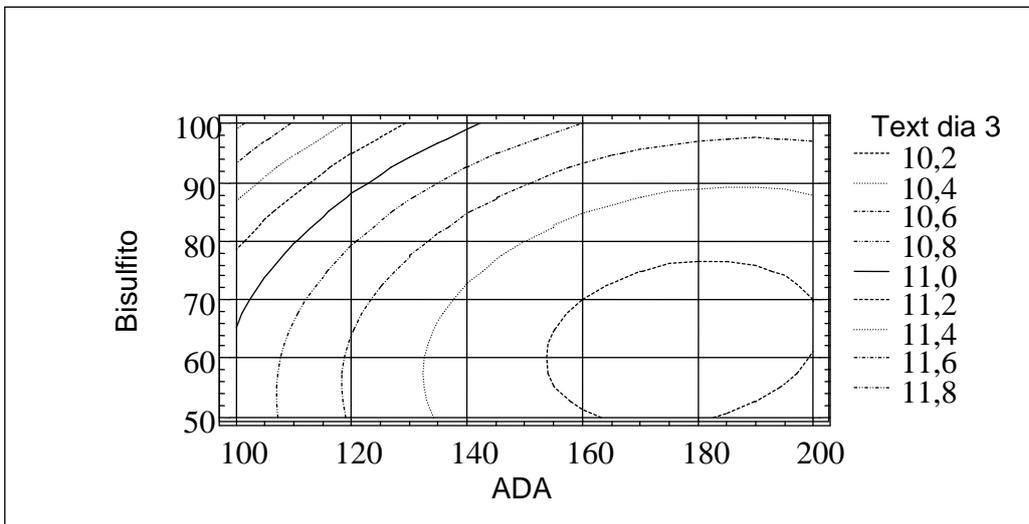


Fig. IV.36
Curvas de Contorno de la variación de la Textura de día 3 con la concentración de ADA y Bisulfito de Sodio



Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio (día 7)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA que se presenta en la Tabla IV.36. En este análisis, bisulfito tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que es significativamente diferente de cero a un nivel de confianza de 95 %.

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor de 0,05, el modelo parece ser adecuado para los datos obtenidos con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de un 73,12%. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,40.

Tabla IV.33

**Análisis de Varianza de Textura día 7 para la concentración
de Acido Ascórbico y Bisulfito de sodio**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:AcAsc	0,64	1	0,64	5,24	0,1493
B:Bisulfito	4,77	1	4,77	38,93	0,0247
AA	0,22	1	0,22	1,82	0,3095
AB	0,08	1	0,08	0,65	0,5039
BB	0,03	1	0,03	0,24	0,6750
<i>Lack of fit</i>	1,86	11	0,17	1,38	0,4929
Error total	0,24	2	0,12		

r^2 estadístico: 73,12 por ciento.

r^2 (ajustado por d.f.)= 63,53 por ciento

Error estándar =0,40.

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se indica en la Fig. IV.37 se observa el comportamiento de Textura día 7 a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando el nivel de Acido Ascórbico disminuye el puntaje a la Textura día 7 y ésta aumenta al aumentar el nivel de Bisulfito.

Mediante las curvas de contorno que se muestran en la Fig. IV.38 se puede observar al séptimo día los panes presentan un óptimo a niveles de aproximadamente 100 ppm de Bisulfito y de Acido Ascórbico entre 100 y 150 ppm.

Fig. IV.37

Superficie de respuesta de la variación de la Textura de día 7 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de Sodio

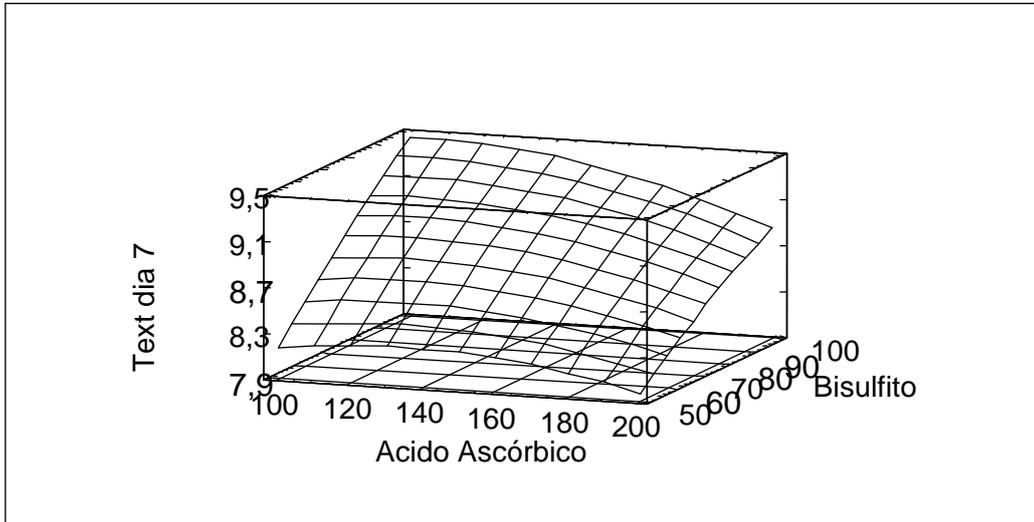
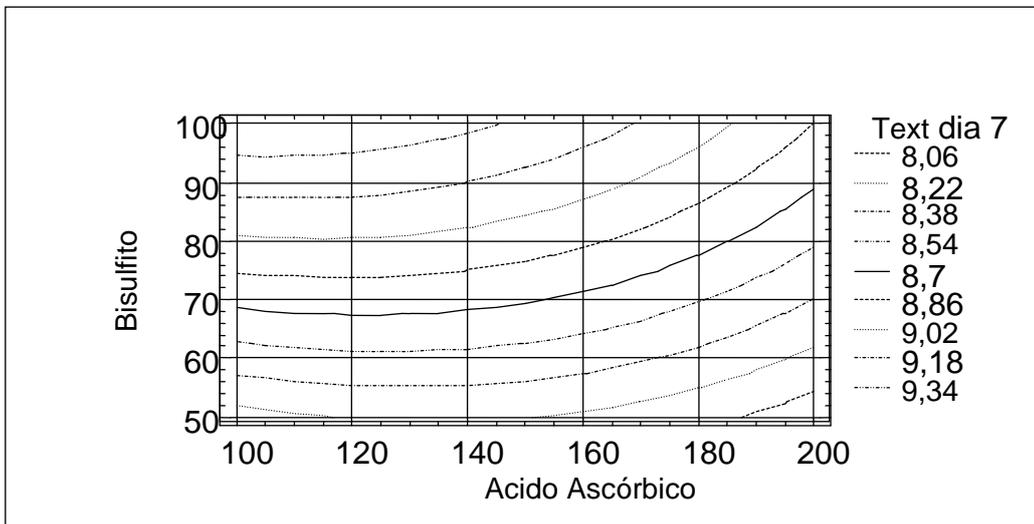


