



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

**Tesis para optar al grado de
Magíster Scientiae en Mecanización Agrícola**

Título:

Calidad de porotos (*Phaseolus vulgaris* L.) almacenados en silobolsa en
relación a la presencia de materias extrañas y granos partidos

Ing. Agr. Adriana Iris Godoy

Director: Dr. Ing. Agr. Mario De Simone

Co-director: Dr. Ing. Qco. Sergio Giner

30 de Junio de 2015

*Para Ignacio, Anahí, Santiago y Lucas
Mi inspiración y sustento*

AGRADECIMIENTOS.

A la empresa ALIMAR S.A. por la confianza depositada en este trabajo y la permanente predisposición al trabajo conjunto. A Martín Bellagamba (gerente general en 2011) a Marcelo Camacho (gerente comercial) y a los encargados: de silobolsa Sr. Rubén Martínez, de planta Sr. Roberto Mendoza y de análisis de muestras Sr. Mario Guaymás.

A mis guías intelectuales en este trabajo, Dr. Mario De Simone (Director) y Dr. Sergio Giner (Co-director) por la paciencia, la predisposición, la confianza y en especial por la generosidad con la que me brindaron todos sus conocimientos y consejos.

A los investigadores de INTA que intervinieron en distintas etapas de la elaboración de este trabajo: Al Ing. Agr. M. Sc. Carlos Yañez por su valioso aporte a nivel agronómico y estadístico, a los Ings. Agrs. Leandro Cardoso y Mauricio Santa Juliana por las largas discusiones y grandes aportes sobre silobolsa, al Ing. Agr. Dr. Cristiano Casini por su incondicional apoyo técnico y cognoscitivo, a la Lic. en Nutr. Marcela Fili por su generosidad para transmitir sus conocimientos referidos a la calidad industrial de poroto, a las Ings. Agrs. Ana Fekete (M. Sc.) Norma Casalderrey, María Elisa Maggio, Susana García Medina y Gabriela Valdez Naval por brindarme todos sus conocimientos relacionados con distintas temáticas del cultivo de poroto y otros cultivos extensivos, al Ing. Agr. José Luis Gimenez Monge por el apoyo brindado tanto desde el punto de vista técnico como de gestión.

A los técnicos, auxiliares y administrativos de INTA EEA Salta que trabajaron durante el desarrollo de los ensayos o colaboraron con su tiempo y espacio de trabajo: Víctor Flores, Alejandro Chocobar, Rolando Chocobar, Mario Chocobar, Francisco Álvarez, Jimena Lunad Rocha, Carlos Renfiges, Cristina Samaniego, Héctor Ibarra.

A la empresa Silcheck S.A. por la confianza brindada a través de la colaboración con el equipo de medición de dióxido de carbono.

A mis amigos y compañeros de Maestría, por compartir tantas horas de estudio y gratas experiencias: Matilde, Pedro, Leandro, Sebastián, Miguel, Julio, Marcelo, Pablo, Enrique y Rubén.

En especial a mi familia por el apoyo incondicional en cada momento en que fue transcurriendo la elaboración del presente trabajo.

INDICE	
INDICE	4
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	6
LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	13
Resumen	15
<i>Palabras clave</i>	15
<i>Abstract</i>	16
<i>Key words</i>	16
1. CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	17
1.1. Estado del arte	17
<i>1.1.1. Características del poroto blanco alubia. Definición de la calidad comercial e industrial.</i>	17
<i>1.1.2. Atmósfera automodificada en bolsas plásticas.</i>	18
<i>1.1.2.1. Efectos de la atmósfera modificada sobre el granel.</i>	19
<i>1.1.3. Microorganismos: otros factores intervinientes en su desarrollo.</i>	19
<i>1.1.3.1. Hongos.</i>	20
<i>1.1.3.2. Bacterias.</i>	21
<i>1.1.4. Causas de la implementación del silobolsa en la poscosecha de poroto blanco alubia.</i>	22
<i>1.1.5. Almacenamiento de poroto blanco alubia en bolsas plásticas. Situación actual.</i>	23
<i>1.1.5.1. Principio del test de calidad culinaria o industrial.</i>	23
1.2. Descripción del problema.	24
OBJETIVOS	26
General	26
Específicos	26
2. CAPÍTULO II REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	27
2.1. Aspectos determinantes de la eficiencia de almacenamiento de granos en silobolsa – experimentales y modelizados o predichos.	27
2.2. Almacenamiento de <i>Phaseolus vulgaris</i> L. en silobolsa.	35
2.3. Relaciones de humedad grano/aire intergranario – CHE/HRE.	38
2.4. Propiedades de sorción de <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	41
HIPÓTESIS	44
3. CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.	45
3.1. Ensayo efectuado en laboratorio con bolsas experimentales.	45
3.2. Ensayo efectuado en el campo con bolsas plásticas convencionales.	46
3.2.1. Ubicación del ensayo y criterios de selección de las bolsas a evaluar	46
3.2.2. Obtención de muestras de las bolsas plásticas escogidas.	48
3.2.2.1. Medición de la concentración del gas dióxido de carbono (CO₂)	49
3.2.2.2. Metodología de extracción de las muestras.	50
3.2.3. Determinación de los parámetros/variables considerados. Obtención de los resultados.	52
3.2.3.1. Materias extrañas (ME).	52
3.2.3.2. Granos partidos.	52
3.2.3.3. Granos manchados.	52
3.2.3.4. Humedad y temperatura del grano.	53
3.2.3.5. Humedad relativa y temperatura del silobolsa.	53

3.3. Test de calidad de cocción. Determinación de la calidad industrial.	54
3.4. Análisis estadístico de los resultados de calidad comercial e industrial.	56
3.4.1. Calidad comercial.	56
3.4.2. Calidad industrial – Test de cocción.	57
CAPÍTULO IV RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	59
4.1. Ensayo de laboratorio.	59
4.1.1. Contenido de humedad de los granos (CH)	59
4.1.2. Granos manchados (%).	60
4.1.3. Microorganismos.	61
4.1.4. Integración de los parámetros evaluados.	63
4.2. Ensayo principal: Ensayo en el campo.	69
4.2.1. Categorización de las bolsas por sus características	69
4.2.2. Microorganismos. Comportamiento a nivel general.	71
4.2.2.1. Hongos. Análisis general considerando todas las bolsas.	71
4.2.2.2. Bacterias. Análisis general considerando todas las bolsas.	72
4.2.3. Análisis puntual de cada bolsa.	73
4.2.3.1. Bolsa 2.	73
4.2.3.1.1. Hongos.	73
4.2.3.1.2. Bacterias.	74
4.2.3.1.3. HR y T° del aire/atmósfera intergranario	75
4.2.3.1.4. Integración de los parámetros evaluados.	77
4.2.3.2. Bolsa 5.	79
4.2.3.2.1. Hongos.	79
4.2.3.2.2. Bacterias.	81
4.2.3.2.3. Integración de los parámetros evaluados.	82
4.2.3.3. Bolsa 7.	83
4.2.3.3.1. Hongos.	84
4.2.3.3.2. Bacterias.	85
4.2.3.3.3. Integración de los parámetros evaluados.	85
4.2.3.4. Bolsa 9.	87
4.2.3.4.1. Hongos.	87
4.2.3.4.2. Bacterias.	89
4.2.3.4.3. Integración de los parámetros evaluados.	89
4.2.3.5. Bolsa 11.	92
4.2.3.5.1. Hongos.	93
4.2.3.5.2. Bacterias.	94
4.2.3.5.3. Integración de los parámetros evaluados.	94
4.2.4. Interacción entre parámetros: ¿existe sinergia entre los efectos de los granos partidos y el contenido de ME?	97
4.3. Ensayo en el Laboratorio de Calidad Culinaria INTA EEA Salta. Calidad Industrial.	98
4.3.1. Categorización de las bolsas de acuerdo a los parámetros de calidad industrial evaluados.	98
4.3.2. Análisis puntual de cada bolsa.	101
4.3.2.1. Bolsa 2.	101
4.3.2.1.1. Integración de los parámetros evaluados.	103
4.3.2.2. Bolsa 5	104
4.3.2.2.1. Integración de los parámetros evaluados.	105

4.3.2.3. Bolsa 7	105
4.3.2.4. Bolsa 9	107
4.3.2.4.1. Integración de los parámetros evaluados.	109
4.3.2.5. Bolsa 11	109
4.3.3. Interacción entre parámetros: ¿existe sinergia entre los efectos de los granos partidos y el contenido de ME?	111
4.3.4. Determinación del tiempo de almacenamiento seguro (TAS)	112
CAPÍTULO V CONCLUSIONES	113
Recomendaciones para futuros trabajos de investigación	114
BIBLIOGRAFÍA	115
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS	
Tabla 1.1. Condiciones de humedad relativa para germinar y temperatura mínima, máxima y óptima para el desarrollo de las especies de hongos más importantes del almacenamiento.	--- 21
Tabla 3.1. Resumen de tratamientos del ensayo de laboratorio con bolsas experimentales.	--- 45
Tabla 3.2. Características distintivas de cada bolsa plástica escogida (condición inicial) y su denominación.	--- 47
Tabla 3.3. Agrupación de las bolsas de acuerdo con su contenido de ME (%) y granos partidos (%). Donde ME1<2% - ME2>2% - Partidos 1<4% - Partidos 2>4%.	--- 58
Tabla 4.2.1. Categorización de las bolsas de acuerdo a las características compositivas de su granel (valores promedio de todas las fechas de muestreo). Comparación de las mismas a través de ANOVA con un 95% de confianza. Cada repetición corresponde a una fecha de muestreo con un total de N repeticiones por bolsa.	--- 69
Tabla 4.2.2. Porcentaje de granos afectados por hongos (%) en la condición inicial y final, donde se observa la diferencia entre las bolsas evaluadas.	--- 71
Tabla 4.2.3. Porcentaje de granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial y final (promedios de todos los puntos de muestreo en cada condición) donde se observa la diferencia entre las bolsas evaluadas.	--- 72
Tabla 4.2.4. Características compositivas del granel de la bolsa 2 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.	--- 73
Tabla 4.2.5. Características compositivas del granel de la bolsa 5 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.	--- 79
Tabla 4.2.6. Características compositivas del granel de la bolsa 7 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.	--- 83
Tabla 4.2.7. Características compositivas del granel de la bolsa 9 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.	--- 87
Tabla 4.2.8. Características compositivas del granel de la bolsa 11 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.	--- 92

Tabla 4.3.1. Categorización de las bolsas de acuerdo a los parámetros de calidad industrial evaluados (valores promedio). Comparación de los mismos a través de ANOVA con un 95% de confianza. Cada repetición corresponde a una fecha de muestreo con un total de N repeticiones por bolsa.	---	98
Tabla 4.3.2. Interacción de los parámetros ME y granos partidos para la dureza de los granos “duros”, donde ME1<2%, ME2>2%, granos partidos I<4%, granos partidos II>4%. Detalle de la diferencia entre las medias para las distintas combinaciones de ME y partidos (Tukey, alfa=0,05).	---	111
Figura 1.1. Reabsorción de agua en poroto negro en relación al tiempo de almacenamiento, Salta 2006-07. De Simone et al. (2009)	---	23
Figura 2.1. Comparación entre las concentraciones de gas medidas y predichas. Rango de contenido de humedad: 12-13% (b.h.). Temperatura inicial del grano: 25°C. Abalone et al. (2011)	---	31
Figura 2.2. Comparación entre las concentraciones de gas medidas y predichas. Rango de contenido de humedad: 14-15% (b.h.). Temperatura inicial del grano: 25°C. Abalone et al. (2011)	---	31
Figura 2.3. Evolución de las concentraciones de O ₂ y CO ₂ predichas considerando una perforación por metro de silobolsa para diferentes diámetros. Permeabilidad efectiva estimada aplicando el modelo de González. Contenido de humedad inicial del grano: a) 13% b.h.; b) 15% b.h. Temperatura inicial del grano 25°C. Abalone et al. (2011)	---	34
Figura 2.4. Evolución de las concentraciones predichas de O ₂ y CO ₂ para distinto número y tamaño de perforaciones por metro de silobolsa. Permeabilidad efectiva estimada aplicando el modelo de González. Contenido inicial de humedad del grano 15%. Temperatura inicial del grano 25°C. Abalone et al. (2011)	---	34
Figura 2.5. Evolución de las concentraciones predichas de O ₂ y CO ₂ desde verano a invierno para diferentes temperaturas iniciales de almacenamiento de granos. Contenido de humedad inicial: a) 12% base húmeda (b.h.); b) 13% b.h.; 14% b.h. Temperatura inicial del grano: 20°C, 25°C, 30°C, 40°C. Abalone et al. (2011)	---	34
Figura 2.6. Evolución de las concentraciones predichas de O ₂ y CO ₂ desde verano a invierno para diferentes temperaturas iniciales de almacenamiento de granos. Contenido de humedad inicial: a) 15% b.h.; b) 16% b.h. temperatura inicial del grano: 20°C, 25°C, 30°C, 40°C. Abalone et al. (2011)	---	35
Figura 2.7. Evolución del porcentaje medio de pérdida de materia seca (DML) (%). Temperatura inicial del grano: a) 25°C; b) 40°C: Contenido de humedad inicial del grano: 12% b.h., 13% b.h., 14% b.h., 15% b.h., 16% b.h. Abalone et al. (2011)	---	35
Figura 2.8. Uso de la isoterma en equilibrio tipo 2. Giner (1994)	---	39
Figura 2.9. Regiones de una isoterma de sorción o curva de equilibrio. Giner (1994)	---	39
Figura 2.10. Concentración de micotoxinas en distintas fracciones de grano (limpio, inicial y descarte). Pacin et al. (2003)	---	40

Figura 3.1. Áreas de producción de poroto del NOA. Vargas Gil, J. y Nieva, I. (2002)	---	48
Figura 3.2. Embolsadora sin sinfín. Godoy & De Simone (2010)	---	48
Figura 3.3. Arriba: Detalle de los puntos de medición de CO ₂ a lo largo del silobolsa. Importante: la orientación correcta de la bolsa debe ser norte – sur para lograr una exposición a la radiación solar equivalente en ambos laterales de la misma. Godoy (2010). Abajo: detalle del parche destinado al punto de medición y del equipo en funcionamiento. Godoy (2015)	---	49
Figura 3.4. Calador convencional de celdas individuales, detalle de las 3 celdas que no se considerarán en el análisis. De Simone & Godoy (2009)	---	51
Figura 3.5. Detalle de la extracción de muestras 1) celdas que se descartarán, 2) celdas que se conservarán para su posterior análisis. Godoy((2015)	---	51
Figura 3.6. Izquierda: Material extraño dentro de un silobolsa cortado transversalmente para la extracción manual del grano. Derecha: muestra extraída del mismo. Godoy (2010)	---	52
Figura 3.7. Humedímetro portátil Motomco, el cual cuenta con las curvas de Poroto blanco alubia INTA Cerrillos.	---	53
Figura 3.8. Detalle de la colocación de los sensores i-button en los estratos del silobolsa, de su número de identificación (arriba izquierda) y de los componentes de los mismos (arriba derecha) y de la secuencia de colocación (abajo).	---	54
Figura 3.9. Procesamiento de muestras de poroto en el Laboratorio de Calidad Culinaria del INTA EEA Salta. Arriba: colado de los granos cocidos y detalle del caldo obtenido. Abajo: Izq.) Pesado de la muestra remojada. Der.) Empleo del penetrómetro. De Simone et al. (2009).	---	55
Figura 4.1.1. a) Comportamiento de CH (%) promedio de cada tratamiento evaluado, donde el T3 presenta d.e.s. con respecto a los restantes. b) Evolución del CH (%) del grano promedio de todos los tratamientos a lo largo del período de almacenamiento.	---	60
Figura 4.1.2. a) Evidencia de los granos manchados (%) promedio para cada tratamiento evaluado. b) Porcentaje de granos manchados promedio de todos los tratamientos a lo largo del período de almacenamiento.	---	60
Figura 4.1.3. Porcentaje de granos manchados de cada tratamiento a lo largo del período de almacenamiento.	---	61
Figura 4.1.4. a) Promedio de los granos afectados por hongos (%) en cada tratamiento evaluado b) Evolución del porcentaje promedio de todos los tratamientos de granos afectados por hongos a lo largo del período de almacenamiento (bloques).	---	62
Figura 4.1.5. Porcentaje de granos afectados por hongos en cada tratamiento a lo largo del período de almacenamiento.	---	63
Figura 4.1.6. Correlación entre el porcentaje de granos manchados (%) y el contenido de humedad de los granos CH (%).	---	64
Figura 4.1.7. Correlación de granos manchados (%) vs. HR (%).	---	64