Fig. IV.38

Curvas de Contorno de la variación de la Textura de día 7 con la concentración de Acido Ascórbico y Bisulfito de Sodio



Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio (día 7)

Se efectuó el Análisis de Varianza (ANOVA) que se presenta en la Tabla IV.34. En este análisis, bisulfito tiene un valor de P menor a 0,05, indicando que es significativamente diferentes de cero a un nivel de confianza de 95 %

Como el valor de P para el *lack of fit* en la tabla ANOVA es mayor a 0,05 el modelo resulta ser adecuado para los datos observados con un nivel de confianza del 95 %.

El valor de r^2 estadístico indica que el modelo revela una variabilidad de 79,24 % en Textura día 7. El error estándar de lo estimado muestra un valor de 0,48.

Tabla IV.34

**Análisis de Varianza de Textura día 7 para la concentración
de ADA y Bisulfito de sodio**

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	F	P
A:ADA	4,09	1	4,09	16,35	0,0561
B:Bisulfito	5,68	1	5,68	22,72	0,0413
AA	0,01	1	0,01	0,01	0,9201
AB	0,36	1	0,36	1,44	0,3524
BB	0,26	1	0,26	1,04	0,4148
<i>Lack of fit</i>	2,55	11	0,24	0,93	0,6268
Error total	0,50	2	0,25		

r^2 estadístico: 79,24 por ciento.

r^2 (ajustado por d.f.)= 71,83 por ciento.

Error estándar =0,48.

Mediante la metodología de superficie de respuestas, cuya gráfica se muestra en la Fig.IV.39, se observa el comportamiento de Textura día 7 a diferentes niveles de aditivos. Se puede inferir que al ir aumentando el nivel de ADA disminuye la Textura día 7 y ésta aumenta al aumentar el nivel de Bisulfito.

Mediante las curvas de contornos que se muestran en la Fig. IV. 40 se puede observar que al séptimo día los panes presentan un óptimo a concentraciones de ADA y de Bisulfito de aproximadamente 100 ppm.

Fig. IV.39
Superficie de respuesta de la variación de la Textura de día 7 con
la concentración de ADA y Bisulfito de Sodio

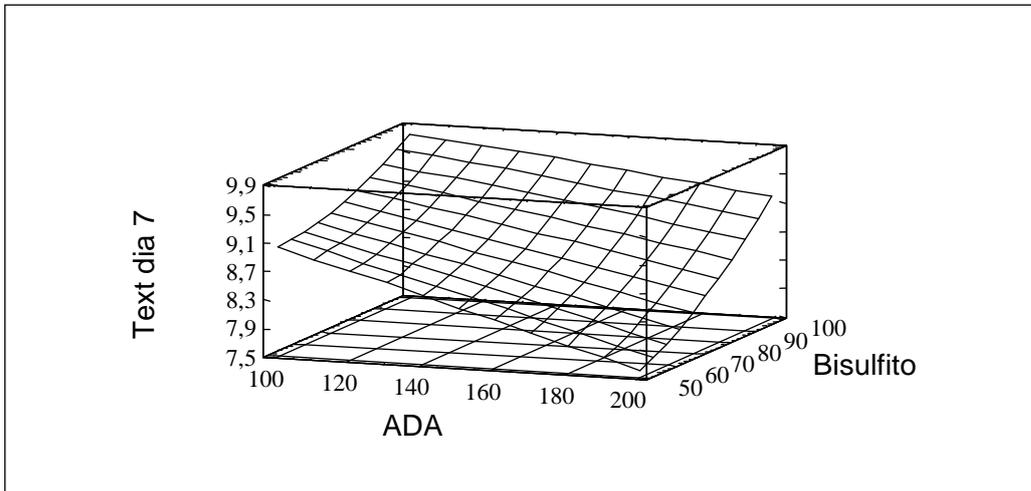
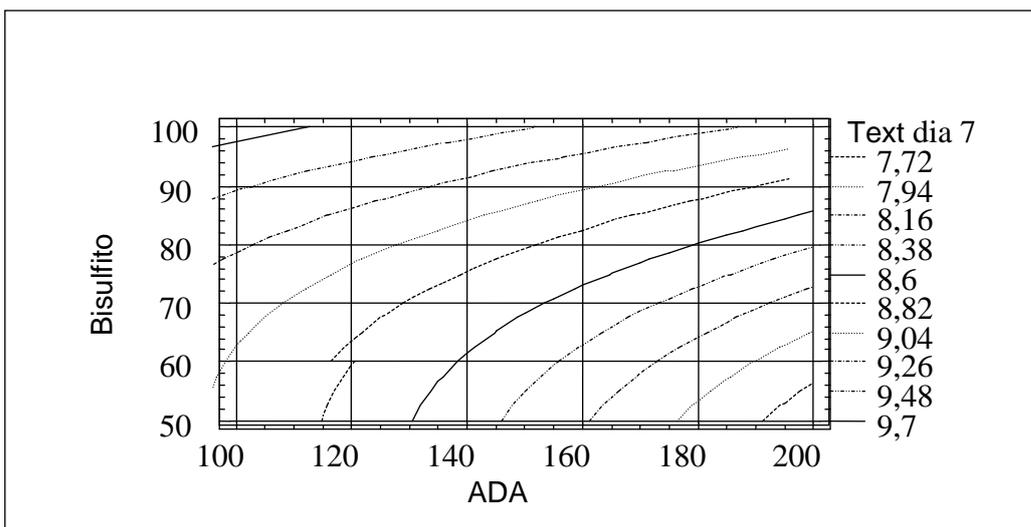