Figura 4.1.8. Correlación entre el contenido de humedad de los granos CH (%) y la humedad relativa HR (%). Se muestran dos áreas marcadas que representan las zonas de aw de riesgo bajo y alto como condición de almacenaje segura e insegura, respectivamente.	---	65
Figura 4.1.9. a) Temperatura promedio (°C) de cada tratamiento en el tiempo de almacenamiento. b) Evolución de la temperatura (°C) a lo largo del período de almacenamiento (bloques).	---	65
Figura 4.1.10. Comportamiento de la HR (%) promedio de cada tratamiento.	---	66
Figura 4.1.11. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T3.	---	66
Figura 4.1.12. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T1	---	67
Figura 4.1.13. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T2.	---	67
Figura 4.1.14. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T4.	---	67
Figura 4.2.1. Evolución en el tiempo del CH (%) de los granos en las bolsas evaluadas.	---	70
Figura 4.2.2. Evolución de los granos manchados (%) en el período de almacenamiento de: a) bolsa 2, b) bolsa 5, c) bolsa 7, d) bolsa 9, e) bolsa 11.	---	70- 71
Figura 4.2.3. Condición inicial: a) Evidencia de los granos afectados por hongos (%) de acuerdo con las bolsas evaluadas b). Cantidad de granos manchados (%) de acuerdo a las bolsas evaluadas	---	72
Figura 4.2.4. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.	---	74
Figura 4.2.5. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.	---	74
Figura 4.2.6. Evolución de la HR (%) del aire intergranario en el período de almacenamiento de la bolsa 2. Detalle del registro de cada sensor: estrato superior: sensores 2, 4, 6; estrato inferior: sensores 1, 3, 5.	---	75
Figura 4.2.7. Evolución de la T° (°C) del aire intergranario en el período de almacenamiento de la bolsa 2. Detalle del registro de cada sensor: estrato superior: sensores 2, 4, 6; estrato inferior: sensores 1, 3, 5.	---	76
Figura 4.2.8. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.	---	76
Figura 4.2.9. Correlación entre el porcentaje de granos manchados y el porcentaje de granos partidos presentes en la bolsa 2 a lo largo del período de almacenamiento.	---	77
Figura 4.2.10. Porcentaje de granos manchados (%) en los estratos superior e inferior de la bolsa 2.	---	77

Figura 4.2.11. Correlación entre el porcentaje de granos afectados por hongos y el porcentaje de ME presente en la bolsa 2 a lo largo del período de almacenamiento.	---	78
Figura 4.2.12. Registros de [CO ₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 2.	---	79
Figura 4.2.13. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedios entre las condiciones.	---	80
Figura 4.2.14. Distribución de los hongos dentro del granel en la condición inicial y final.	---	80
Figura 4.2.15. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.	---	81
Figura 4.2.16. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.	---	81
Figura 4.2.17. Correlación entre el porcentaje de granos afectados por hongos y el CH de los granos (%).	---	82
Figura 4.2.18. Registros de [CO ₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 5.	---	83
Figura 4.2.19. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.	---	84
Figura 4.2.20. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.	---	85
Figura 4.2.21. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.	---	85
Figura 4.2.22. Relación entre la proporción de granos manchados y el CH de los granos (%). Godoy (2015)	---	86
Figura 4.2.23. Registros de [CO ₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 7.	---	87
Figura 4.2.24. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio entre las condiciones.	---	88

Figura 4.2.25. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.	---	88
Figura 4.2.26. Temperatura (°C) de los granos a lo largo del período de almacenamiento, en los estratos superior e inferior.	---	89
Figura 4.2.27. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio entre las condiciones	---	89
Figura 4.2.28. Granos manchados (%) en relación al porcentaje de granos afectados por hongos (%) en el tiempo de almacenamiento.	---	90
Figura 4.2.29. Comportamiento de CH (%) en la condición inicial (1) y la final (2).	---	90
Figura 4.2.30. Comportamiento de los granos manchados (%) en la condición inicial (1) y final (2).	---	91
Figura 4.2.31. Correlación entre a) el porcentaje de granos manchados y el porcentaje de granos partidos, b) el porcentaje de granos afectados por hongos y el porcentaje de granos partidos.	---	91
Figura 4.2.32. Registros de [CO ₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 9.	---	92
Figura 4.2.33. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones	---	93
Figura 4.2.34. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.	---	93
Figura 4.2.35. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5, estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.	---	94
Figura 4.2.36. Registros de [CO ₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 11.	---	95
Figura 4.2.37. Temperatura (°C) de los granos a lo largo del período de almacenamiento, en los estratos superior e inferior.	---	96
Figura 4.2.38. Concentración de CO ₂ (%) promedio en las distintas bolsas evaluadas.	---	96
Figura 4.2.39. Interacción en la condición final de las bolsas entre ME y granos partidos para el manchado de los granos, donde ME1<2%, ME2>2%, granos partidos I<4%, granos partidos II>4%. a) sin contemplar la bolsa 9 en el análisis, b) contemplando la bolsa 9 en el análisis.	---	97
Figura 4.3.1. a) Coeficiente de absorción (%) promedio para las bolsas evaluadas b) Detalle del mismo en cada punto de muestreo (promedio de todas las bolsas).	---	99

Figura 4.3.2. Coeficiente de reabsorción (%) promedio para las bolsas evaluadas.	---	99
Figura 4.3.3. Dureza de los granos identificados como “blandos” (gF) en las distintas bolsas evaluadas.	---	99
Figura 4.3.4. Dureza de los granos identificados como “duros” (gF) en las distintas bolsas evaluadas.	---	100
Figura 4.3.5. Sedimentos (cc) obtenidos en el caldo de cocción de las distintas bolsas evaluadas.	---	100
Figura 4.3.6. Coeficiente de reabsorción (%) en la condición inicial y final de la bolsa 2.	---	101
Figura 4.3.7. Dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF) en la condición inicial y final de la bolsa 2.	---	102
Figura 4.3.8. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 2	---	102
Figura 4.3.9. Relación entre coeficiente de absorción (%) y la dureza (gF).	---	103
Figura 4.3.10. Sedimentos (cc) en relación al contenido de granos partidos (%).	---	104
Figura 4.3.11. Coeficiente de reabsorción (%) en la condición inicial y final de la bolsa 5.	---	104
Figura 4.3.12. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 5.	---	105
Figura 4.3.13. Relación entre el coeficiente de reabsorción (%) y el CH de los granos (%).	---	105
Figura 4.3.14. Coeficiente de reabsorción (%) en la condición inicial y final de la bolsa 7.	---	106
Figura 4.3.15. Dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF) en la condición inicial y final de la bolsa 7.	---	106
Figura 4.3.16. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 7.	---	107
Figura 4.3.17. Coeficiente de absorción (%) en la condición inicial y final de la bolsa 9.	---	107
Figura 4.3.18. Dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF) en la condición inicial y final de la bolsa 9.	---	108
Figura 4.3.19. Relación entre el coeficiente de absorción (%) y la dureza de los granos “duros” (gF).	---	108
Figura 4.3.20. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 9.	---	109
Figura 4.3.21. Coeficiente de absorción (%) en la condición inicial y final de la bolsa 11.	---	110
Figura 4.3.22. Dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF) en la condición inicial y final de la bolsa 11.	---	110
Figura 4.3.23. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 11.	---	111

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

% por ciento

[CO₂] concentración de dióxido de carbono

°C grados centígrados

μ micrones

ANOVA análisis de la varianza

ASAE American Society of Agricultural Engineers

at atmósfera

aw actividad acuosa

b.h. base húmeda

B1, B2, B3, B4, B5, B6 bloques

cc centímetro cúbico

CH contenido de humedad del grano

CHE contenido de humedad de equilibrio del grano

cm centímetro

CO₂ dióxido de carbono

d diámetro perforación del plástico

d.e.s. diferencias estadísticamente significativas

DBCA diseño de bloques completamente aleatorizado

F1, F2F13 fechas de muestreo

g gramo

gF gramo fuerza

HR humedad relativa del aire intergranario

HRE humedad relativa de equilibrio del aire intergranario

INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

kg kilogramo

m metro

m² metro cuadrado

m³ metro cúbico

ME material extraño

NOA. Noroeste Argentino

O₂ oxígeno

p valor de significancia estadística o alfa

PEAD polietileno de alta densidad

PEBD polietileno de baja densidad

PG poder germinativo

ProReNOA Proyecto Regional del NOA

r coeficiente de correlación

SAGPyA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación

β cociente de permeabilidad

t tonelada

T° temperatura

T1, T2, T3, T4 tratamientos

UFC unidades formadoras de colonias

RESUMEN

Se trabajó con el objetivo de estudiar el proceso de deterioro de la calidad (comercial e industrial) en poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) almacenado en silobolsa con presencia de materias extrañas (ME) y granos partidos. Para ello se efectuó un experimento en acopio con bolsas convencionales, un ensayo en laboratorio con bolsas experimentales y un test de calidad industrial. En las bolsas experimentales se almacenó poroto con porcentajes conocidos de ME (secas y húmedas) y de granos partidos, mientras que en el ensayo en el acopio se escogieron cinco bolsas convencionales con diferentes contenidos de humedad (CH) (%) contenido de ME (%) de granos partidos (%) y de granos manchados (%) iniciales. Se midió la evolución del CH de los granos, de la proporción de granos manchados, del desarrollo de hongos y bacterias y de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) durante siete meses. Se registró la humedad relativa (HR) y la temperatura (T°) del aire intergranario. La calidad industrial se evaluó a través de un test de cocción.

En el ensayo de laboratorio resultó que en presencia de ME húmedas se evidenció el mayor CH del grano, el máximo promedio de granos manchados (14%) y la máxima HR (79%) del aire intergranario. Esto generó el desarrollo de hongos y bacterias, por incremento de actividad acuosa (a_w) >0,70. Con ME secas, la actividad microbiana se incrementó luego de superar los 100 días de almacenamiento. En ausencia de ME y con la proporción de granos partidos estudiada no se incrementó la actividad de hongos y bacterias. Se observó una alta correlación entre granos manchados y HR.

En el ensayo en el acopio se observó un incremento considerable del manchado en las bolsas que se caracterizaban por altos contenidos iniciales de granos manchados, de humedad y de ME. Dicho incremento coincidió en parte con la evolución creciente de los microorganismos. La bolsa con bajo CH y de ME, evidenció el control microbiano, donde la HR del aire intergranario no superó el 70% (a_w <0,70). Se observó una interacción entre los efectos de ME y granos partidos, la cual generó el manchado de los granos. Esta sinergia fue favorecida por períodos de almacenamiento prolongados y altas temperaturas. El efecto de la proporción de granos partidos se relacionó fuertemente con el CH del grano. El efecto de ME fue cobrando importancia con el tiempo de almacenamiento. Se observó la estratificación de la humedad en el interior de la bolsa, desde el estrato inferior al hacia el superior. La [CO₂] aumentó marcadamente con el incremento de la T°.

En el ensayo de calidad industrial los resultados mostraron reducción de la absorción y de la reabsorción de agua. En la mayoría de los casos aumentó la dureza de los granos. Esto provocó bajos contenidos de sedimentos en el caldo y la cocción desaparece de la masa de granos. Se evidenció la sinergia entre los efectos de ME y granos partidos que provocaron el incremento de dicha dureza. Los porcentajes más altos de sedimentos mostraron concordancia con la proporción de granos partidos presentes en el granel.

Se concluyó que los incrementos de a_w se relacionan con altas proporciones de ME y granos partidos presentes en el granel, y con elevados CH de los mismos y del grano, lo cual deriva en mayor actividad microbiológica.

Los cambios en la calidad comercial implican cambios en la calidad industrial.

Los efectos del contenido de ME y de granos partidos en el granel actúan sinérgicamente y producen la reducción de la calidad comercial e industrial del poroto blanco alubia. Dicha interacción se ve favorecida por períodos de almacenamiento prolongados y altas temperaturas.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., almacenamiento hermético, atmósfera modificada, actividad microbiológica, actividad acuosa, descomposición, material fino.

ABSTRACT

The main object was to study the spoilage process of the quality in beans stored in silo bags with foreign matters (FM) and broken grains. Thus an experiment was done in conventional silo bags placed at a storage plant, another one in lab with small experimental bags. An industrial quality test was carried out too.

Beans with known percentages of FM (wet and dry) and of broken grains were stored in the small experimental bags. Five conventional bags were chosen in the storage plant because they had different initial contents of: grain moisture, FM, broken grains and spotted grains. During seven months was evaluated: the grain moisture content (MC) and spotted grains evolution, the fungi and bacteria development and the carbon dioxide concentration [CO₂]. Relative humidity (RH) and temperature (T°) of the intergranular air were registered. The industrial quality was evaluated through a cooking test.

The results of the experiment in small bags showed that in presence of wet FM were obtained the highest grain MC, the highest percent of spotted grains (14%) and the highest RH of intergranular air (79%). Thus the fungi and bacteria development was generated due the high water activity (aw) >0,70. Without FM and with the percentage studied of broken grains the fungi and bacteria activity did not increase.

A high correlation was observed between spotted grains and RH.

The conventional bags with high initial contents of: spotted grains, humidity and FM showed an important increase of the spotted grains percentage .

The growing evolution of microorganisms partly joined that increase. The bag with low MC and FM percentage showed the microorganisms control, where the intergranular air RH was lower than 70% (aw<0,70). An interaction between the FM and broken grains effects was observed, this interaction have generated more spotted grains.

This synergism was favored by long storage periods and high temperatures. The effect of the broken grains percentage showed a strong relationship with the grain MC. The effect of FM gained importance through the storage time.

The stratification of humidity inside of the bags was observed, from de bottom to the top.

The [CO₂] increased when the temperature increase.

The results of the industrial quality experiment showed the reduction of water absorption and reabsorption. The grain hardness increased in all cases. It generated low sediments contents in the broth and an uneven cooking. The synergism between the FM and broken grains effects was observed, this interaction favored the hardness increase. The highest sediments percentages showed concordance with the broken grains percentage.

Conclusions: the intergranular air RH and grain MC increases generate the aw increase. This increase is directly related with the FM and broken grains percentages. This results in increased microbiological activity.

Changes in the commercial quality are related to changes in the industrial quality.

There are synergism between the FM and broken grains effects, they generate the commercial and industrial quality losses in white beans. This interaction is favored by long storage periods and high temperatures.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., hermetic storage, modified atmosphere, microbiological activity, water activity, spoilage, fine material.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Estado del Arte.

1.1.1. Características del poroto blanco alubia. Definición de la calidad comercial e industrial.

La producción de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) en Argentina se concentra en las provincias de Salta y Jujuy. En la campaña 2012 el área sembrada con cultivos extensivos de verano en Salta abarcó 1.043.035 hectáreas y en Jujuy 48.285 hectáreas (Paoli et al., 2013) donde el poroto representó el 23,6% y 64,7% de la misma, respectivamente. Se estima que en dicha campaña se cosecharon alrededor de 416.000 toneladas de poroto.

El poroto blanco alubia tiene el grano grande alargado, con tegumento blanco brillante y tamaño mediano (entre 175 y 185 semillas/100 gramos). Este poroto se destina casi exclusivamente al consumo externo, siendo el principal destino la Comunidad Europea, donde la forma principal de consumo es enlatado (Tubello & Picollo, 2002). Por ello es muy importante la calidad industrial en este producto, es decir la calidad de cocción. Se define a esta última como el conjunto de factores que influyen sobre la aceptabilidad del grano del poroto por parte del consumidor y comprende características físicas, organolépticas y culinarias. Si bien son aspectos subjetivos, es factible evaluar algunas características físicas como la capacidad de absorber agua en el remojo y reabsorberla en la cocción y la medición de la dureza de los granos luego de ser cocinados (Fili, 1996).

Este producto es el tipo comercial de mayor rentabilidad, lo cual se refleja en la proporción de establecimientos dedicados a su producción, el 85% del total de productores de poroto en Salta y el 72% en Jujuy (Paoli et al., 2013). Sin embargo, está sometido a grandes exigencias de calidad sostenidas por el mercado externo. Si bien existe la Norma de Poroto Blanco Seleccionado Oval y Alubia de la SAGPyA (Norma XVI, anexo A, 1994) la comercialización no se rige por la misma, ni existe una Junta Arbitral que intervenga en la operación compra – venta. Dicha operación se efectúa a través de un acuerdo entre las partes intervinientes basado en los siguientes valores de tolerancia (Méndez, com. pers., 2010):

- 1- Granos manchados 0,5%
- 2- Cuerpos extraños 0,5%
- 3- Granos con daño mecánico:
 - Cascado 0,5% (pequeño golpe o hundimiento en el tegumento o testa del grano sin llegar a ser una rotura prominente)
 - Descorticado 0,5% (rotura notable y desprendimiento de parte del tegumento)
- 4- Granos partidos 3%

Todo el material que exceda estos valores se considera descarte conocido como “caída” y suma a la “caída total” con aquél material separado previamente con una zaranda de 4,5 milímetros de paso. Este material fuera de calibre o gramaje (número de semillas en 100 gramos) conforma una merma directa sobre el precio final del grano de poroto.

Los ítems considerados en la operación compra – venta determinan en su conjunto la calidad comercial del producto de exportación y por lo tanto el precio final.

El manejo del poroto blanco alubia en la poscosecha cambió marcadamente a partir de la incorporación de una tecnología de almacenamiento de granos en atmósfera automodificada, a través del empleo de la bolsa plástica o comercialmente conocida como silobolsa.

Las bolsas plásticas en Argentina están compuestas por una combinación de polietileno de baja densidad (PEBD) y polietileno de alta densidad (PEAD) (Abalone et al., 2011a) compuesto por tres capas, donde la cara interna es de color negro y la externa de color blanco (Bartosik et al., 2009a). Poseen aditivos que le otorgan resistencia y evitan el paso de los rayos UV (óxido de titanio y negro humo en la cara interna, respectivamente). El espesor de la bolsa es 235 micrones y durante el llenado es sometida a un estiramiento. La bolsa más difundida mide 60 o 75 metros de largo y 2,74 metros de diámetro (Bartosik et al., 2009b) lo cual le otorga una capacidad de embolsado de 180 toneladas de poroto en 60 metros de bolsa (Godoy & De Simone, 2010).

1.1.2. Atmósfera automodificada en bolsas plásticas.

Almacenar el poroto en una bolsa plástica que posee cierta permeabilidad a los gases y es impermeable al agua (Bartosik et al., 2009a) crea un ambiente confinado cuya atmósfera interna se va modificando sucesivamente hasta alcanzar un equilibrio dinámico basado en la interacción del grano con su entorno. Dicho equilibrio depende de la respiración del granel (conformado por granos, insectos, microorganismos, materiales extraños y finos) la transpiración del poroto, el intercambio gaseoso y la transferencia de calor (Martín Belloso & Oms Oliu, 2005)

La composición gaseosa típica de la atmósfera normal presenta 21% de oxígeno (O₂) y 0,033% de dióxido de carbono (CO₂). La atmósfera automodificada por la interacción granel – aire intersticial posee menor concentración de O₂ y mayor concentración de CO₂ con respecto al ambiente externo, 15 - 16% y 5% - 6%, respectivamente, para el caso de trigo (13% de humedad o menos) y soja (11 a 15% de humedad) (Bartosik et al., 2009a). Esta última composición favorable para la conservación del grano se genera de manera pasiva, sin métodos antrópicos y resulta entonces de la diferencia entre la tasa de respiración del grano (principal fuente de generación de CO₂) y la tasa de difusión de los gases O₂ y CO₂ a través de la bolsa. Dicha difusión depende de la naturaleza del gas, la temperatura, la humedad relativa y las características del plástico (Martín Belloso & Oms Oliu, 2005). Este último punto está íntimamente relacionado con la permeabilidad de la bolsa, la cual fue estudiada por Abalone et al. (2011a) quienes luego de considerar que el 50% de la capa plástica se trataba de HDPE y el 50% de LDPE, definieron que la permeabilidad equivalente a 25°C para CO₂ es $3,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ md}^{-1} \text{ m}^2 \text{ at}^{-1}$ * y para O₂ es $9,75 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ md}^{-1} \text{ m}^2 \text{ at}^{-1}$ *, con un cociente de permeabilidad (β) entre ambos aproximado a 3.

*unidades que hacen referencia a la tasa de difusión del gas a través del plástico teniendo en cuenta la presión interna y externa. A esto se suma otro aspecto relevante, el efecto de las perforaciones y/o aberturas en la bolsa, el cual agregado a la permeabilidad del plástico se interpreta como “permeabilidad efectiva”, estudiada también por Abalone et al. (2011b) y que se aborda en el capítulo II.

1.1.2.1. Efectos de la atmósfera modificada sobre el granel.

Estas proporciones de los gases O₂ y CO₂ mantienen los granos en condiciones seguras de almacenamiento pues los bajos niveles de O₂ reducen la respiración de los granos y ralentizan o evitan el desarrollo de microorganismos aerobios. Paralelamente, el CO₂ también tiene propiedades bacteriostáticas y fungiestáticas, es decir que retarda el crecimiento de muchas bacterias y hongos (aerobios). Estas condiciones logradas dentro del silobolsa también afectan negativamente la capacidad de los hongos para producir toxinas (Landers et al., 1986, citado por Bartosik et al., 2009a) aunque se corre el riesgo de recuperar dicha capacidad si se reestablece la atmósfera normal (roturas graves de la bolsa, por ejemplo). Es necesario mantener un nivel mínimo de O₂ que evite la activación de vías fermentativas a través de la acción de microorganismos anaerobios (Pastor Corrales y Schwartz, 1994). Con respecto a los insectos, se requieren valores menores a 3% de O₂ para un control efectivo y menores a 1% para la muerte rápida (Banks & Annis, 1990 y Adler et al., 2000, citados por Bartosik et al., 2009a). El control total de insectos se logra con una concentración de 35% de CO₂ durante 14 o más días de exposición, cuando se supera dicha concentración, se requiere menor tiempo para lograr el control. En definitiva, el control de hongos, bacterias e insectos se logra por el efecto combinado o sinergia de las nuevas concentraciones de ambos gases obtenidas dentro del silobolsa.

1.1.3. Microorganismos: otros factores intervinientes en su desarrollo.

Los granos almacenados son vulnerables a los microorganismos, cuyo desarrollo depende de la composición gaseosa en el interior de la bolsa (como se citó precedentemente) y también de una determinada humedad y temperatura en el aire intergranario y en el propio grano. Si estos factores son propicios, la rapidez del proceso de deterioro causado por los microorganismos aumenta destruyendo el grano de poroto que es utilizado como sustrato y cuya materia seca se transforma en gas carbónico, agua y calor (Arias, 1993).

Si se hace referencia al contenido de humedad del grano, es importante considerar un factor que está relacionado con la cantidad de agua disponible en el mismo y con sus propiedades dependientes del agua (Walstra, 2003) como lo es la susceptibilidad al deterioro. Este factor se conoce como “actividad de agua” y se designa *aw*. Existe una relación entre la humedad relativa del aire y la humedad de los granos en la cual ambos llegan a un equilibrio. De acuerdo con esto, las curvas de equilibrio o isotermas de sorción muestran dicho equilibrio de manera gráfica. Estos aspectos se abordan en detalle en el Capítulo II – Revisión y análisis de antecedentes.

El conocimiento y entendimiento de las isotermas de sorción para alimentos es de gran importancia en la tecnología y la ciencia de los mismos, por numerosos aspectos, como la evaluación de problemas de almacenamiento y empaque, y la estimación de la estabilidad microbiológica, química y física de los alimentos (Spiess & Wolf, 1983).

Para comprender *aw* a nivel conceptual, es preciso contemplar el procedimiento para su determinación, donde se somete a un alimento a atmósfera hermética, se aguarda a que el aire presente en dicha atmósfera alcance el equilibrio con dicho alimento (humedad relativa de equilibrio – HRE) y a continuación se mide la humedad relativa del aire. De acuerdo con ello:

$a_w = \text{HRE} (\%)/100$

a_w tendrá un valor entre 0 y 1. Cuanto menor es este valor, menor será la susceptibilidad del alimento a deteriorarse.

Si el agua en el grano interacciona fuertemente con otros compuestos del mismo, como iones (la sal, por ejemplo), moléculas polares (la glucosa, por ejemplo) o apolares (como los ácidos grasos) a_w será menor y por lo tanto disminuirá el peligro de deterioro.

La a_w en un alimento que se encuentra a una temperatura por encima de la congelación está en función de:

- Contenido de agua del alimento: a mayor contenido, mayor a_w
- Temperatura: a mayor temperatura, mayor a_w

Las distinciones entre microorganismos que pueden afectar al grano en almacenamiento se hacen con base en sus diferencias de estructuras (morfología), de su crecimiento y reproducción (biología) y de sus propiedades deteriorantes (fisiología) (Jobber & Jamieson, 1974). La clasificación basada en estas características, agrupa a los microorganismos en tres grupos: hongos, bacterias y levaduras.

1.1.3.1. Hongos.

Son organismos aerobios que se reproducen por medio de esporas, las cuales bajo condiciones ambientales apropiadas producen estructuras filamentosas llamadas hifas. Las hifas penetran la cubierta del grano y avanzan hasta llegar al embrión. Muchas esporas son resistentes a condiciones adversas como frío, calor, sequedad y falta de nutrientes. Los hongos más frecuentes en el cultivo de poroto sobreviven mucho tiempo como esporas (Pacheco, 1989).

Los granos pueden ser invadidos por hongos durante su formación en la planta, en la cosecha, el transporte, el acondicionamiento y el almacenamiento. Debido a las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan los hongos se clasifican en hongos de campo y hongos de almacén.

Los géneros más comunes de hongos de campo de *Phaseolus vulgaris* L. y que además se transmiten por semilla, son: *Colletotrichum lindemuthianum* (antracnosis), *Phaeoisariopsis griseola* Sacc. (mancha angular) *Sclerotinia sclerotiorum* (sclerotinia o moho blanco) *Erysiphe poligoni* (oidio) *Rhizoctonia solani* (mustia hilachosa) (Giménez Monge et al., 2002).

Las esporas son transportadas por el aire en partículas de restos vegetales o tierra. Su existencia varía de acuerdo al cultivo, localidad, sistema de cosecha, y condiciones ambientales. El microclima alrededor del grano puede bajo determinadas circunstancias presentar condiciones de humedad suficientes para su desarrollo, por ejemplo cuando se presentan lluvias o lloviznas repetidas.

Los hongos de almacenamiento no dañan el grano antes de la cosecha, con la excepción de *Aspergillus flavus*, que ha sido reportado en mazorcas de maíz en el campo. Son considerados saprofitos y parásitos facultativos, sin embargo, las inadecuadas prácticas de almacenamiento pueden contribuir a que los mismos se vuelvan patógenos.

La presencia de materiales extraños, granos dañados o quebrados, otras especies de granos, malezas, partículas del suelo e insectos vivos o muertos pueden propiciar el desarrollo de hongos. Las especies más importantes provienen de los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* (*A. restrictus*, *A. glaucus*, *A. candidus*, *A. ochraceus*, *A. flavus*, *Penicillium spp*)

Estos hongos en el almacenamiento se desarrollan con una humedad relativa mayor al 70% (Chirife et al., 1985, citado por Giner, 1994) es decir $aw = o > 0,70$ y temperaturas de 20 a 25° C (ver tabla 1.1.)

El polvo que se forma cuando el grano se mueve, es fuente de esporas de hongos en el ambiente del almacenamiento (galpones, plantas de procesamiento, etc.). Cuando la humedad baja a niveles apropiados para almacenamiento, los hongos de campo desaparecen (Pacheco, 1989).

Tabla 1.1. Condiciones de humedad relativa para germinar y temperatura mínima, máxima y óptima para el desarrollo de las especies de hongos más importantes del almacenamiento. Fuente: adaptado por Tuite (1986) citado por Abadía & Bartosik (2013).

Hongo	% Mínimo de HR para germinar	CHE %	Temperatura de Crecimiento		
			Mínima °C	Optima °C	Máxima °C
Alternaria	91	19	-3	20	36-40
Aspergillus candidus	75	15	10	28	44
A. flavus	82	16-17	6-8	36-38	44-46
A. fumigatus	82	16-17	12	37-40	50
A. glaucus	72	13.5-14.0	8	25	38
A. restrictus	71-72	13.5	-	-	-
Cephalosporium acremonium	97	22	8	25	40
Epicoccum	91	19	-3	25	28
Fusarium moniliforme	91	19	4	28	36
F. graminearum	94	20.5	4	25	32
Mucor	91	19	-3	28	36
Nigrospora oryzae	91	19	4	28	32
Penicillium funiculosum	91	19	8	30	36
P. oxalicum	86	17	8	30	36
P. brevicompactum	81	16	-2	23	30
P. cyclopium	81	16	-2	23	30
P. viridicatum	81	16	-2	23	36

Daños causados por hongos derivados de esporas:

En el grano: pérdida de germinación, oscurecimiento, calentamiento, testas arrugadas, malformaciones.

En el granel: calentamiento, apelmazamiento, compactación y producción de toxinas.

1.1.3.2. Bacterias.

Las bacterias son los microorganismos más pequeños y primitivos asociados a la descomposición de los alimentos. Algunas poseen flagelos y otras están encapsuladas, lo cual las hace resistentes al calor y a los productos químicos; el rasgo más importante en algunas especies es la producción de esporas y las enzimas segregadas con el fin de desdoblar los alimentos para su absorción. Oxidan, hidrolizan, fermentan y pudren los alimentos degradándolos.

Las pudriciones se producen en medio aeróbico, mientras que las fermentaciones en medio anaeróbico. Se ven favorecidas en ambos casos por la presencia de altos tenores de humedad ($aw > 0,70$) y temperaturas comprendidas entre 25 y 32°C (Primavesi, 2004).

Las bacterias que provocan enfermedades a campo y en almacenamiento en *Phaseolus vulgaris* L. en el norte argentino son:

Xanthomonas campestris pv. *phaseoli* y *X. fuscans* subsp. *fuscans* (bacteriosis común): en cultivares con granos de tegumento claro pueden observarse manchas amarillas y en ataques severos el grano se arruga y puede deformarse. No obstante, un grano sin síntomas puede estar contaminado con la bacteria (Giménez Monge et al., 2002) (Pastor Corrales y Schwartz, 1994)

Pseudomonas syringae pv. *syringae* (halo bacteriano): se encuentra en zonas productoras de los Valles Calchaquíes y sobre todo en poroto pallar (*Phaseolus coccineus*) que no es objeto de estudio en el presente trabajo.

Daños ocasionados por bacterias en términos generales en almacenamiento de granos:

- El mal olor y sabor es común, pero no siempre se presenta.
- Decoloración o manchado del grano.
- Reducida germinación de la semilla.
- La humedad del producto puede cambiar.
- El calentamiento ocurre en la etapa final del deterioro.

1.1.4. Causas de la implementación del silobolsa en la poscosecha de poroto blanco alubia.

Las grandes unidades productivas (promedio 5.000 ha/unidad productiva) sumadas a los elevados rendimientos obtenidos en los últimos años (1,8 t/ha) resultaron en 305.019 t cosechadas en 2010 a 416.000 t cosechadas en 2012 (Paoli et al., 2013) hicieron cada vez más necesario el almacenamiento en origen, superando la capacidad de acopios y estructuras de almacenaje particulares (galpones de estiba). La región productiva en su mayoría no posee plantas preparadas para recibir el poroto a granel. El manipuleo más difundido se realiza en bolsas de 50 kg y bolsones o big bags de 1.000 kg, ambos de polipropileno (De Simone & Godoy, 2006). En adición a ello, muchas de las empresas productoras de poroto no son propietarias de la tierra razón por la cual no invierten en infraestructura de almacenamiento, entonces el silobolsa se presenta como una solución significativa.

Si a esta condición se agrega la relativa facilidad del armado del silobolsa y la accesibilidad de los implementos utilizados, el resultado es una corriente positiva hacia la adopción de esta tecnología de almacenamiento temporario.

Actualmente se cuenta con la disponibilidad de embolsadoras sin sinfín, que comprimen el grano por efecto de la gravedad y en relación a su propio peso, con lo cual se produce un porcentaje de grano partido inferior a 0,5% (Godoy & De Simone, 2010). Este grano se destina al consumo humano directo por cuanto no debe presentar daños físicos.

Hasta la fecha se almacena en bolsas plásticas apenas el 8% del poroto producido, alrededor de 33.280 t, fundamentalmente porque aún no se terminan de adaptar extractoras equipadas y/o reguladas para producir el menor daño mecánico posible. Existen algunos implementos en etapa de prueba basados fundamentalmente en el transporte del grano con sinfines desnudos y cangilones con porcentajes de partido de 0,3% y 2%, respectivamente (Godoy & De Simone, 2010). En 2012 se presentó en el mercado nacional un implemento con ambas funciones (embolsado y extracción) basado en cintas transportadoras cuyo comportamiento es promisorio, pero aún no se realizó una evaluación detallada del mismo.

1.1.5. Almacenamiento de poroto blanco alubia en bolsas plásticas. Situación actual.

Experiencias realizadas en Salta desde el año 2006 demostraron que es posible almacenar sin riesgo en silobolsa, a la intemperie y sujeto a las condiciones ambientales, poroto sano, seco (12% de humedad o menos) y limpio 150 días sin pérdidas de calidad comercial e industrial (De Simone et al. (2009) y De Simone & Godoy (2009)).