Fig. IV. 40
Curvas de Contorno de la variación de la Textura de día 7 con la concentración de
ADA y Bisulfito de Sodio



IV.2.4 Verificación de modelos Etapa 2

Se realizó una verificación experimental en las condiciones consideradas óptimas. Esto consistió en repetición de corridas, usando la hipótesis de prueba técnica (Montgomery 1991). Las diferencias entre modelos y valores experimentales no fueron significativas (Sánchez et al, 2002).

Para la verificación del diseño experimental se realizaron 4 y 6 corridas respectivamente, con las siguientes condiciones: temperatura de masa: 26 °C, primera fermentación: 40 minutos, segunda fermentación: 75 minutos, cocción: 25 minutos. Los resultados se presentan en Tablas IV.35 y IV.36. Se utilizaron las siguientes combinaciones y concentraciones:

*Acido Ascórbico: 165 ppm- Bisulfito de sodio: 77 ppm.

*Azodicarbonamida: 190 ppm-Bisulfito de sodio: 100 ppm

Se obtuvieron los resultados que se describen a continuación:

*Para la combinación Acido Ascórbico-Bisulfito de sodio se obtuvo un promedio de Volumen específico de 4.74 cc/g y puntaje total de 90.6. Este valor experimental se comparó con el valor teórico que para esta combinación fue de Volumen específico= 4.70 cc/g y Puntaje total de 91.

* Para la combinación Azodicarbonamida-Bisulfito de sodio se obtuvo un promedio de Volumen específico de 4.86 cc/g y Puntaje total de 89.7.

Este valor experimental se comparó con el valor teórico, que para esta combinación fue de: Volumen específico=4.86cc/g y Puntaje total de 90.

TABLA IV.35

Ensayos en el punto óptimo para la combinación Acido Ascórbico – Bisulfito de sodio.

MUESTRA	VOLUMEN cc	PESO g	VE cc/g	VOL		CORTEZA		TEXTURA		COLOR		ESTRUCTURA		AROMA		SABOR		TOTAL 100
				15	15	15	15	10	10	10	10	15	15	20	20			
1	1020	218	4,68	14,0	12	14,3	10	9	13,5	18	90,8							
2	1040	217	4,79	14,4	12	13,5	10	9	13,5	18	90,4							
3	1020	217	4,70	14,1	12	14,3	10	9	13,5	18	90,9							
4	1030	215	4,79	14,4	12	13,5	10	9	13,5	18	90,4							
Promedio	1028	217	4,74	14,2	12	13,9	10	9	13,5	18	90,6							

TABLA IV.36

Ensayos en el punto óptimo para la combinación ADA-Bisulfito de sodio.

MUESTRA	VOLUMEN cc	PESO g	VE cc/g	VOL		CORTEZA		TEXTURA		COLOR		ESTRUCTURA		AROMA		SABOR		TOTAL 100
				15	15	15	15	10	10	10	10	15	15	20	20			
1	1070	217	4,93	14,8	12	13,5	10	8	13,5	18	89,8							
2	1080	217	4,98	14,9	12	13,5	10	8,5	13,5	18	90,4							
3	1040	213	4,88	14,6	12	14,3	10	8	13,5	18	90,4							
4	1100	216	5,09	15,0	12	14,3	10	8	13,5	18	90,8							
5	980	212	4,63	13,9	12	13,5	10	8,5	13,5	17	88,4							
6	1000	215	4,65	14,0	12	13,5	10	8,5	13,5	17	88,5							
Promedio	1045	215	4,86	14,5	12	13,8	10	8,2	13,5	17,7	89,7							

CONCLUSIONES

CAPITULO V

CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados en este estudio permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. De las combinaciones de aditivos propuestas, Azodicarbonamida-Bisulfito de Sodio y Ácido Ascórbico-Bisulfito de Sodio dieron los mejores resultados de volumen específico en la elaboración de panes de molde. En cambio para las combinaciones Azodicarbonamida-Cisteína y Ácido Ascórbico-Cisteína no se encontraron diferencias significativas respecto al testigo tanto en su uso individual como combinado.
2. Con la harina de características tecnológicas débiles (A o B) se observó un mayor efecto de los aditivos sobre los atributos de calidad de los panes, lo que indica que con harinas de características tecnológicas fuertes, el uso de aditivos puede ser innecesario.
3. Con las combinaciones oxidante-reductor seleccionadas los mejores resultados en la elaboración de pan, con una harina de características tecnológicas similares a A en cuanto a volumen específico y evaluación sensorial, se obtuvieron al ir aumentando las concentraciones de aditivos hasta un determinado nivel a partir del cual estos puntajes comenzaron a disminuir. El valor considerado óptimo experimental que coincidió con el valor teórico calculado resultó para las siguientes combinaciones:

-Acido Ascórbico: 165 ppm-Bisulfito de sodio: 77 ppm.

-Azodicarbonamida: 190 ppm-Bisulfito de sodio: 100 ppm.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. AACC (American Association of Cereal Chemists) 1994. *Approved Methods of the AACC*. 8th edn, St. Paul, MN. USA.
2. Alonso de la Paz, F. 1999. *El Libro del Pan y de la Leche*. Editorial Agata. Madrid, pp 96.
3. Allen, W. 1999. *Alternative Oxidants as Dough Conditioners*. Cereal Chem. **9**: 642-649.
4. Antes, S.; Wieser, H. 2001. *Reoxidation Behavior of Wheat and Rye Glutelin Subunits*. Cereal Chem. **8**: 8-13.
5. Areas, J. 1992. *Extrusion of food proteins*. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. **32**: 365-392.
6. Badui Dergal, S. 1999. *Química de los alimentos*. Editorial Pearson Educación. México, pp 648.
7. Belitz, H. D.; Grosch, W. 1988. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia. Zaragoza, España, pp 813.
8. Bloksma, A.H.; Bushuk, W. 1988. Rheology and chemistry of dough. In: *WHEAT: Chemistry and Technology*. Edited by Pomeranz. Y. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Mn. pp 192-193.
9. Boals, G. P. 1948. *Wheat –a World symbol*. Foreign Agr. **12**: 27.
10. Bolsa de Cereales. 2004. *Anuario Estadístico 2002/2003*. Publicación de la Bolsa de Cereales. Buenos Aires, pp 13-25.
11. Bonjean, A.P.; Angus W. 2001. *The World Wheat Book: a history of wheat Breeding*. Lavoisier Publ., Paris, pp 1131.
12. Borlaug, N. E. 1965. Wheat rust and people. *Phytopathology* **55**: 1088-1098.
13. Bourne, G.H. 1989. *Review of Nutrition and Dietetics. Nutritional Value of Cereal Products, Beans and Starches*. Ed. Karger, New York.

14. Briggle, L.W. 1980. Origin and botany of Wheat. In. *Wheat documenta cibageigy.*, pp 6-13. E. Häfliger, ed Basle, Switzerland.
15. Bushuk, W.; Hlynka, I. 1964. Water as a constituent of flour, dough and bread. *Baker's Dig.* **6**:43-46.
16. Bushuk, W. 1998. *Wheat breeding for end-product use.* En: *Wheat: Prospects for global improvement.* J. Braun et al (Eds), pp: 203-211.
17. Büskens, H. 1981. Die Backschule Band 1. Fachlere für Backer. Vol II. Soft Cover. German, pp 306.
18. Calvel, R. 1977. Curso de Panificación. ITA. UNL. Santa Fe. pp: 12.
19. Calvel, R. 1983. La panadería moderna. Capítulo IV. Editorial Americalee. Buenos Aires. Argentina.
20. Campbell, G.; Herrero-Sánchez, R.; Payo-Rodríguez, R.; Merchan M. 2001. *Measurement of dynamic dough density and effect of surfactants and flour type on aeration during mixing and gas retention during proofing.* *Cereal Chem.* **3**: 272-277.
21. Chacón, C. 1975. *Clasificación de las Variedades de Trigo en México.* Laboratorio de Farinología del INIA.
22. Cheftel, J.; Cheftel, M.; 1983. *Introducción a la bioquímica y tecnología de los Alimentos.* Editorial Acribia. Zaragoza. España.
23. Cheftel, J.C; Cuq, J.L.; Lorient, D. 1989. *Proteínas del trigo* Proteínas Alimentarias. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España, pp 235-253.
24. Cherian, G.; Chinachoti, P. 1997. *Action of Oxidants on Water Sorption, ²H Nuclear Magnetic Resonance Mobility, and Glass Transition Behavior of Gluten.* *Cereal Chem.* **74**:312-317.
25. Christensen C. 1982. Storage of Cereal grains and their products. American Association of Cereal Chem. Inc.
26. Cirilli, M.; Ghedini, G.; Rocchi, R., 1971. *Il Germe di grano tenero*, Molini d' Italia.
27. Cochran, W.G.; Cox, G.M. 1957. *Experimental Designs.* 2a .ed. Wiley, Nueva York. USA.