Superado dicho período, muestras extraídas de silobolsas sometidos a condiciones reales de campo, mostraron un aumento del tiempo de remojo de los granos y la pérdida sostenida de su capacidad de reabsorber agua durante la cocción en los tests de calidad culinaria (calidad industrial). El deterioro de la reabsorción, resumido en la figura 1.1., marca claramente la pérdida de permeabilidad de los granos como una consecuencia de la pérdida de calidad industrial a partir de los 50 días de almacenamiento si el grano posee alto contenido de humedad o afecciones sanitarias (De Simone et al., 2009). Los tratamientos incluidos en la figura 1.1. poseían distintos contenidos de humedad: Testigo: 10,33%, T2: 12,66%, T3: 16,33% y T4: 18,33%

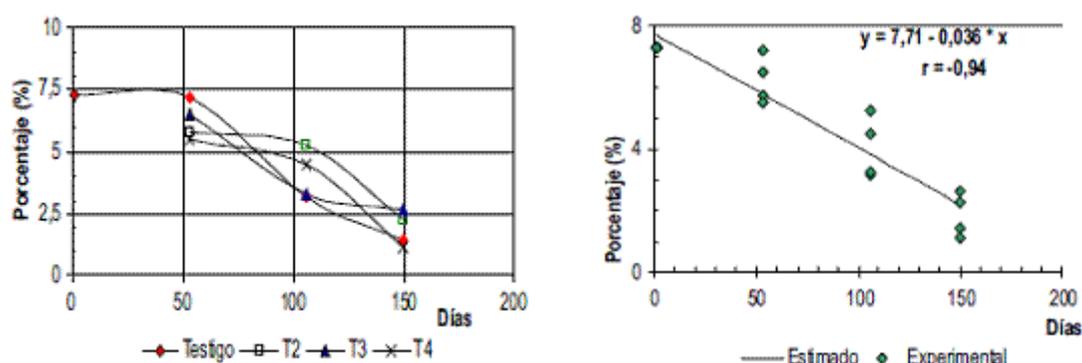


Figura 1.1. Reabsorción de agua en poroto negro en relación al tiempo de almacenamiento, Salta 2006-07. De Simone et al. (2009)

En los trabajos realizados por el INTA a fin de caracterizar la calidad culinaria de las variedades obtenidas en los programas de mejora genética, se coincide que los parámetros “absorción de agua y reabsorción de agua luego de la cocción” son muy precisos (Fili, 1996).

1.1.5.1. Principio del test de calidad culinaria o industrial:

El remojo de los granos es necesario para lograr que el agua impregne las células y aporte la humedad necesaria para que, por aplicación de calor se desarrolle una textura uniforme y suave característica del poroto cocido. El esfuerzo mecánico de la gelatinización del almidón, la desnaturalización de las proteínas, el aumento de la permeabilidad gracias al incremento de la temperatura y la conducción del calor (reabsorción) provocan que el material intracelular (pectatos de calcio y magnesio) se solubilice en la lámina media por intercambio de cationes a pectatos de sodio y potasio, que paulatinamente reblandecen los tegumentos, alcanzando las condiciones de palatabilidad apreciadas por el consumidor (De Simone et al., 2009).

Por otra parte, también desde el año 2006, se estudió la influencia de la humedad del grano y de su grado de deterioro inicial (daño mecánico, partido, infestación con *Xantomonas campestris* pv. *Phaseoli* y *Phaeoisariopsis griseola* Sacc.) en el comportamiento de poroto almacenado en bolsas plásticas de tamaño reducido (150 kg.). De ello resultó que la calidad de los granos de poroto utilizados, que se encontraban dañados por enfermedades fúngicas y bacterianas sobre el final del período reproductivo, experimentaron un deterioro muy rápido y sostenido en todos los tratamientos. Conforme transcurrió el período de estudio los granos redujeron su permeabilidad, así en la segunda fecha de muestreo era general la presencia de granos sin daño aparente que permanecían duros luego de las ocho horas de remojo, establecidas en el test de calidad culinaria (Fili, 1996). La reabsorción de agua no pudo reflejar diferencias estadísticamente significativas entre ningún tratamiento en cualquiera de las fechas de muestreo, debido a que los granos iniciaron el almacenamiento con un grado de deterioro muy relevante (De Simone et al., 2009).

Todo lo expuesto hasta esta instancia, evidencia una disminución de la calidad industrial al superar los 100 días de almacenamiento.

1.2. Descripción del problema.

A lo largo de las últimas campañas se ha observado un incremento del almacenamiento de poroto en bolsas plásticas con alto grado de materias extrañas (hasta 30%) (Godoy & De Simone, 2010). Esto es producto de almacenar granos sin previo proceso de limpieza, tal como provienen de la cosecha. De esta manera las bolsas plásticas albergan además de poroto restos de tallos, vainas, terrones, piedras, semillas de malezas y otras materias extrañas, lo cual se considera que generaría en el aire intersticial una humedad relativa de equilibrio (HRE) propicia para el desarrollo de hongos y bacterias (superior a 70%) (Chirife et al., 1985, citado por Giner, 1994; Abadía & Bartosik, 2013)

Por otra parte, el agregado de materias extrañas al espacio confinado y con alto grado de hermeticidad de la bolsa plástica, parece generar una situación similar al comportamiento del poroto que inicia su almacenamiento con un alto grado de deterioro, con la pérdida de calidad comercial e industrial muy marcada en períodos cortos de almacenamiento (De Simone et al, 2009)

Muestras extraídas de silobolsas de poroto en el año 2009 y analizadas en el laboratorio de Sanidad Vegetal de INTA Salta presentaron además de *Aspergillus sp* y *Penicillium sp*, que se consideran hongos comunes del almacenamiento, *Rhizoctonia sp* y *Fusarium sp* que son hongos de suelo (Giménez Monge, 2002). Incluso se efectuaron aislamientos de bacterias aunque en dicha oportunidad no se logró determinar de qué géneros se trataba.

Se considera que una actividad microbiológica elevada provoca el “manchado de la testa del grano” tal como lo expresan Pacheco (1989) y Giménez Monge (2002) lo cual constituye un ítem objetable a nivel comercial (la tolerancia es 0,5%). Asimismo se afecta sensiblemente el aspecto visual del grano y en algunos casos sus propiedades organolépticas. Se estima que aumenta el riesgo de deterioro en la poscosecha, con lo cual podría disminuir el tiempo de almacenamiento seguro.

La problemática descrita en la actualidad, afecta aproximadamente al 90% de los productores de poroto blanco alubia al momento de almacenar sus granos en bolsas plásticas y constituye una limitante para la adopción de esta tecnología de manera masiva.

La causa del principal problema en el almacenamiento de poroto es la incorrecta implementación de la cosecha directa. Para efectuar una cosecha directa eficiente es primordial no realizar aporques (práctica de manejo del cultivo muy común) ya que al

hacerlo disminuye el despegue de las vainas inferiores y le resta sustentación a la barra de corte (De Simone & Godoy, 2006) que en lugar de cortar las plantas al ras del suelo, recoge tierra y terrones. A su vez, muchas veces la recolección del poroto se realiza sobre terrenos desparejos, que en general provienen de desmontes recientes, y dicha desuniformidad provoca un efecto negativo similar al aporque.

A ello se suma el tratamiento inadecuado de las malezas y la falta de empleo de variedades de maduración uniforme resulta en presencia de tallos verdes (De Simone & Godoy, 2006)

Todos estos aspectos favorecen la entrada de terrones, tierra suelta y restos vegetales con distintos tenores de humedad en la cosechadora.

Cuando el material verde es trillado junto con el poroto, éste resulta embebido con jugos vegetales que lo manchan y adhieren tierra en su superficie (De Simone & Godoy, 2006). Esto se conoce como grano “revocado” y es una condición indeseable al momento de comercializar.

Weller & Saettler (1980) (citados por Pastor Corrales & Schwartz, 1994) observaron que durante la cosecha se producía la infección externa del grano con bacterias, debido a la transmisión por el aire del polvo de tejidos secos del poroto (especialmente de tallos y vainas) previamente infestados (Weller & Saettler, 1980 citados por Pastor Corrales & Schwartz, 1994).

Por último también es importante destacar el efecto del equipamiento y la regulación inadecuados de los sistemas de trilla y separación, limpieza, transporte y descarga de la cosechadora, los cuales provocan daño mecánico en los granos e incluso el partido de los mismos (De Simone & Godoy, 2006).

Se puede considerar entonces que implementando de manera adecuada la cosecha directa, que incluye buenas prácticas de manejo agronómico y equipamiento y regulaciones apropiadas de la cosechadora, es factible reducir el contenido de materias extrañas y granos partidos presentes en el granel que será almacenado posteriormente. Si este eslabón de la cadena falla, entonces puede efectuarse el procesamiento del poroto previo al embolsado, aunque son muy pocos los establecimientos que poseen las instalaciones para concretar esta tarea. Otra alternativa que puede presentarse como solución para la problemática es la incorporación de un sistema de limpieza a la embolsadora, cuestión que aún no fue abordada por los fabricantes nacionales de implementos agrícolas. Cabe destacar que los dos últimos casos planteados implican costos adicionales que van en detrimento de una de las principales ventajas del silobolsa, que es justamente su bajo costo en relación a los sistemas de almacenamiento convencional.

Hasta la fecha, no se determinó el nivel de reducción de la calidad comercial relacionado con la actividad microbiológica, ni su impacto en la calidad industrial. Donde se entiende como reducción de la calidad:

Comercial: al incremento de granos manchados generado por el incremento de la actividad microbiológica.

Industrial: a la disminución de la absorción de agua durante el remojo, de la reabsorción de agua durante la cocción y al aumento de la dureza de los granos, debido al envejecimiento acelerado de los mismos.

No se encontraron trabajos que aborden el efecto de las materias extrañas y de los granos partidos durante el tiempo de almacenamiento de poroto alubia en silobolsa. Por esta razón, surge la necesidad de estudiar la influencia los mencionados factores en la evolución de la calidad del poroto blanco alubia almacenado en silobolsa.

OBJETIVOS.

General:

Estudiar el proceso de deterioro de la calidad (comercial e industrial) en poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) almacenado en silobolsa con presencia de materias extrañas y granos partidos.

Específicos:

1. Analizar los cambios de humedad por estratos y determinar qué factores los determinan.
2. Analizar cuáles de los factores de calidad afectados por el almacenamiento podrían emplearse como indicadores del tiempo de almacenamiento seguro.

CAPÍTULO II

REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.

2.1. Aspectos determinantes de la eficiencia de almacenamiento de granos en silobolsa – experimentales y modelizados o predichos.

2.1.1. Bartosik et al. (2009a) realizaron experiencias para estudiar el efecto de la humedad, la temperatura y el tiempo de almacenaje sobre la calidad de maíz, trigo, soja y girasol. Almacenaron granos secos y húmedos en bolsas de tamaño comercial, que se muestrearon después de 45, 80 y 150 días de almacenamiento con un calador común de camiones. Se determinó el cambio de calidad a través de distintos análisis para cada caso, la humedad del grano según norma ASAE 1983 y se registró la temperatura del mismo de manera automática con sensores. Luego de 5 y 100 días de almacenamiento se midió la concentración de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) con un analizador portátil (Abissprint, Francia).

Evidenciaron a partir de los resultados que la temperatura del grano dentro de la bolsa plástica siguió el patrón de la temperatura ambiente promedio. Los cambios de la temperatura diaria se generaron sobre la superficie del grano (parte externa de bolsa). Aseguran que dichos cambios estarían relacionados con cambios de humedad del grano debido a condensación durante la noche.

Observaron que tanto en granos secos como húmedos la humedad promedio no se modificó significativamente durante el período de almacenamiento, tampoco detectaron una estratificación sustancial en términos generales, con una excepción en la bolsa de girasol húmedo donde la capa superior llegó a 20,8% de humedad durante el experimento por procesos de condensación, que favorecieron el desarrollo de levaduras y otros microorganismos anaeróbicos. Sostienen que la humedad relativa de equilibrio (HRE) para girasol superó 90% cuando el mismo tenía 16,4% de humedad y 15°C, y que con el descenso de la temperatura fácilmente puede producirse la condensación.

Del análisis de los parámetros de calidad observaron en todos los casos un efecto negativo al almacenar granos húmedos en combinación con elevadas temperaturas, ya sea al momento del embolsado o luego del incremento de la temperatura ambiente por cambio de la estación del año:

En trigo húmedo y con una temperatura de almacenaje promedio de 42°C se produjo la reducción del peso hectolítrico, del poder germinativo (que llegó a 40%) inhabilitando su uso como semilla, y la pérdida de la calidad panadera.

En maíz húmedo, con el aumento de la temperatura (primavera) se produjo una pérdida de peso hectolítrico y el aumento de granos dañados por incremento de la actividad biológica en el granel.

En soja húmeda, en iguales condiciones de temperatura que el maíz se evidenció pérdidas de peso hectolítrico e incrementos en la acidez del aceite. Observaron que aún con soja seca se produjo la reducción del PG de 74 a 62 % cuestión que condiciona su empleo como semilla.

En girasol, al igual que en el trigo, por combinación de elevadas temperaturas y humedad se generó la caída de parámetros de calidad (reducción de la composición del aceite y aumento de la acidez del mismo).

Destacan que en todos los tipos de granos el almacenamiento durante 5 meses a humedad de recibo o menos, resulta ser una práctica segura. Este comportamiento se observa también en las bolsas de poroto blanco alubia.

De estudiar la composición de la atmósfera intergranaria deducen que la respiración del grano asociada con los microorganismos aumenta la concentración de CO₂ y reduce la concentración de O₂, estos cambios se pronuncian hacia el final del período de almacenamiento en todos los casos. A su vez observaron que para los granos húmedos el

incremento de CO₂ y la reducción de O₂ fue mayor que para granos secos, salvo en maíz donde se inició la experiencia con un cierto grado de deterioro en los granos.

Sostienen que en granos húmedos se observaron las mayores concentraciones de CO₂ porque presentan mayor actividad biológica (crecimiento de microorganismos acompañado de mayor tasa respiratoria de éstos y de los granos).

Los autores concluyen que la humedad, la temperatura y el tiempo de almacenamiento tienen efecto en la calidad de los granos evaluados, y que la concentración de CO₂ puede utilizarse como indicador de la actividad biológica en la masa de granos en sistemas de almacenaje hermético y como herramienta para el monitoreo del almacenamiento. Estas cuestiones son coincidentes con lo observado en la evolución de la calidad del poroto blanco alubia en silobolsa.

2.1.2. Bartosik et al. (2009b) llevaron a cabo experiencias para detectar de manera temprana a través de la medición de CO₂ procesos de descomposición de granos de soja y trigo almacenados en bolsas plásticas. Aseguran que la medición de la temperatura no es una herramienta útil para el monitoreo de silobolsas, debido a que en éstas la misma sigue el patrón de la temperatura ambiente por su capacidad de intercambiar calor con el ambiente y el suelo (relación superficie/volumen = 1,42 - silobolsa de 180 t). Sostienen que el calado convencional no es conveniente para detectar problemas tempranos de almacenaje, dado que el deterioro del grano se presenta en lugares muy localizados del granel. Emplearon la medición de la concentración de CO₂ a lo largo del tiempo y compararon de los valores obtenidos en bolsas sin y con problemas de almacenaje.

Se armaron bolsas de tamaño comercial con distintos contenidos de humedad. Se midió cada 15 días la concentración de CO₂ con un equipo portátil (PBI Dan Sensor, Dinamarca) en tres puntos de muestreo y se extrajeron muestras con calador a diferentes profundidades del granel.

De los resultados obtenidos observaron altas concentraciones de CO₂ en aquellas bolsas de soja que presentaron roturas en la base de la bolsa y que generaron una capa de 10 cm de espesor de granos deteriorados, lo cual fue observado al momento de desarmar las bolsas. Estas perforaciones, sostienen los autores, permitieron la entrada de agua y O₂, que en combinación con altas temperaturas favorecieron el desarrollo de hongos. Bolsas de soja con alto contenido de humedad pero sin afecciones en su cubierta basal, mostraron valores bajos de concentración de CO₂.

En las bolsas de trigo detectaron el mismo comportamiento del gas cuando se produjeron perforaciones en la base de la bolsa y en situaciones donde el cierre fue deficiente. Por otro lado, el trigo que superaba la humedad de recibo resultó afectado aun cuando no observaron roturas o fallas de confección de la bolsa.

En aquellos casos donde las bolsas presentaron condiciones de almacenaje apropiadas la concentración de CO₂ fue significativamente más baja en relación a la detectada en bolsas con granos afectados. La correlación del incremento de la concentración de CO₂ con el aumento de la humedad fue muy marcada en trigo, no así en soja, aspecto observado tanto en bolsas de trigo con grano en buenas condiciones como en aquellas con granos que mostraban cierto grado de deterioro. Estas cuestiones coinciden con trabajos efectuados en el NOA (Noroeste Argentino).