28. Código Alimentario Argentino. De la Canal & Asociados SRL.
29. Collado, M.; De Leyn I. *Relationship between loaf volume and gas retention of dough during fermentation*. Cereal Foods World. **45**: 214-218.
30. Crossland, L.; Favor, H. 1948. *Starch gelatinization studies. II. A method for showing the stages in swelling of starch during heating in the amilograph*. Cereal Chem. **25**: 213-220.
31. Cruz A. 1975. *Cultivo del trigo*. En: Producción de granos y forrajes. Robles Sánchez R. Editorial Limusa. México, pp 591.
32. Curry R. 2000. *El pan de los jesuitas*. Alianza Editorial. Madrid. España, pp 312.
33. Dizionario di tecnica molitoria. 1980. Editorial Chiriotti. Italia.
34. Doerfert, G. 1968. *Improved hydrates of hard monoglycerides*. Baker's Dig. **4**: 42-56.
35. Don, C.; Lichtendonk, W.; Plijter, J.; Hamer R. 2003. *Glutenin macropolymer; a gel formed by glutenin particles*. J. Cereal Science **1**: 1-7.
36. Dreese, P.C.; Faubion, J.M.; Hosney, R.C. 1988. *Dynamic rheological properties of flour, gluten and gluten-starch doughs. II. Effect of various processing and ingredient changes*. Cereal Chem. **65**: 354-359.
37. Every, D., Gilpin, M.J.; Larsen, N.J. 1996. *Ascorbate oxidase levels in wheat and relationship to baking quality*. J. Cereal Sci. **23**: 145-151.
38. Faridi, H. and Rasper V. 1987. *The Alveograph Handbook*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
39. Faubion, J.M.; Dreese, P.C; and Diehl, L.C. 1985. *Dynamic rheological testing of wheat flour doughs*. in: Rheology of Wheat Products. H. Faridi, ed. Am assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN. Pp:91-116
40. Fitchett, C. ; Frazier, P. 1986. *Action of Oxidants and Other Improvers*. In: Chemistry and Physics of Baking. Edited by Jm Blanshard. P Frazier,

- and T. Galliard. 1986. The Royal Society of Chemistry. Burlington House. London. UK, pp 179-198.
41. Fresco, L. 2000. *Scientific and ethical challenges in agriculture to meet human needs*. Food, nutrition and agriculture. *FAO*. **27**:4-13.
 42. Gómez, E.R. 1989. Elaboración, Análisis y Principales Usos de las Harinas de Trigo. Seminario Opción III-A. Universidad Autónoma de Nuevo León, N.L. México.
 43. Gross, H.; Redfern, S.; Bell, R.; Fischer, F. 1968. *Research with a pilot-scale continuous-breadmaking unit*. VI. *Buffering effects of calcium propionate in no-flour brews*. *Cereal Sci*. **13**: 346-348.
 44. Hale, H. ; Carlson, W. 1969. *Vital wheat gluten*. *Baker's Dig*. **6**: 43-52.
 45. Hanson, H.; Bourlag, N.; Anderson, R. 1982. *Wheat in the third world*. Boulder, Co USA, Westview Press.
 46. Hosney, R.; Finney K.; Pomeranz, Y.; Shorgen, M. 1969. *Functional (Breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components*. V: Role of total extractable lipids. *Cereal Chem*. **46**: 606-610.
 47. Hosney, C. 1998. *Proteins of Cereals*. In: Principles of Cereal, Science and Technology. Edit. Hosney, pp 65-101.
 48. Hyde, M.; Baker, A. Ross, A.; López, C. 1973. *Airlight grain storage*. Agricultural Service Bulletin **17**. FAO. Roma.
 49. Jacob, A.1944. *Six thousand years of bread*. Doubleday, Doran: Garden City, N.Y.
 50. Jacobsberg, F.R., Worman, S.L.; Daniels, N.W. 1976. *Lipids binding in wheat-flour doughs: the effect of DATEM emulsifier*. *J Sci Food Agric* **27**: 1064-1070.
 51. Jasny, N. (1944). *The wheats of classical antiquity*. University Studies in Historical and Political Science, Series LXII, N° 3. Johns Hopkins Press: Baltimore, Md, pp 228.
 52. Jorgensen, H. 1935. Über die nature der bomatwirkung. *Mulhenlab*. **5**: 114-126.

-
53. Junge, R.; Hosney, R.; Varriano-Marston, E. 1981. *Effect of surfactants on the incorporation in dough and the crumb grain of bread.* Cereal Chem. **4**: 336-342.
54. Kaid, N.; Rakotozafy, L.; Potus, J.; Nicolas, J. 1997. *Studies on the Glutathione-Dehydroascorbate Oxidoreductase from Wheat Flour.* Cereal Chem. **74**:605-610.
55. Kasarda, D. 1999. *Glutenin polymers: The in vitro to in vivo transition.* Cereal Foods World **8**: 566-71.
56. Kilborn, R. H.; Tipples, K. H. 1982. *Canadian test baking procedures. I. GRL remix method and variations.* Cereal Foods Worlds **26**: 628-630.
57. Knightly, W. 1968. *Surface-active lipids in foods.* Soc. Chem. Ind. (London). Monograph N° 32.
58. Koh, B.; Karwe, M.; Schaich, K. 1996. Effects of cysteine on free radical production and protein modification in extruded wheat flour. Cereal Chem.: **73**: 115-122.
59. Kokelaar, J.; Garritsen, J.; Prins A. 1995. *Surface rheological properties of sodium stearoyl -2-lactylate (SSI) and diacetyl tartaric esters of mono (and di) glyceride (DATEM) surfactants after a mechanical surface-treatment in relation to their bread improving abilities.* Colloids Surf A Physicochem Eng Aspects **95**: 69-77.
60. Lambert, I.; Kokini, J. 2001. *Effect of L-Cysteine on the Rheological Properties of Wheat Flour.* Cereal Chem. **78**:226-230.
61. Landfried, B.; Moneymaker, J. 1968. U.S.A. Jan.
62. Lang C.; Neises E.; Walker C. 1992. *Effects of Additives on Flour-Water Dough Mixograms.* Cereal Chem. **69**: 587-591.
63. Larré, C.; Papini, D.; Popineau, Y.; Deshayes, G.; Desserre, C.; Lefebvre, J. 2000. *Biochemical Analysis and Rheological Properties of gluten Modified by Transglutaminase.* Cereal Chem. **77**:121-127.