De comparar las bolsas con distintos grados de daño de la cubierta plástica en la base y con distintos contenidos de humedad del grano, los autores establecieron los valores típicos de CO₂ que representan condiciones seguras de almacenamiento, donde para soja se encuentra por debajo de 4% (en un rango de humedades de grano de 11 a 15%) y para trigo 5% con 13% de humedad o menos.

Los autores concluyen que la medición de la concentración de CO₂ se puede utilizar como una herramienta para detectar de manera temprana el aumento de la actividad biológica y relacionarlo con procesos de descomposición del grano, y que se puede establecer si se trata de una condición de almacenaje segura, riesgosa o insegura en función de la concentración típica establecida para soja y trigo.

Se considera que las experimentaciones efectuadas por estos autores tienen aplicación válida en silobolsas de poroto alubia, ya que de lo observado en investigaciones previas surge que el seguimiento de las mismas con métodos convencionales de control a través del calado, no permite anticiparse a la ocurrencia del deterioro.

2.1.3. Cardoso et al. (2009) estudiaron la evolución de la humedad de los granos individuales de maíz y soja en bolsas plásticas, con el objeto de determinar si se produce la homogeneización de la misma durante el período de almacenamiento, estimar el lapso para llegar a ello, determinar si existe estratificación de humedad promedio y del grano partido, y medir los cambios de materia seca.

Los autores consideraron que cuanto menor es la calidad inicial (daño mecánico, materias extrañas, etc.) mayor es el riesgo de pérdida de calidad (coinciden con De Simone et al., 2009). Además tuvieron en cuenta que en las bolsas que no presentan daños no se produce el aumento de la temperatura por generación de calor propio del sistema, aun con granos muy húmedos.

Evaluaron silobolsas de tamaño comercial de soja y de maíz a humedad de recibo. Extrajeron muestras con un calador convencional y separaron distintos estratos (superior, medio e inferior) según la profundidad del granel. Determinaron la humedad individual del grano, fracción de partidos, humedad promedio y peso de 1000 semillas.

Resultó que en la bolsa de soja se produjo la homogeneización de la humedad individual de los granos en el almacenamiento. Se detectó el incremento de la humedad promedio de los granos del estrato superior con respecto a los dos restantes.

En maíz se produjo una homogeneización hasta los 30 días. A partir de allí se mantuvo la diferencia hasta los 60 días. La diferencia de humedad promedio entre los estratos se mantuvo a lo largo del tiempo a diferencia de lo ocurrido en soja. No observaron una clara estratificación y el proceso de homogeneización fue más atenuado.

Los autores explicaron que tanto el aumento de la humedad del grano en el tiempo como la estratificación de la misma se producen porque hay movimientos de humedad generados por convección o difusión del vapor de agua hacia la superficie. Estos factores generan la condensación sobre el grano y la pared interna de la bolsa. Destacan el hecho que según el grano embolsado varía la intensidad de la estratificación de la humedad, donde en soja por ser más higroscópica que el maíz, los cambios por condensación no solo se presentan en granos individuales que están en contacto con la pared de la bolsa, sino en la humedad promedio del estrato. Estos aspectos no fueron evaluados en detalle en los silobolsas de poroto blanco alubia y se presentan como parte de los objetivos del presente trabajo. Se considera que el poroto tendría un comportamiento más afín con el de la soja que con el de maíz.

En cuanto a los granos partidos/quebrados, evidenciaron la estratificación de material fino hacia la base de la bolsa y consideran se produjo durante el embolsado. No detectaron efectos negativos del sinfín de la tolva de descarga que alimenta la embolsadora. Consideran que el estrato inferior de la bolsa es el más propenso al desarrollo de actividad microbiana, por lo tanto no debe dejar de considerarse en los análisis, aspecto en el cual coinciden con Pacin (2003) citado por Abadía y Bartosik (2013). En las bolsas de poroto blanco alubia se presentaría esta situación y se coincide con lo considerado por los autores en el hecho de que sería este estrato el más susceptible al desarrollo microbiano.

Cuando abordaron el estudio de la evolución de la materia seca a lo largo del almacenamiento, observaron que en soja se produjeron significativas pérdidas de materia seca, mientras que en maíz no detectaron diferencias.

Finalmente los autores concluyen que antes del mes de almacenamiento se produce una homogeneización de la humedad individual, que es mayor en soja que en maíz. La estratificación de la humedad existe, y es más evidente en granos de soja. Sí se produce la estratificación de material fino (partido/quebrado). Las pérdidas de materia seca son variables de acuerdo al grano almacenado. Como consecuencia de lo expuesto su conclusión final indica que no hay limitaciones para almacenar en silobolsa granos destinados a la industria.

Los trabajos de investigación presentados hasta esta instancia (2.1.1., 2.1.2. y 2.1.3.) están enfocados en el estudio del cambio de calidad del grano almacenado en silobolsa en función de la condición inicial del mismo y de la influencia del “ambiente” que lo rodea en el interior de la bolsa, en definitiva comparten el estudio del sistema conformado por el granel y la bolsa. Por ello se consideran fundamentales para la definición de los materiales y métodos empleados en la presente tesis, a pesar de tratarse de granos distintos al poroto. Fueron considerados para definir la metodología de determinación del cambio de calidad en poroto, evaluando el grano en sí mismo, sus propiedades y la atmósfera intergranaria (medición de la concentración de CO₂) para la definición de los períodos de tiempo considerados en los distintos ensayos (campo y laboratorio) y para la identificación de las variables de estudio (granos partidos y material extraño). Los tres trabajos coinciden en el hecho en que se basan en experimentación a campo en bolsas convencionales, lo cual se consideró para realizar el ensayo principal de esta tesis (campo). Los aspectos estudiados en estas investigaciones se contemplaron para la definición de los objetivos.

Se trata de trabajos complementarios que siguieron una lógica que permitió determinar períodos de almacenamiento seguros en función de las condiciones del grano y emplear las técnicas de medición de CO₂ como indicador de deterioro y monitoreo del “estado” de la atmósfera intergranaria, a partir de experiencias en el campo, como ya se expresó, con bolsas plásticas convencionales.

2.1.4. Abalone et al (2011a) desarrollaron un modelo matemático para predecir los cambios de la concentración de CO₂ y O₂ en silobolsa considerando la respiración del grano y la permeabilidad de la bolsa. En una primera etapa los autores validaron para silobolsas de trigo un modelo de transferencia de calor y masa con el cual se puede predecir la temperatura de almacenamiento y el contenido de humedad, en función de las condiciones ambientales. Asumieron que la bolsa era impermeable a los gases (condiciones herméticas). En esta segunda instancia desarrollaron una ecuación diferencial de capacitancia agrupada para transferencia de gases, con el objeto de simular el intercambio de los mismos. Consideran que la concentración de CO₂ y O₂ en el silobolsa depende del balance entre la respiración, la entrada de O₂ externo al sistema y las pérdidas de CO₂ al aire ambiente. La transferencia de gases a través de plásticos depende de la presión parcial de los mismos en el interior y de la permeabilidad. Experimentalmente no evidenciaron una estratificación de gas en ensayos de campo en silobolsa, por lo cual adoptaron dicho modelo de capacitancia agrupado.

Sostienen que esto está muy influenciado por la respiración (tasa de producción de CO₂) aunque no existen correlaciones para predecirla cuando se trata de granos almacenados bajo condiciones herméticas, así la misma fue calculada con la correlación desarrollada por White et al. (1982). Esta última calcula la respiración aeróbica para granos y microflora, dependiendo de la temperatura de almacenamiento, del contenido de humedad y del tiempo de almacenamiento. La permeabilidad para la mezcla de PEAD (polietileno de alta densidad) y PEBD (polietileno de baja densidad) se modeló como dos resistencias en serie. En tal caso los autores consideraron que 50% de la capa plástica se trataba de PEAD y 50% de PEBD, donde a 25°C la permeabilidad equivalente para CO₂ es $3,22 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ md}^{-1} \text{ m}^2 \text{ at}^{-1}$ y para O₂ es $9,75 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ md}^{-1} \text{ m}^2 \text{ at}^{-1}$, con un cociente de permeabilidad (β) entre ambos aproximado a 3.

Contemplaron para los cálculos un silobolsa de 240 μm de espesor, de 1 metro de longitud lo cual representa un volumen de 4,54 m³ y un área de 5,54 m², asumiendo que el silobolsa es impermeable a la transferencia de humedad.

Los valores predichos con este modelo se contrastaron con aquellos determinados de manera experimental a lo largo de 3 estaciones de almacenamiento.

Los autores evidenciaron de los resultados experimentales que a bajo contenido de humedad del grano no surgen diferencias en la concentración de CO₂ entre la estación cálida y la fría, mientras que para contenidos superiores a 14% la diferencia de dicha concentración alcanza 7% en la temporada cálida. Sostienen que el principal factor que

afecta la concentración de CO_2 es la humedad del grano, con un incremento de 5 a 30% para cambios de humedad del grano de 14% a 19%. Cuando comparan estos resultados con los datos estimados por el modelo a partir de la humedad inicial del grano asociada a las muestras de campo, encuentran que el 90% de los valores medidos de O_2 y el 70% de aquellos correspondientes a CO_2 caen entre las bandas predichas, y evidencian un fuerte efecto del contenido de humedad inicial en la evolución de la concentración del gas, ya que la tasa de respiración tiene una dependencia exponencial de dicho contenido. Evidenciaron más coincidencia con los niveles medidos en el rango de menores contenidos de humedad (12 a 13,5%) con un error estándar de 1,2 para CO_2 y 2,5 para O_2 (figura 2.1.) mientras que para granos más húmedos (14 a 15%) el modelo predijo el consumo total de O_2 , a diferencia de lo ocurrido en el campo, donde los valores medidos nunca llegaron a cero (figura 2.2.). Aseguran que el error experimental en la determinación del contenido de humedad de 0,5% podría generar cambios de 2% en las concentraciones predichas, aumentando la diferencia entre valores observados y predichos con altos valores de contenido de humedad. Consideran que los valores de desviación relativa media del modelo obtenidos en la estimación de O_2 y CO_2 son compatibles con los obtenidos por otros autores (Rennie y Tavoularis, 2009) y que a pesar de ser altos, no disminuyen la utilidad de estos modelos matemáticos para analizar la respuesta de los sistemas a diferentes condiciones.

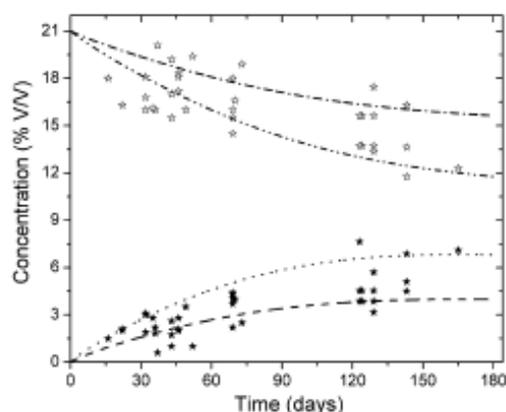


Figura 2.1. Comparación entre las concentraciones de gas medidas y predichas. Rango de contenido de humedad: 12-13% (b.h.). Temperatura inicial del grano: 25°C; O_2 : valores \star medidos;-----, predichos 12% b.h., predichos 13% b.h.; CO_2 valores: \blacktriangle medidos; - - - -, predichos 12% b.h. — · · ·, predichos 13% b.h. Abalone et al. (2011)

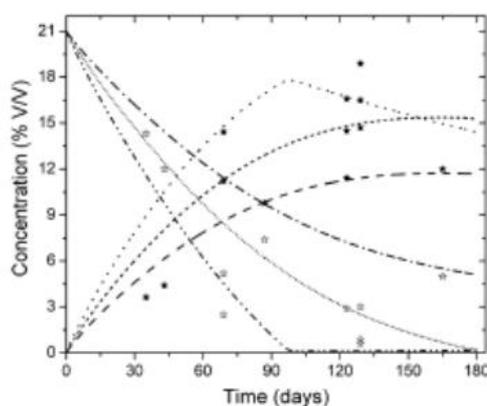


Figura 2.2. Comparación entre las concentraciones de gas medidas y predichas. Rango de contenido de humedad: 14-15% (b.h.). Temperatura inicial del grano: 25°C; CO_2 : valores \star medidos;-----, predichos 12% b.h., predichos 13% b.h.; O_2 valores: \blacktriangle medidos; - - - -, predichos 12% b.h. — · · ·, predichos 13% b.h. Abalone et al. (2011)

2.1.5. Abalone et al (2011b) continuaron el estudio de la concentración de gas en la atmósfera intersticial en silobolsas de trigo, donde evaluaron la sensibilidad del modelo desarrollado y el efecto de las condiciones de almacenamiento del grano. Sostienen que el nivel de referencia de CO₂ depende del contenido de humedad del grano, de su temperatura y de la permeabilidad a los gases en la bolsa, demostrado a través de ensayos en campo. A su vez consideran que efectuar ensayos cubriendo un amplio rango de condiciones de almacenamiento sería costoso y llevaría demasiado tiempo, por lo cual un modelo validado constituye una herramienta poderosa. Para dicho modelo validado en la parte I del trabajo, los parámetros respiración del grano y permeabilidad de la bolsa fueron muy relevantes. Esta última depende del grosor y la composición del material, varía durante el llenado y como consecuencia distintos silobolsas poseen distintos niveles de permeabilidad a los gases. Asimismo, consideran que el número y tamaño de las perforaciones que puedan surgir durante el tiempo de almacenaje afectan estos factores y que el modelo permite calcular los niveles de concentraciones de gas para distintas configuraciones de perforaciones. Los autores se plantearon examinar el efecto del daño estructural de la bolsa en las concentraciones de gas y aplicar el modelo para estudiar el efecto de la humedad y temperatura inicial del grano en la evolución de la concentración del gas.

Evidenciaron los siguientes resultados:

Cambios de 10% en la tasa de respiración produjeron cambios en la concentración de gases (de ± 1 a $\pm 2\%$) los que fueron más acentuados y acelerados con mayor contenido de humedad del grano (15% de humedad, 100 días). Este último aspecto coincide con las experiencias realizadas hasta la fecha con silobolsas de poroto blanco alubia, que alcanzó valores de CO₂ superiores a 5% a los 100 días de almacenamiento aun con menores contenidos de humedad en el grano (Godoy, 2010).

Variaciones en la permeabilidad de $\pm 20\%$ evidenciaron mayor sensibilidad del modelo en granos húmedos que en aquellos secos. Con aumentos del 100% de la permeabilidad el modelo falló para predecir bajos niveles de CO₂, lo cual evidenció la necesidad de incluir el efecto de las perforaciones en estos casos.

El efecto del daño estructural de la bolsa en las concentraciones de O₂ y CO₂ fue evaluado a través del aumento del tamaño y número de perforaciones, lo cual resulta en una permeabilidad efectiva, la cual fue calculada considerando el modelo propuesto por González (2009). Evidenciaron que la presencia de perforaciones aumentó la tasa de permeabilidad, resultó que la diferencia para O₂ fue más alta, con cambios más pronunciados (figura 2.3.). De variar el tamaño de las perforaciones resultó un aumento en la diferencia de las concentraciones, cuando produjeron cambios en el número de perforaciones los cambios fueron significativos (figura 2.4.).

Predijeron que al bajar la temperatura en invierno, la tasa de respiración bajó. En esta condición la tasa de consumo de O₂ fue más baja que la tasa de entrada de O₂ al sistema. Este comportamiento no se observó en bolsas sin perforaciones con trigo húmedo, porque la tasa de consumo de O₂ fue mayor que la tasa de entrada de O₂.

A partir de ello, consideran que el nivel de CO₂ se puede usar de indicador de la actividad biológica dentro de la bolsa, con lo cual si el valor medido supera al valor de referencia, podría indicar excesiva actividad, mayormente debida a la entrada de agua de lluvia por perforaciones (roturas) que a causa de deterioro. Por otra parte, si el valor es menor al de referencia (caso base sin roturas) implicaría que el CO₂ producido está saliendo por las roturas. En este aspecto se coincide ampliamente con los autores, pues es situación común el armado de silobolsas de poroto en condiciones inadecuadas que favorecen las roturas del plástico.

El valor de referencia es válido para un rango de contenido de humedad y temperatura desde que ambos factores afectan la tasa de respiración. Sin embargo la permeabilidad afecta también la concentración de CO₂, aunque es difícil estimar la hermeticidad de la bolsa (efecto considerable de las roturas) con lo cual los autores consideran importante crear un test de hermeticidad en concordancia con lo propuesto por Darby y Caddick, 2007.