64. Ledward, D. A.; Mitchell, J.R. 1988. *Protein extrusion-More questions than answers?* In: Food Structure-Its Creation and Evaluation. J. M. Blanshard ; J.R. Mitchell, eds. Butterworth. London, pp 219-229.
65. Leonard, W.H.; Martin, J.H. 1963. *Cereal crops*. New York, NY, USA, MacMillan Publishing.
66. Li, M.; Lee, T. 1996 a. *Effect of extrusion temperature on solubility and molecular weight distribution of wheat flour proteins*. J. Agric. Food Chem. **44**: 763-768.
67. Li, M.; Lee, T. 1996 b. *Effect of cysteine on the molecular weight distribution and the disulfide crosslink of wheat flour proteins in extrudates*. J. Agric. Food Chem. **46**: 1871-1880.
68. Linko, Y.Y.; Linko, P. 1985. Enzymes in Baking. In: Chemistry and Physics of Baking. Blanshard, J.M.V; Frazier, P.J. and Galliard, T. The Royal Society of Chemistry, Londres, pp 113.
69. Lockwood, J. 1960. *Flour milling*. Henry Simon, Ltd.: Stockport, Cheshire, England.
70. Lorenz, K.J.; Kelp, K. 1991. *Nutritional Quality of Cereals and Cereal-Based Foods*. -Handbook of Cereal Science and Technology. Marcel Dekker, INC, pp 845-849.
71. Lu, X.; Seib, P.1998. *Assay of Dehydroascorbic Acid in Bread and Dough Added as a Crystalline Dimer*. Cereal Chemistry **75**:200-205
72. Madrid, A. 1987. *Manual de utilización de los aditivos en alimentos y bebidas*. Edit. A. Ediciones Madrid, pp 476.
73. Malcolmson, L.J.; Matsuo, R.R. and Balsahaw, R. 1993. *Effects of drying temperature and farina blending on spaghetti quality using response methodology*. Cereal chem. **70**: 1-7.
74. Manley, D.J.R. 1983. *Technology of biscuit, crackers and cookies*. Ellies Horwood Limited, Chichester, pp 110-113.
75. Martínez-Serna, M.; Villota, R. 1992. *Reactivity, functionality, and extrusion performance of native and chemically modified whey proteins*.

- In: Food Extrusion Science and Technology*. J.L. Kokini, C. and Karwe M. eds. Marcel Dekker: New York, pp 387-414.
76. Mattern, P. 1991. Wheat. En: *Handbook of Cereal Science and Technology*. Lorenz K. Kulp K. By Marcel Dekker, Inc. Nueva York. Estados Unidos, pp 1-52.
77. Matz, S.A. 1959. *The chemistry and technology of cereals as food and feed*. Avi Pub. Co.: Westport, Conn, pp 751.
78. Matz, S.A. 1960. *Bakery technology and engineering*. Avi Pub. Co.: Westport, Conn, pp 853.
79. McCance, R.A.; Widdowson, E.M. 1956. *Breads white and brown*. Pitman Medical Publishing Co., Ltd. London 1:8-16.
80. MacRitchie, F. 1994. Role of polymeric proteins in flour functionality. In *Wheat Kernel proteins: molecular and functional aspects*, pp 145-150. Bitervo, Italy, Università degli studi della Tuscia.
81. Melville, J.; Shattock, H. 1938. *The action of ascorbic acid as a bread improver*. *Cereal Chem.* **15**:201-205.
82. Meredith, P. 1965. *The oxidation of ascorbic acid and its improver effect in bread doughs*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **16**: 474-480.
83. Mettler, E.; Seibel W.; Brümmer, J.; Pfeilsticker K. 1992. Experimentelle studien *der emulgator –und hydrokolloidwirkung zur optimierung der funktionellen eigenschaften von weizenbrot*. 5 Mitt. Einflu der emulgatoren und hydrokolloide auf die funktionellen eigenschaften von weizenbrot. *Getreide Mehl Brot* **46**: 43-47.
84. Miller, K. A.; Hosney, R.C. 1999. *Effect of Oxidation on the Dynamic Rheological Properties of Wheat Flour- Water Doughs*. *Cereal Chem.* **76**:100-104.
85. Morris, R.; Schmidt, J. W.; Mattern, P.J.; Johnson, V.A. 1966. *Chromosomal location of genes for flour location of genes form flour quality in the wheat variety Cheyenne using substitution lines*. *Crop. Sci.* **6**: 1-119.