En cuanto al efecto de la temperatura y la humedad inicial del grano en las concentraciones de O₂ y CO₂ se obtuvieron los siguientes resultados relevantes:

Trigo 12 a 13% de humedad (Base húmeda - b.h.) y 20°C y 30°C (figura 2.5.): CO₂ aumentó a 4 - 7% y O₂ disminuyó a 16 - 12%. Observaron diferencias de concentraciones entre verano e invierno de 3%. Trigo 14% de humedad (b.h.) CO₂ aumentó a 12% y O₂ a 5% por actividad de hongos. Las diferencias entre estaciones superan el 7% y con 40°C el O₂ se reduce a menos de 1% después de los 120 días de almacenamiento (figura 2.5.).

Trigo 15% - 16% de humedad (b.h.) para todas las temperaturas evaluadas (figura 2.6.): el O₂ fue prácticamente consumido (su concentración residual es casi cero), lo que indica que todo el O₂ que entra por el plástico es consumido por la respiración. El CO₂ aumentó a 17-20% y después mostró reducción debido a que se produjeron pérdidas a través del plástico (hacen hincapié en el hecho de que la permeabilidad del CO₂ es 3 veces mayor que la del O₂)

Con ello indican que el contenido de humedad tiene un efecto mayor que la temperatura inicial en la concentración de los gases.

Las simulaciones mostraron que para grano húmedo las condiciones anaeróbicas pueden alcanzarse de dos semanas a tres meses, dependiendo de la temperatura inicial del grano.

Cuando los autores consideraron condiciones estándar de almacenaje el valor esperado o nivel de referencia de la concentración de CO₂ alcanzó a los 80 días de almacenamiento un valor de 5%, lo cual coincide con Bartosik et al. (2009a).

Considerando mayor temperatura de almacenamiento (40°C) la concentración de CO₂ se aproxima a 10%, aunque no observaron excesiva actividad biológica.

Los autores consideran que el efecto de la temperatura es mayor a medida que aumenta el contenido de humedad del grano.

Estimaron pérdidas de materia seca de 0,052% en la condición más comprometida (40°C y 16% de humedad) lo cual no es suficiente para reducir la calidad comercial del grano. Para el resto de las condiciones evaluadas, estas pérdidas permanecieron debajo de 0,04%, valor que se considera crítico para el almacenamiento seguro de semillas (figura 2.7.).

Los autores finalmente concluyen que el modelo presenta mayor sensibilidad a las variaciones de la tasa de respiración que a la permeabilidad del plástico.

En cuanto al estado del plástico aseguran que una pequeña perforación puede cambiar la evolución de la composición del gas.

Consideran necesario implementar un test de hermeticidad para mejorar el modelo debido a que las roturas en el campo varían entre bolsas (permeabilidad efectiva).

Indican que con la implementación de este modelo fue factible el estudio de las concentraciones de CO₂ y O₂, de la temperatura y la humedad inicial del grano.

Los aspectos estudiados por los autores en este trabajo de investigación, parte I y II se consideran de vital importancia para la comprensión del comportamiento de los gases en el interior de la bolsa de poroto blanco alubia en función de las condiciones del grano, de las condiciones ambientales (pasaje de la estación fría a la estación cálida) y del tiempo de almacenamiento.

Estos trabajos complementan y profundizan las investigaciones previas realizadas por Bartosik et al. (2009a-b) y por Cardoso et al. (2009) y también aportan a la definición de valores de referencia de CO₂. Además de los aspectos referidos a las concentraciones de gases, permiten comprender el efecto de la respiración de los granos en el almacenamiento y cómo la afectan distintos factores (condición del grano - temperatura y humedad del sistema). También fueron considerados para la definición de los materiales y métodos.

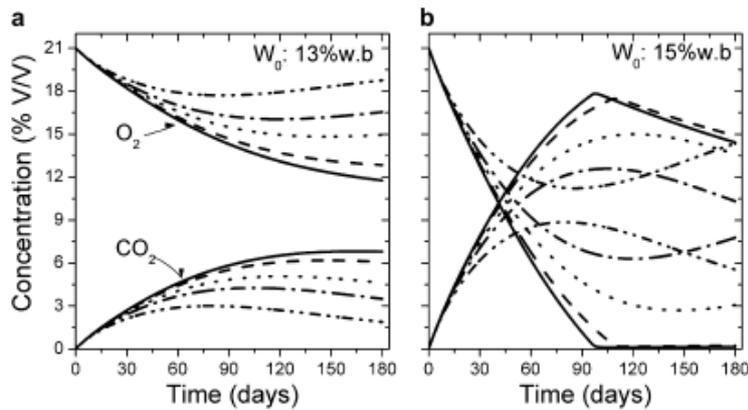


Figura 2.3. Evolución de las concentraciones de O_2 y CO_2 predichas considerando una perforación por metro de silobolsa para diferentes diámetros. Permeabilidad efectiva estimada con el modelo de González (2009). Contenido de humedad inicial del grano: a) 13% b.h.; b) 15% b.h. Temperatura inicial del grano 25°C , caso base. Una perforación de: 1 mm - - - ; 3 mm; 5 mm - · - ; 10 mm — · · Abalone et al (2011)

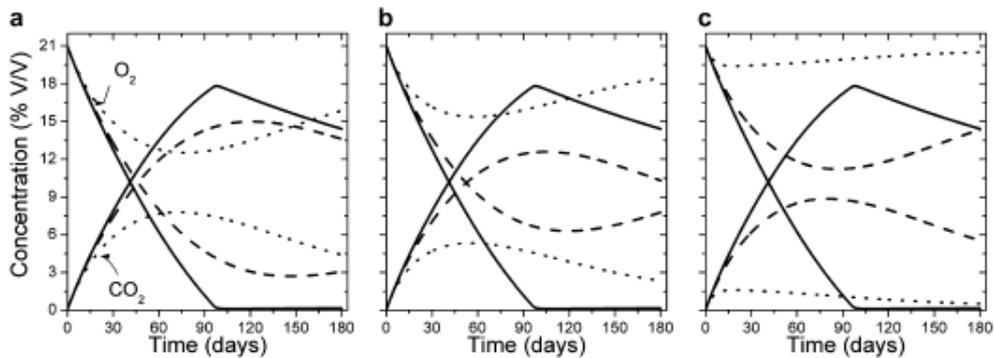


Figura 2.4. Evolución de las concentraciones predichas de O_2 y CO_2 para distinto número y tamaño de perforaciones por metro de silobolsa. Permeabilidad efectiva estimada con el modelo de González (2009). Contenido inicial de humedad del grano 15%. Temperatura inicial del grano 25°C . Diámetro de la perforación: a) 3 mm; b) 5 mm; c) 10 mm. Número de perforaciones: — $N_p = 0$; - - - $N_p = 1$; $N_p = 5$. Abalone et al. (2011)

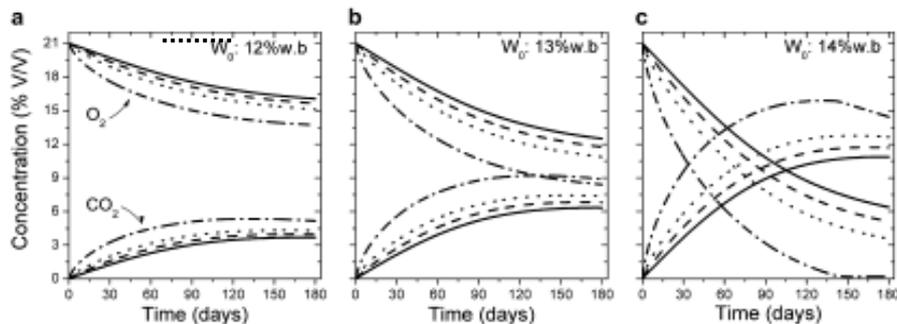


Figura 2.5. Evolución de las concentraciones predichas de O_2 y CO_2 desde verano a invierno para diferentes temperaturas iniciales de almacenamiento de granos. Contenido de humedad inicial: a) 12% base húmeda (b.h.); b) 13% b.h.; 14% b.h. Temperatura inicial del grano: — 20°C ; - - - 25°C ; 30°C ; - · - 40°C . Abalone et al. (2011)

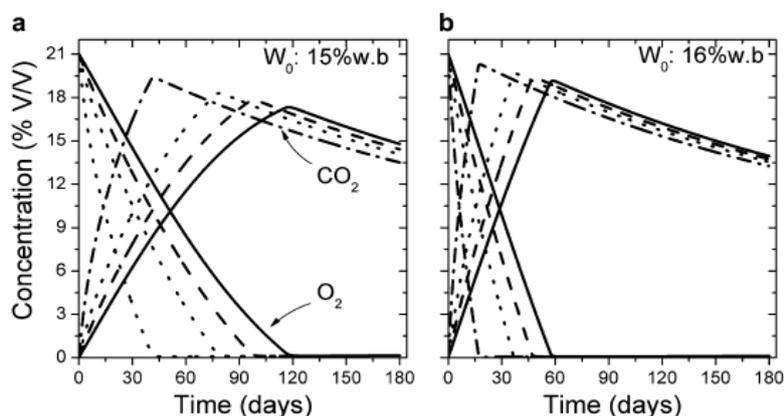


Figura 2.6. Evolución de las concentraciones predichas de O_2 y CO_2 desde verano a invierno para diferentes temperaturas iniciales de almacenamiento de granos. Contenido de humedad inicial: a) 15% b.h.; b) 16% b.h. temperatura inicial del grano: — 20°C; - - 25°C; 30°C; - · - 40°C. Abalone et al. (2011)

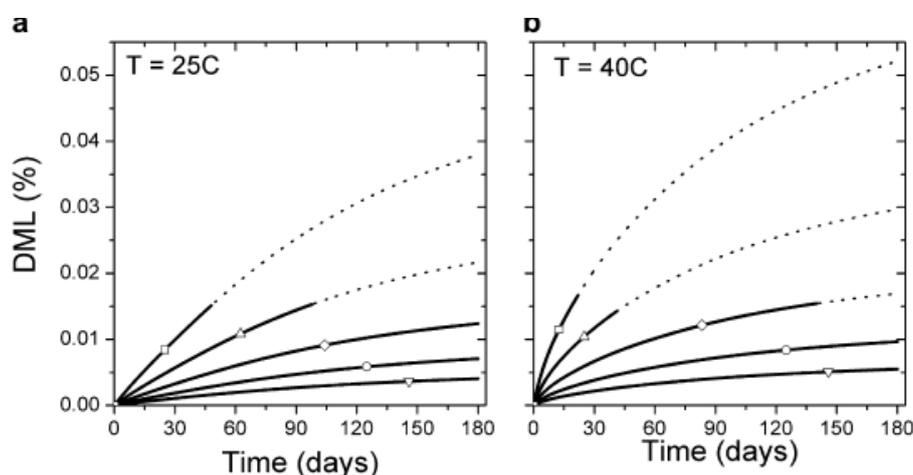


Figura 2.7. Evolución del porcentaje medio de pérdida de materia seca (DML) (%). Temperatura inicial del grano: a) 25°C; b) 40°C: Contenido de humedad inicial del grano: ∇ 12% b.h.; \circ 13% b.h.; \diamond 14% b.h.; \triangle 15% b.h.; \square 16% b.h. Abalone et al. (2011)

2.2. Almacenamiento de *Phaseolus vulgaris* L. en silobolsa.

2.2.1. De Simone et al. (2009) estudiaron el comportamiento de poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) en bolsas plásticas en relación a su contenido de humedad inicial, el deterioro de los granos y el tiempo. Realizaron experiencias con dos variedades de poroto, una de ellas con granos dañados por bacterias y hongos al final del ciclo reproductivo del cultivo y la otra sin afección de enfermedades. Utilizaron bolsas plásticas de escala de investigación (150kg) con 3 contenidos diferentes de humedad y se consideró como testigo una bolsa de polipropileno con poroto blanco a 14% de humedad y poroto negro a 12% de humedad. Se extrajeron muestras a los 50, 100 y 150 días para efectuar análisis de germinación (PG) físico (daño mecánico, materias extrañas, humedad) y calidad de cocción (absorción de agua durante el remojo y reabsorción durante la cocción).

De los resultados evidenciaron que en poroto negro cuanto mayor fue la humedad inicial del grano (18,97%) menor fue la capacidad de absorber agua durante el remojo, fenómeno que comenzó a partir de los 50 días de almacenamiento. En este caso también observaron la caída del poder germinativo a partir de los 150 días, cuestión que no se registró a menores tenores de humedad. Observaron que la reabsorción de agua en la cocción disminuyó a

partir de los 50 días en todos los tratamientos, lo cual sostienen los autores, marca claramente la pérdida de permeabilidad de los granos como consecuencia de la pérdida de calidad.

En cuanto a poroto blanco evidenciaron un comportamiento similar en la absorción de agua en granos con mayor contenido de humedad inicial (20,99% y 21,73%) y la disminución marcada del poder germinativo a partir de los 50 días en los mismos. Asimismo, observaron pérdidas de PG tanto en el testigo como en la bolsa con 14% de humedad. Cuando analizaron la capacidad de reabsorber agua en la cocción, no encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Las conclusiones que surgieron del ensayo con poroto negro indican que el parámetro evaluado más sensible fue el porcentaje de reabsorción durante la cocción. Se produce un deterioro de los tres parámetros evaluados en todos los tratamientos, cuya magnitud varía con el contenido de humedad de los granos al inicio del almacenamiento. Establecen que el deterioro es más acelerado en bolsas de polipropileno que en bolsas plásticas a igual contenido de humedad inicial del grano.

De las experiencias realizadas con poroto blanco, los autores concluyen que el grado de deterioro inicial de los granos por actividad microbiana generó un deterioro muy rápido y sostenido en todas las condiciones de humedad inicial, evidenciado por la reducción de la capacidad de absorber agua en el remojo relacionada con la baja permeabilidad del grano (esto podría deberse a diferencias entre humedades individuales de los granos, lo cual aún no se ha estudiado en porotos pero sí en soja y trigo, Cardoso et al., 2009) la caída sostenida de PG y la restricción de reabsorber agua en la cocción.

A partir de las conclusiones los autores recomiendan almacenar granos sanos, limpios y con humedad próxima a 12% hasta 150 días en condiciones seguras de almacenaje.

Esta investigación constituye la base a partir de la cual se fueron desarrollando los trabajos experimentales de campo con silobolsas convencionales, generó la información preliminar sobre el comportamiento del poroto almacenado en silobolsa.

2.2.2. De Simone & Godoy (2009) evaluaron el comportamiento del poroto en bolsas plásticas en relación al empleo de sombreado sobre las mismas. Para ello estudiaron silobolsas convencionales de poroto negro. Se colocó sobre las mismas una estructura provista de media sombra. Se extrajeron muestras con calador convencional del sector expuesto al sol y sombreado. Se discriminaron tres estratos en profundidad del granel y la capa superficial en contacto con la bolsa. Se determinó PG, humedad del grano, y calidad culinaria.

Los resultados evidenciaron la tendencia decreciente de PG tanto al sol como sombreado, aunque la misma fue menos pronunciada en este último caso. Estas pérdidas de PG se producen en el orden del 10% con valores críticos (inferiores a 60%) a partir de 100 días de almacenamiento. Observaron la estratificación del PG con una caída más pronunciada en el estrato superior expuesto al sol.

La humedad mostró una tendencia estable. No evidenciaron estratificación de la misma bajo media sombra, pero en los sectores expuestos a la radiación solar observaron incrementos de 2 puntos porcentuales en el estrato superior y la capa superficial de 10 cm. Este fenómeno lo atribuyen a la condensación (coincide con Cardoso et al., 2009).

En términos generales observaron buen comportamiento de PG hasta los 83 días de almacenamiento.

En cuanto a los tests de cocción detectaron hasta los 80 días buena absorción, valores aceptables de sedimentos, incluso valores negativos de reabsorción (ruptura de granos en la cocción, aspecto deseable para poroto negro, el cual forma un caldo espeso). No identificaron diferencias entre sol y media sombra, ni entre estratos. A partir de allí comienza el deterioro evidenciado como reducción de la absorción y del sedimento, aumento de las horas de remojo y la generación de una cocción despaseada. No distinguen diferencias entre sol y media sombra, pero sí entre estratos. Resaltan los autores que el deterioro se acentúa a partir de los 100 días, sobre todo en el estrato superior (lo cual podría estar relacionado

con la evolución de la humedad individual de esos granos, aspecto estudiado por Cardoso et al., 2009)

Los autores concluyen que partiendo de la humedad de cosecha (menor a 15%) no hay diferencias sustanciales entre sol y media sombra. Indican que se produce el endurecimiento de la testa del grano lo cual disminuye la calidad industrial del poroto. Sostienen que el PG no es un limitante para almacenar poroto en bolsas plásticas y que poroto negro sano, seco y limpio puede mantenerse sin riesgos 100 días y con riesgos medios 150 días.

Este trabajo de investigación ratifica en condiciones reales con bolsas sometidas a intemperie los resultados obtenidos en el trabajo realizado por De Simone et al. (2009) con bolsas experimentales, el cual fue citado precedentemente. Ambos trabajos se consideran esenciales para la definición de los materiales y métodos (determinación de los cambios de calidad del grano, tiempo de almacenamiento) y para el análisis de los resultados de la presente tesis.

2.2.3. Godoy (2010) evaluó silobolsas convencionales de poroto blanco con el objeto de estudiar el comportamiento de la concentración de CO₂ a lo largo del período de almacenamiento y establecer valores de referencia de acuerdo a la condición del grano. Se midió la concentración de CO₂ con un dispositivo portátil de industria nacional (Silcheck, Argentina) y se extrajeron muestras de los puntos correspondientes al máximo, mínimo y valor promedio del gas. Se determinó humedad del grano (ASAE S352.2, 1993) y contenido de material extraño y granos partidos.

Determinó valores inferiores a 5% al efectuar mediciones de la concentración de CO₂ en las bolsas con grano limpio, correctamente armadas, sobre superficies regulares con cierta pendiente que evite el anegamiento y reparadas en tiempo y forma. Por otra parte, observó incrementos marcados en la concentración de CO₂ en bolsas donde se almacenó poroto con alto grado de impurezas (tal como fue cosechado y sin previo proceso de limpieza) a los 100 días de almacenamiento aparecieron valores superiores a 5%. Esto coincide con lo estimado por el modelo desarrollado por Abalone et al. (2011b)

Luego de los 180 días, todos los registros superaron el 8% para alcanzar 21% de CO₂ con la aparición de moho sobre los granos en menos tiempo de almacenamiento que las bolsas con poroto limpio. Estos valores extremos, considera la autora, podrían estar relacionados con la presencia de impurezas (tierra, restos de vainas y tallos de poroto y otras plantas, y semillas de malezas) y la entrada de agua por roturas de la cubierta plástica (coincide con Bartosik et al., 2009a y Abalone et al. 2011b).

Observó también, que en las bolsas que presentaban cierres defectuosos se produjo un abrupto incremento de la concentración de CO₂ (coincide con Bartosik et al., 2009b), justamente en esa porción de la bolsa, cuestión agravada por situaciones de anegamiento en algunos casos.

Respecto a la humedad del grano, evidenció que la misma se mantuvo prácticamente constante en las bolsas de poroto sano y limpio, mientras que en bolsas con roturas y altos contenidos de material extraño registró incrementos en el orden de 1%, relacionados con altos valores de CO₂ (entre 10 y 21%) (coincide con Bartosik et al., 2009b y Abalone et al. 2011b).

De acuerdo con ello, la autora concluye que existe una relación entre la humedad del grano y la concentración de CO₂, lo cual coincide con lo estimado por Abalone et al. (2011a). Estima que el contenido de impurezas con una humedad relativa de equilibrio mayor que la de los granos favorece incrementos de humedad en estos últimos que a su vez generan un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos en el granel. Otros aspectos que influyen también sobre la humedad son el cierre defectuoso y las roturas (armado en zonas bajas) con el agravante de que alteran la concentración relativa de los gases (reducen la permeabilidad) (coincide con Bartosik et al., 2009a y Abalone et al. 2011b). Establece como valor de referencia de CO₂ 5% (12% de humedad del grano), que valores entre 5 y 8% representan condiciones riesgosas y concentraciones superiores a 8% generan una

condición insegura de almacenamiento. Considera que debe estudiarse en profundidad estos aspectos relacionados con la condición inicial del grano en relación al contenido de material extraño y discriminar su efecto de la acción probable del material fino (granos partidos) como así también medir la temperatura en el granel que seguramente influye en los procesos biológicos hacia el final del período de almacenamiento el cual coincide con la temporada estival, donde se registran altas temperaturas (aspecto considerado por Abalone et al. 2011a-b).

Este trabajo de investigación permitió contrastar la evolución de la calidad del grano con la evolución de la concentración de CO₂ y profundizó las conclusiones establecidas por De Simone et al. (2009) y De Simone & Godoy (2009). Esta experiencia sirvió para definir el método de muestreo (calado de la bolsa) en función de la concentración de CO₂ medida, enfocando la extracción de granos en puntos determinados del silobolsa de acuerdo con los valores de referencia, también determinados en este trabajo. Se empleó el mismo medidor de CO₂. Las experiencias se efectuaron con poroto blanco alubia, cuestión de importancia relevante, ya que previamente solo se contaba con información de poroto negro almacenado en bolsas convencionales.

La autora identifica en esta investigación, el problema abordado en la presente tesis, donde todos los aspectos evaluados muestran una relación, la cual es preciso estudiar. Al hacer un relevamiento de la situación en los sistemas productivos y otros acopios, surge como factor común el almacenamiento de poroto en estas condiciones, las cuales se consideran limitantes.

Este trabajo se considera fundamental para la definición de los objetivos.

2.3. Relaciones de humedad grano/aire intergranario – CHE/HRE.

2.3.1. Giner (1994) trató temas de postcosecha en tres partes, donde en la primera de ellas se enfocó en la humedad de equilibrio de los granos, en las curvas de equilibrio y en los distintos tipos de equilibrio que se pueden presentar. Indica que existe una relación entre la humedad relativa del aire y la humedad de los granos (CHE) en la cual ambos llegan a un equilibrio. El equilibrio tipo 2 donde el aire es forzado a ponerse en equilibrio con el grano, ocurre en un recipiente cerrado con cierta cantidad de granos en su interior, por ejemplo, durante el llenado de un silo no ventilado (figura 2.8). Sostiene que la humedad relativa del aire intergranular (HR) tiende a su “humedad relativa de equilibrio” (HRE) con los granos y que la misma es una variable de importancia fundamental para la estabilidad de los granos frente a ataques microbianos (coincide con Abadía & Bartosik, 2013)

De acuerdo con esto, el autor establece que las curvas de equilibrio o isoterma de sorción muestran el equilibrio de manera gráfica, donde el aire presenta una temperatura T_a fija, la humedad del grano un contenido de humedad también fijo, y el aire intergranario se ve obligado a ponerse en equilibrio con el grano. A medida que crece la humedad de equilibrio del grano, la HR crece también. La isoterma obtenida es de tipo sigmoide, y tienen lugar a temperatura de producto constante. En cuanto a la información físico-química que provee una isoterma de sorción, el autor distingue tres zonas (figura 2.9.). En la zona A (HR > 65-70%) hay agua retenida por capilaridad, solución y ósmosis (Shatadal & Jayas, 1990). Se parece más al agua pura, tiene baja energía de unión a los componentes higroscópicos (almidón, proteínas, fibras) puede participar en reacciones químicas y está disponible para el crecimiento microbiano.

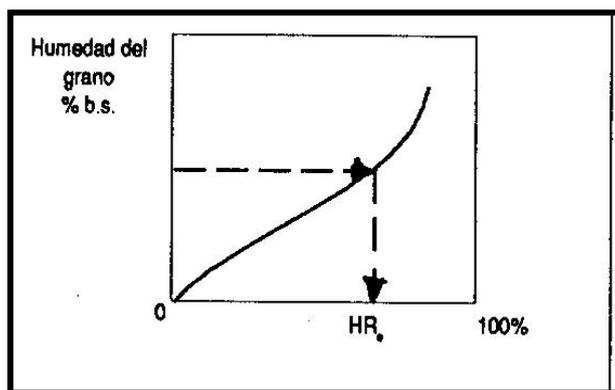


Figura 2.8. Uso de la isoterma en equilibrio tipo 2. Giner (1994)

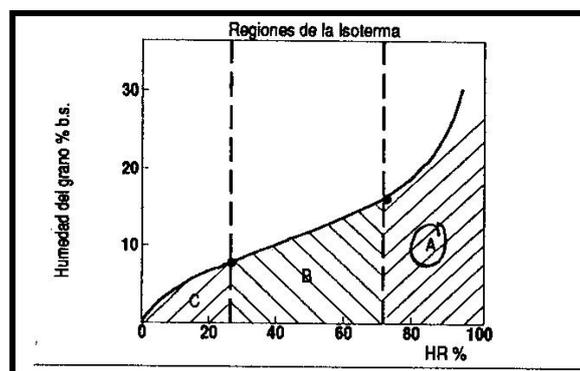


Figura 2.9. Regiones de una isoterma de sorción o curva de equilibrio. Giner (1994)

En la zona B y particularmente en la zona C, el agua adsorbida está más fuertemente ligada, lo cual explica el crecimiento del calor de vaporización y la imposibilidad de crecimiento microbiano. El autor indica que la humedad del grano donde cambia la concavidad de la curva (zona de transición entre C y B) se llama "humedad de monocapa" y corresponde a una sola capa de agua adsorbida alrededor de los compuestos higroscópicos. Esta humedad muestra el punto donde los alimentos alcanzan la máxima estabilidad (Chirife et al., 1985)

Sostiene que la curva de equilibrio tiene dependencia con la temperatura, la adsorción es un fenómeno exotérmico y, como tal, no se ve favorecida por incrementos de temperatura, a punto tal que se retiene menor contenido de humedad de equilibrio cuando aumenta la temperatura, a igual humedad relativa de equilibrio. Explica que al calentarse el grano, aunque la humedad del mismo no varíe, la HRE del aire intergranular puede crecer a valores que sobrepasen el umbral de seguridad (65-70%) generando riesgos de crecimiento microbiano (coincide con Abadía y Bartosik, 2013).

El autor concluye destacando la necesidad de una buena medición de la humedad relativa y en particular, del empleo de la Humedad Relativa de Equilibrio (HRE) del aire o de su equivalente en los granos, la actividad acuosa (a_w) como parámetro de estabilidad microbiana de los granos.

De las consideraciones planteadas por este autor, se puede interpretar que dentro del silobolsa se presenta el equilibrio tipo 2.

2.3.2. Abadía & Bartosik (2013) editaron el Manual de Buenas Prácticas en Poscosecha de Granos en Argentina, dirigido al sector de poscosecha e industrialización de los mismos. Los autores emplearon la información científico – técnica disponible con el objeto de, entre otros

aspectos, mejorar la eficiencia de los procesos productivos y preservar la inocuidad de los granos. En tal caso, hacen referencia al hecho de que conocer la humedad de los granos es imprescindible para una buena conservación, ya que determina en gran medida el período en que pueden ser almacenados sin perder calidad. Definen la humedad como la cantidad de agua contenida por unidad de masa de los granos y expresan que esta última guarda una relación directa con la humedad relativa del ambiente. Esta relación se conoce como Humedad Relativa de Equilibrio (HRE) la cual dentro del silo es determinada por el contenido de humedad del grano (CHE) lo cual coincide con lo explicitado por Giner para el equilibrio de tipo 2 (1994). Aseguran que para cada valor de humedad del grano existe un valor de humedad relativa en el cual ambas presiones de vapor son iguales (punto de equilibrio). Esta relación define la curva de Humedad Relativa de Equilibrio la cual depende de la temperatura y del tipo de grano.

Los autores a partir de estas curvas muestran la manera de proceder conociendo la humedad del grano y la temperatura de almacenamiento, indican que se considera como humedad relativa de almacenamiento seguro 67%, en función de las humedades relativas mínimas que necesitan los principales hongos del almacenamiento para crecer, además del rango de temperaturas en el que pueden vivir.

Indican que la humedad de almacenamiento seguro es cercana a la humedad de recibo en el caso de los cereales, mientras que para oleaginosas es inferior, por lo que consideran deben extremarse los cuidados durante el almacenamiento. Asimismo aseguran que disminuye con el aumento de la temperatura, por lo que recomiendan en épocas calurosas almacenar los granos por debajo de la humedad de recibo.

Presentan otro concepto básico a considerar: el Tiempo de Almacenamiento Seguro, el cual consideran es el período máximo que puede ser almacenado un grano a determinadas condiciones de humedad y temperatura sin perder su condición de grado y está relacionado con la pérdida de materia seca. El mismo depende de varios factores: humedad, temperatura y porcentaje de granos dañados mecánicamente.

En adición a ello indican que la limpieza previa al almacenamiento es una práctica muy importante para prevenir la aparición de hongos y micotoxinas, indican que en la fracción de descarte de la limpieza es donde se encuentra la mayor concentración de esporas de hongos y micotoxinas, aspecto estudiado y valorado por Pacin et al., 2003 (Figura 2.10.).

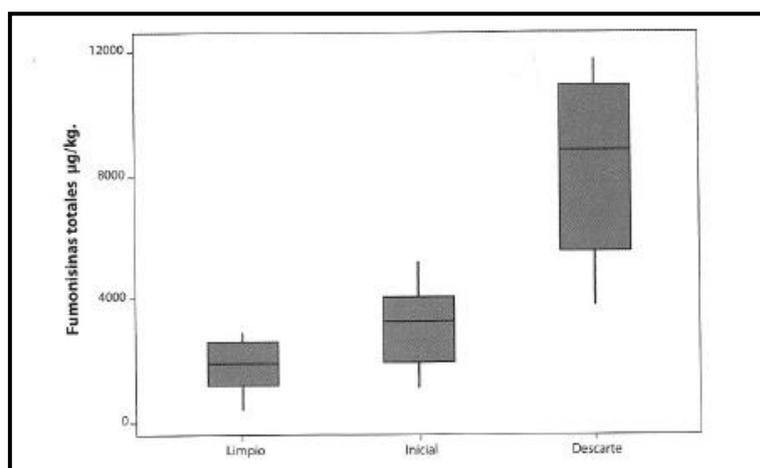


Figura 2.10. Concentración de micotoxinas en distintas fracciones de grano (limpio, inicial y descarte). Pacin et al (2003)

De las consideraciones de los autores surge como coincidencia fundamental la necesidad de limpiar el poroto previamente al embolsado, cuestión que surgirá luego del desarrollo de la presente tesis si se corrobora la hipótesis planteada.

2.4. Propiedades de sorción de *Phaseolus vulgaris* L.

2.4.1. Hutchinson & Otten (1984) determinaron isotermas de desorción para poroto blanco variedad "seafarer" (tipo comercial Navybean). Realizaron la experiencia de manera experimental y lo contrastaron con los valores estimados a través de las ecuaciones de Henderson y Chung-Pfost, las cuales consideran los autores producen las mejores predicciones de CHE para un amplio rango de temperatura y HR. Emplearon para la determinación de CHE el método gravimétrico.

El CHE de las muestras se determinó en estufa (ASAE S352) a 103°C durante 72 horas (método empleado para la determinación del contenido de humedad de poroto en la presente tesis).

Los autores evidenciaron del ensayo experimental que el tiempo para alcanzar el equilibrio varió de acuerdo con la temperatura, donde condiciones de baja humedad y temperatura requirieron mayor tiempo, en este caso 31 días a 16% y 23°C. El desarrollo de hongos se observó en muestras mantenidas por encima de 80% de HRE a altas temperaturas, 38 y 49°C.

Entre pares de muestras en idénticas condiciones los autores observaron como máxima diferencia 0,3% de CHE, mientras que en la mayoría de los casos esta fue de 0,1%.

De emplear las ecuaciones de predicción, donde los autores resaltan la ventaja que permiten resolver de manera explícita tanto CHE como HRE (y su equivalente: actividad agua) encontraron en general coincidencias con la información publicada para porotos secos por otros autores (ASAE 1979, Weston & Morris 1954). En particular, encontraron consistencia o coincidencia muy cercana entre el poroto blanco seafarer con dos tipos comerciales a saber: poroto blanco pequeño chato (Flat Small White) y poroto Dark Red Kidney (colorado grande y oscuro). Esta situación se evidenció para valores intermedios de HR, donde el CHE difirió en 1% o menos para HR ubicadas entre 30 y 70%, en promedio dicha diferencia correspondió a un valor de 0,37%, valor que se ubica por debajo de 0,5% aceptable propuesto más tarde por Chen (2000).

A partir de ello los autores concluyen que las ecuaciones de Henderson y Chung-Pfost son comparables y adecuadas para predecir el CHE en porotos blancos. Además recomiendan emplear modelos de CHE con tres constantes en vez de aquellos más complejos que incluyen siete constantes dependientes de la temperatura.

2.4.2. De Simone (1998) construyó curvas de contenido de humedad de poroto de tipo comercial negro pequeño (Camilo INTA) y blanco alubia (Paloma INTA) con el objetivo de medir la humedad de equilibrio y comparar los resultados experimentales con lo predicho por las ecuaciones de Henderson y Chung (ASAE D245.4 1993). El autor considera que las tablas de CHE de poroto publicadas no incluyen los tipos comerciales más importantes producidos en Argentina (negro pequeño y blanco alubia). Indica que dicha información es necesaria para continuar con los trabajos de investigación relacionados con la rotura de los granos durante la trilla y el manejo en la poscosecha. Para ello colocó muestras de 150 gramos en recipientes herméticos que contenían solución de las sales saturadas acetato de potasio, nitrito de sodio y cloruro de sodio, las cuales generaron HR de 22,4%, 64,3% y 75,5%, respectivamente. Semanalmente determinó el contenido de humedad de los granos que alcanzaban el equilibrio en cada ambiente generado de esta manera. Mientras se cumplió con el experimento, la temperatura ambiente del laboratorio se mantuvo entre 21 y 25°C. Con las ecuaciones de Henderson modificada y de Chung estimó el CHE para porotos secos.