86. Montgomery, D.C.1991. *Diseño y Análisis de Experimentos*. 3rd. Ed México. Grupo Editorial Iberoamérica. Pág: 589.
87. Nakamura, M.; Kurata, T. 1997 a. *Effect of L-Ascorbic Acid on the Rheological Properties of Wheat Flour- Water Dough*. Cereal Chem. **74**:647-650.
88. Nakamura, M.; Kurata, T. 1997 b. *Effect of L- Ascorbic Acid and Superoxide Anion Radical on the Rheological Properties of Wheat Flour- Water Dough*. Cereal Chem. **74**: 651-655.
89. Nuttonson, M.Y. 1955. *Wheat-climatic relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photothermal requirements of wheat*. Washington, DC, American Institute of Crop Ecology.
90. Osella C.A.; Sánchez, H.D.; de la Torre, Ma.A.; González, R.J. 1995. *Efecto de L-Cisteína y proteasa sobre las características de la masa para crackers*. Heladería Panadería Latinoamericana. **117**: 60-61.
91. Osella, C.A.; Sánchez, H.D.; González, R.J.; De la Torre M.A. 2006. *Molienda de Trigo: Ensayos Comparativos de Escala Industrial con Planta Piloto*. Inf. Tecnológica **17**: 33-39.
92. Oxley, T. A.; Pixton, S.W. 1960. *Determination of moisture content in cereals*. II. Errors in the determination by oven drying of known changes in moisture content. J. Sci. Food Agric. **11**: **315**.
93. Oxley, T. A.; Pixton, S.W. 1960. *Determination of moisture content in cereals*. 1. Interaction of type of cereal and oven method. J. Sci. Food Agric. **11**: 18.
94. Pardo, C.1985. Agentes Oxidantes, pp 4-6. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, D.E. Colombia.
95. Patel, B.; Waniska, R.; Seetharaman, K. 2005. *Impact of different baking processes on bread firmness and starch properties in breadcrumb*. Journal of Cereal Science **20**: 1-12.
96. Pomeranz, Y.; Shogren, M.; Finney, K. 1968. *Natural and modified pospholipds effects on bread quality*. Food Techn. **22**: 897-898.

97. Pomeranz, Y. 1988. *Wheat. Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists. St Paul. Minnesota.
98. Pomeranz, Y. 1987. *Bread around the world*. En: Pomeranz, ed. *Modern cereal science and technology*, p. 258-333. New York, NY, USA, VCH Publishers.
99. Pyler, E. J. 1958. *Our daily bread*. Siebel Pub. Co.: Chicago, Ill.
100. Pyler, E. 1969. *Enzymes in baking-theory and practice. Part III*. Baker's Dig. **2**: 43-46.
101. Pyler, E. J. 1973 a. Aspect of Physical Chemistry oxidation and Reduction. in: *Baking, Science and Technology I*. Chicago Siebel Publishing Company, pp 269-281.
102. Pyler, E. J. 1973 b. Physical and Chemical Testing Method. in: *Baking Science and Technology II*. Chicago Siebel Publishing Company, pp 834-859.
103. Pyler, E. J. 1988. *Baking science and Technology*. Sosland Publishing Co.: Merriam, KS.
104. Quaglia, G. 1991. *Los mejorantes*. In: *Ciencia y tecnología de la panificación*. Editoriall Acribia S.A. Zaragoza (España), pp 163-170.
105. Ranganna, S. 1977. *Manual of Analysis of Fruits and Vegetable Products*. McGraw-Hill.
106. Rani, K.U.; Prasada Rao, J.S.; Leelavathi, K.; Haridas Rao, P. 2001. *Distribution of enzymes in wheat flour mill streams*. *Cereal Foods World*. **34**: 233-242.
107. Ravi, R.; Sai Manohar, R.; Haridas Rao, P. 2000. *Influence of additives on the rheological characteristics and baking quality of wheat flours*. *Eur Food Research Technology* **210**: 202-208.
108. Reed, G. 1963. *Malting of flour*. Bull. 171, Am. Soc. Bakery Engrs.
109. Reed, G. 1966. *Enzymes in food processing*. Academic Press. New York

110. Renz-Schauen, A.; Renner, E. 1987. *Fortification of Nondairy Foods With Dairy Ingredients*. Food Technology, pp 122.
111. Romero, R.; Zúnica, L. 1996. *Estadística (Proyecto PIE)*.
112. Sánchez, H.D.; Mancuello, J.C.; Fabre, H. 1983. *Essai de panification pour le pain français. Industries des céréales*. **25**:29-32. Food Science Technology Int. **1**: 5-9.
113. Sánchez, H.D.; de la Torre, M.A.; Osella, C.A.; y Mancuello, J.C. 1986. *Effect du contenu élevé d'amidon endommagé sur le comportement de la farine de blé, Industries des Céréales*. **42**: 7-11.
114. Sánchez, H.D.; Osella C.A.; de la Torre, M.A. 2000. *Panificación con sustitutos de bromato*. Heladería Panadería Latinoamericana. **147**:78-81.
115. Sánchez, H.D.; Osella, C.A.; de la Torre, M.A. 2002. *Optimization of Gluten-Free Bread Prepared from Cornstarch, Rice Flour, and Cassava Starch*. Journal of Food Science. **67**: 416-419.
116. Sánchez, H.D.; Osella, C.A.; de la Torre, M.A. 2004. *Use of Response Surface Methodology to Optimize Gluten-free Bread Fortified with Soy Flour and Dry Milk*. Food Sci Tech 10 (1): 5-10.
117. Saunders, D.A.; Hettel, G.P. 1994. *Wheat in heatstressed environments: irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems*. Mexico, DF, CIMMYT.
118. Scanlon, M.G.; Sapirstein, H.D.; Fahloul, D. 2000. Mechanical properties of bread crumb prepared from flours of different dough strength. J. Cereal Sci. **32**: 235-243
119. Schellenberger, J. A. 1978. *Production and utilization of wheat..* In: Wheat Chemistry and Technology. Y. Pomeranz Editor. Edited by Y. Pomeranz. American Association of Cereal Chemistry. St Paul Minnesota. USA. Pág: 1-17.
120. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. 2005. Subsecretaría de Política Agropecuaria y Alimentos. Dirección Nacional

- de alimentos. Ministerio de Economía. Buenos Aires, República Argentina.
121. Serna Saldívar, S. 1996. *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales*. A.G.T. Editor SA. México, DF. Pág: 521.
122. Shuey, W.C. 1972. *The Farinograph Handbook*. Editado por American Association of Cereal Chemists. Estados Unidos, pp 64.
123. Shuey, W.C. 1975. *Practical Instruments for Rheological Measurements on wheat Products*. Cereal Chemistry **52**: 40-42
124. Shuey, W.C.; Tipples K. 1988. *The Amylograph Handbook*. Editado por American Association of Cereal Chemists. Estados Unidos.
125. Slater, C.C. 1956. *Economic changes in the baking industry*. Northwestern Univ. Press: Evanston, Ill.
126. Sloan, A. 1999. *Positive Eating and Problem Treating: Nutraceuticals and Cereal-Based Foods in the 21^o Century*. Cereal Foods World **44**:746-750.
127. Sluimer, P. 2005. *Principle of Breadmaking Functionality of Raw Materials and Process Steps*. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
128. Stampfli, I.; Nersten, B.; Molteberg, F. 1996. *Effects of emulsifiers on farinograph and extensograph measurements*. Food Chemistry **57**: 523-530.
129. Stanley, D. 1989. *Protein reactions during extrusion processing*. In: Extrusion Cooking. C. Mercier, P Linko and J. M. Harper, eds. Am. Assoc. Cereal Chem.: St. Paul, MN, pp 321-324.
130. Stauffer, C. 1990. *Functional Additives for Bakery Foods*. Van Nostrand Reinhold: New York
131. Staufer, J. 1999. *Organics Foods*. Cereal Foods World **44**:677-680.
132. Storck, J.; Teague, W.D.A. 1952. *A history of milling*. Flour for man's bread. Univ. of Minnesota Press: Minneapolis, Minn, pp 382.

-
133. Strecker, T.; Cavalieri, R.; Zollars, R.; Pomeranz, Y. 1995. *Polymerization and mechanical degradation Kinetics of gluten and glutenin at extruder melt-section temperature and shear rates*. J. Food Sci. **60**: 532-537,557.
134. Tarabiono, C. 1979. *Manuale pratico per la macinazione del grano*. Editorial Chiriotti. Italia.
135. Tirelli, M. 1962. *La cariosside dei cereali*. Chiriotti Editori, Pinerolo.
136. Tosi, E.; Ré, E.; Masciarelli, R.; Sánchez, H.; Osella, C.; de la Torre, M. 2002. *Whole and Deffated Hyperproteic Amaranth Flour Tested as Wheat Flour Supplementation in Mold Breads*. Lebensm **35**:472-475.
137. Tsen, C.C.; Bushuk, W. 1963. *Changes in sulfhydryl and disulfide content of doughs during mixing under various conditions*. Cereal Chem. **40**: 399-408
138. Tsen, C.C. 1964. *Ascorbic acid as a flour improver*. Baker's Dig. **5**: 44.
139. U.S. Department of Agriculture. 1971. Federal Grain Inspection Serv. Equipment Manual, GR Instruction 916-6, chapt. XII. (Nov.)
140. Uthayakumar, S.; Tömöközi, S.; Tatham, A.; Savage, A.; Gianibelli, M.; Stoddard, F.; Bekes, F. 2001. *Effects of Gliadin Fraction on Functional Properties of Wheat Dough Depending on Molecular Size and Hydrophobicity*. Cereal Chem. **8**:138-141.
141. Veraverbeke, W.; Larroque, O.; Békés, F.; Delcour, J. 2000. *In Vitro Polymerization of Wheat Glutenin Subunits with Inorganic Oxidizing Agents. II. Stepwise Oxidation of Low Molecular Weight Glutenin Subunits and a Mixture of High and Low Molecular Weight Glutenin Subunits*. Cereal Chem. **77**:589-594.
142. Waldt, L. 1965. *Fungal enzymes: Their role in continuous process bread*. Cereal Sci. **10**: 447.
143. Waldt, L. 1968. *The problem of staling-its possible solution*. Baker's Dig. **5**:42-64.

144. Wasserman, B.; Wen L.; Chan, K. 1992. *Molecular transformations of starch and protein during twin-screw extrusion processing of cornmeal*. In: Food Extrusion Science and Technology. J. L. Kokini, C. and M. V. Karwe, eds Marcel Dekker: New York, pp 325-334.
145. Weegels, P.L.; Harmer, R.J.; Schofield, J.D. 1996. *Critical review: functional properties of wheat glutenin*. J. Cereal Sci., **23**: 1-18.
146. Wiersma, W. 1986. *Research methods in education*. Newton, Mass.: Allyn and Bacon, Inc. Cuarta edición.
147. Wikström, K.; Eliasson, A. Ch. 1998. *Effects of Enzymes and Oxidizing Agents on Shear Stress Relaxation of Wheat Flour Dough: Additions of Protease, Glucose Oxidase, Ascorbic Acid, and Potassium Bromate*. Cereal Chem. **75**:331-337.
148. Yamada, Y.; Preston, K. R. 1992. *Effects of individual oxidants on oven rise and bread properties of Canadian short process bread*. J. Cereal Sci. **15**: 237.
149. Yamada, Y.; Preston, K. R. 1994. *Sponge-and-Dough Bread: Effects of Oxidants on Bread and Oven Rise Properties of a Canadian Red Spring Wheat Patent Flour*. Cereal Chem. **71**:297-300.