El autor observó que los granos blancos más húmedos necesitaron 95 horas para alcanzar el peso seco constante, mientras que los negros 74 horas. Este período sólo coincide con el standard de ASAE S 352.2 (1993) para los porotos negros, posiblemente porque ha sido ajustado con granos pequeños. Considera que los granos blancos son más grandes (0,64.g) que los granos negros (0,20 g) y que ambos tienen el mismo coeficiente de transferencia de materia. Indica que el tiempo necesario para transferir y extraer toda la humedad que contienen en su interior fue mayor en los granos blancos.

Sostiene que la magnitud del tiempo necesario para que ambos tipos de porotos alcancen peso constante demuestra que la metodología utilizada por Sharma & Bilanski (1971) no fue precisa.

Observó que los valores estimados con las ecuaciones de Henderson y Chung no coincidían con los datos experimentales obtenidos con las variedades Camilo y Paloma INTA. De acuerdo con ello, el autor concluye que dichas ecuaciones no se ajustan para predecir las isotermas de sorción de las variedades de poroto negro Camilo y poroto blanco Paloma INTA. Asimismo establece que conforme el grano de poroto es más grande, el tiempo necesario para que ceda el total de la humedad que contiene, también es mayor.

En este trabajo se destacan dos puntos en los cuales el autor no coincide con Hutchinson y Otten ni con los demás autores propuestos en el presente capítulo: la temperatura con la cual se construyeron experimentalmente las curvas no fue constante, y la determinación de la humedad del grano (CH) en estufa se realizó con otra metodología distinta a la norma ASAE S352 1996. Estos factores pueden ser los causantes de las inconsistencias entre las curvas construidas y lo estimado a través de las ecuaciones elegidas. Hutchinson establece que el tiempo p alcanzar el equilibrio varió con la temperatura.

Asimismo este trabajo no considera el standard ASAE D245.5 1995, el cual es posterior al ASAE D245.4 1993, donde una de las fuentes es justamente Hutchinson y Otten (1984).

2.4.3. ASABE (2006) publicó el estándar ASAE D245.5 OCT1995 (R2001) abocado a las relaciones de humedad de productos agrícolas de origen vegetal. El mismo fue reafirmado en 2001, 2005 y 2006. En dicho Standard la Asociación incluye datos y ecuaciones de materiales agrícolas y sus productos, las relaciones de humedad de los mismos y establece que la información puede usarse en cálculos de secado y en el diseño y análisis de sistemas de almacenamiento. Todo esto incluido en un rango determinado de aplicación. El Standard incluye el CHE y la HRE determinados experimentalmente y las curvas de sorción para numerosos productos entre los cuales se encuentran distintos tipos comerciales de poroto clasificados como poroto blanco (Seafarer - Navybean) y porotos secos (Red Mexican, Great Northern, Light Red Kidney, Dark Red Kidney, Flat Small White, Michelite y Pinto). Las ecuaciones empleadas para las predicciones son las siguientes: Henderson modificada, Chung-Pfost modificada, Halsey modificada y Oswin modificada. El Standard incluye una tabla con la temperatura en que fueron confeccionadas las curvas, el método, es decir si se trata de adsorción o desorción, o ambos, el CHE en base seca y la HRE. También se encuentran discriminadas en otra tabla las constantes implicadas en las ecuaciones antes citadas, incluido también el tipo comercial poroto negro y blanco Navybean. Las fuentes consideradas en ambas tablas fueron Hutchinson y Otten (1984) y Chen y Morey (1989) (citado por Chen, 2000).

2.4.4. Chen (2000) estudió los factores que influyen en la humedad relativa de equilibrio (HRE) de distintos productos agrícolas: maíz común, maíz amarillo dentado, arroz con cáscara, arroz integral, soja y poroto colorado. El autor sostiene que la HRE del aire, el contenido de humedad de equilibrio del grano (CHE) y la temperatura son variables que hay que tener en cuenta para diseñar procesos de poscosecha y sistemas de almacenamiento. De acuerdo con ello planteó los siguientes objetivos: determinar la relación entre CHE y HRE a distintas temperaturas, evaluar el ajuste de cuatro modelos* que predicen la HRE y estimar los parámetros de descripción de dichos modelos, observar el efecto de distintos factores sobre la HRE (variedad, lugar, momento de cosecha, metodología de construcción de la curva de sorción) y comparar las isotermas de sorción por él construidas con información existente.

* Ecuación de Henderson modificada, ecuación de Chung-Pfost modificada, ecuación de Halsey modificada y ecuación de Oswin modificada

Experimentalmente construyó curvas de adsorción y desorción a 25°C y 50°C y registró el proceso de histéresis (diferencia entre ambas curvas).

Las muestras se secaron a dos temperaturas 25 y 50°C. Se construyeron curvas de adsorción y desorción a 5, 15, 25, 35, y 50 °C empleando el método gravimétrico.

De acuerdo con ello obtuvo los siguientes resultados para soja y poroto:

Soja: El autor evidenció un mejor ajuste de la ecuación de Oswin modificada, a diferencia de lo ocurrido con los otros granos ya citados. Observó que las diferencias debidas a temperatura de secado e histéresis son insignificantes para soja. Del hecho de comparar con otras isotermas distinguió diferencias de CHE superiores a 1,8% por encima de los 80% de HRE. Considera que la variedad y el lugar, entre otros factores, influyen en las propiedades de sorción de la soja.

Poroto colorado: La ecuación que mejor resultó fue la de Oswin, lo cual coincide con modelos para semillas con alto contenido de aceite (Chen y Morey, 1989). No evidenció un importante efecto de histéresis a 50°C y temperatura de secado. Cuando comparó las isotermas por él construidas con aquellas generadas por otros autores, no observó diferencias, salvo en dos puntos ubicados por encima de 90% de HRE, lo cual indica que no se ven afectadas las propiedades de sorción del grano por la temperatura de secado, la histéresis, la variedad y la ubicación del cultivo. No encontró inconsistencias con estudios previos.

Chen concluye que el paso a paso de la técnica para la determinación de la HRE se mejoró para la medición de las propiedades de adsorción y desorción de estos productos secados a distintas temperaturas. El efecto de la temperatura de secado en las propiedades de HRE/CHE no fue evidente en soja y poroto colorado. La comparación de los resultados de este estudio con estudios previos fue consistente para arroz, maíz común y poroto colorado. La inconsistencia observada en soja y maíz amarillo dentado indica que las propiedades de HRE/CHE son afectadas por la variedad, la ubicación y otros factores.

2.4.5. Dinkov et al. (2000) determinaron el CHE en poroto blanco común, variedad "Plovdiv M11" (tipo comercial Navybean) cubriendo un rango de HR de 11 a 87,7%. Los autores sostienen que este producto es sometido a largos períodos de almacenamiento, donde se producen importantes cambios físico-químicos y biológicos que, a su vez generan un gran impacto en la propiedades nutricionales (coinciden con De Simone et al., 2009). Los autores están de acuerdo con Bartosik et al. (2009a) y De Simone y Godoy (2009) al sostener que las condiciones de almacenamiento de semillas de legumbres tienen una influencia sustancial en su germinación y longevidad. Consideran que la literatura provee para porotos información para un rango muy limitado de temperatura, si bien establecen que Hutchinson y Otten (1984) consideran en las curvas de sorción de porotos un rango entre 18 y 49°C, no contemplan el efecto de histéresis (lo cual sí es contemplado por Chen en el mismo año). Los objetivos de su trabajo fueron obtener isotermas de sorción experimentales para poroto blanco a 5, 20, 40 y 60°C, y encontrar el modelo de predicción que más se ajuste al comportamiento del grano. Consideraron las ecuaciones adoptadas por ASAE (ASAE D245.5 OCT1995) como estándares: Henderson modificada, Chung-Pfost modificada, Halsey modificada, Oswin modificada y la ecuación de G.A.B. Para determinar el CHE a las distintas temperaturas emplearon muestras a 10% de humedad (base seca) y utilizaron el método gravimétrico. Construyeron curvas de adsorción y desorción. Consideraron que se alcanzaba el equilibrio cuando tres pesadas sucesivas mostraban una diferencia menor a 0,001 gramos, lo cual indica que trabajaron con mayor precisión que Chen (2000) y Hutchinson y Otten (1984). También determinaron el CHE en estufa (AOAC; 1990). Esta metodología difiere de aquella empleada por Chen (2000) y Hutchinson & Otten (1984) (ASAE S352 1996). Experimentalmente obtuvieron las isotermas sigmoidales características de las legumbres secas. El efecto de histéresis no fue claramente expresado a bajas temperaturas (5°C) mientras que para el resto de los puntos experimentales mostró diferencias estadísticamente significativas (nivel de significancia de 0,05) lo cual no coincide con Chen (2000). Observaron que los valores de CHE disminuyeron con el aumento de la temperatura a HR constante. Los modelos que mejor predijeron las curvas fueron Oswin y GAB, con mejor ajuste para este último, considerando la distribución de los errores de las correlaciones al igual que el análisis realizado por Chen (2000).

Los autores concluyen que la capacidad de sorción de las semillas de poroto común disminuye con el incremento de la temperatura a humedad relativa constante, lo cual

coincide con Chen (2000) y Hutchinson y Otten (1984). Proponen el modelo GAB para describir la relación entre CHE y HRE del aire para la variedad estudiada en este trabajo, si bien consideran también satisfactoria la ecuación de Oswin.

De considerar los trabajos de Chen (2000) y Hutchinson y Otten (1984) se puede establecer que las curvas estimadas con los modelos propuestos pueden emplearse para el análisis del presente trabajo, partiendo del hecho de que hay concordancia entre lo experimentado para poroto blanco Navybean (blanco pequeño) y poroto Dark Red Kidney (colorado grande). Dicha concordancia tiene una magnitud dada por un valor aceptable de las diferencias de CHE, cuyo promedio es 0,37%. Dado que Chen (2000) considera no existen cambios sustanciales entre variedades y que Hutchinson y Otten (1984) encuentran similitudes entre estos tipos comerciales, asumimos que el poroto blanco alubia tendría un comportamiento muy similar dentro de las HR destacadas por Hutchinson y Otten (1984) que se encuentran justamente en el rango de HR presentes en la atmósfera intergranaria del silobolsa de poroto (30% a 70%).

El poroto blanco alubia es un grano grande con un gramaje similar al característico del poroto colorado grande, morfológicamente son muy parecidos. Así lo establecen Voysest Voysest O. (2000) y García Medina S. (2002) los cuales sostienen que el poroto blanco alubia se encuentra en un rango de 0,46 a 0,70 gramos/semilla (coinciden con De Simone, 1998) y el poroto colorado grande (DRK) varía entre 0,50 y 0,55 gramos /semilla. De acuerdo con ello y según lo estipulado por De Simone (1998) alcanzarían el equilibrio (CHE) en tiempos similares.

En adición a lo planteado se destaca el aporte de Dinkov et al. (2000) quienes encuentran un buen ajuste de los datos experimentales de poroto Navybean con los datos estimados por la ecuación de Oswin, en coincidencia con lo concluido por Chen el mismo año.

Dado que las fuentes consideradas en el Standard ASAE D245.5 OCT1995 se discutieron y analizaron en el presente capítulo, es factible emplear esta información para el análisis de los resultados de este trabajo.

HIPÓTESIS.

- 1) En el silobolsa la mezcla de poroto con altas proporciones de material extraño seco o húmedo y/o con altas proporciones de granos partidos húmedos, generan el incremento de la actividad acuosa.
- 2) El incremento de actividad acuosa deriva en el aumento de la actividad microbiológica.
- 3) La gravedad del deterioro del poroto almacenado en silobolsa es determinada por: la magnitud del incremento de la actividad microbiológica, la respiración de los granos, el contenido de humedad de los mismos, la temperatura y el tiempo de almacenamiento.
- 4) El contenido de humedad del material extraño presente en la mezcla, se relaciona con la magnitud del deterioro ocurrido durante el período de almacenamiento.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.

A fin de contrastar las hipótesis planteadas se diseñaron tres experimentos, donde uno de ellos se considera como principal: ensayo efectuado en el campo con bolsas plásticas convencionales de tamaño real. Los dos ensayos restantes fueron considerados como complementarios, ya que se efectuaron con el objeto de profundizar la comprensión de los procesos observados en el campo y enriquecer la discusión de los resultados, ellos son: ensayo realizado en laboratorio con bolsas plásticas experimentales y el test de calidad de cocción. Las características de cada uno se detallan a continuación:

3.1. Ensayo efectuado en laboratorio con bolsas experimentales.

Para contrastar con los datos obtenidos en el campo y controlar los parámetros o variables que categorizaban las bolsas plásticas convencionales, se almacenó poroto a humedad de recibo (CH 10,8%) en pequeñas bolsas plásticas construidas con el material de silobolsa y termo selladas. Se colocó en cada una de ellas una muestra de 300 g de poroto blanco alubia y un porcentaje conocido de materias extrañas o de granos partidos según el tratamiento. Se determinó en estufa el porcentaje de humedad del material extraño previo a su colocación en las bolsas plásticas experimentales (ver tabla 3.1)

En ningún caso se trataron los granos con fungicidas.

Tabla 3.1. Resumen de tratamientos del ensayo de laboratorio con bolsas experimentales.

Tratamiento	Contenido de materias extrañas o grano partido (%)	Tipo de material
T1	0	Granos sanos
T2	5	Granos sanos + materias extrañas secas (13% de humedad*)
T3	5	Granos sanos + materias extrañas verdes (67,7% de humedad*)
T4	5	Granos sanos + granos partidos

Se definieron los contenidos de materias extrañas de T2 y T3 en función de la tolerancia comercial, la cual fue superada en 10 veces para lograr una variabilidad definida entre tratamientos.

El material verde se extrajo de plantas de poroto en pie y de malezas comunes al cultivo. Las materias extrañas secas se recolectaron de la planta de proceso de poroto ALIMAR S.A.
*Humedad de ME determinada en estufa (Laboratorio de Suelo y Calidad Forrajera en INTA Salta)

Las bolsas se colocaron en un ambiente protegido de la intemperie, a temperatura ambiente (entre 12°C y 24°C).

Se empleó un diseño en bloque completamente aleatorizado (DBCA). Se efectuó un muestreo con una frecuencia entre 15 y 30 días, durante un período de almacenamiento de 158 días. Cada fecha de muestreo constituyó un bloque (efecto fecha), donde B1: 15 días de almacenamiento, B2: 33 días de almacenamiento, B3: 68 días, B4: 97 días, B5: 130 días

y B6: 158 días. El ensayo comenzó el 29 de junio de 2012 y culminó el 3 de diciembre de 2012, período coincidente con la temporada de almacenamiento de poroto en la producción.

Entonces, cada bloque constó de 4 bolsas pequeñas. El ensayo se inició con 6 bloques en idénticas condiciones ambientales. En el primer muestreo se extrajo todo el material del bloque 1 (B1) y se determinó el CH del grano con la misma metodología empleada en las muestras de campo detallada más adelante (ítem 3.2.3.4 Norma ASAE S 352 1996a). Cuando aparecieron manchas o irregularidades en algunos granos, estos fueron analizados en el laboratorio de Sanidad Vegetal de INTA Salta para constatar si se trataba de la acción de microorganismos.

En la segunda fecha (a los 33 días del inicio del ensayo) se extrajo todo el material del bloque 2 (B2) y se siguió la misma metodología que para B1. En los sucesivos muestreos se prosiguió de igual manera, de forma tal que el material del B6 fue el último en someterse a los análisis y el único que completó la totalidad de los 158 días de almacenamiento.

Esta metodología se planteó debido a que la determinación del CH y la observación de la evolución de las posibles colonias de microorganismos, implican extraer muestras físicas lo cual ocasiona ir consumiendo progresivamente la muestra inicial y alterando el microambiente logrado en el interior de las bolsas experimentales. Por ello se propuso consumir en cada fecha la totalidad del material evaluado en cada bloque (efecto fecha) e iniciar el ensayo con idénticas condiciones para los 6 bloques.

En una bolsa de cada tratamiento (T1, T2, T3 y T4) del B6 se colocó un sensor i-button para la determinación de HR y T°. El funcionamiento de estos sensores se describe más adelante en el ensayo de campo (ítem 3.2.3.5.).

Se empleó el programa STATISTICA 7.0. para el análisis estadístico.

Para determinar si los efectos de tratamientos y bloques eran significativos se recurrió al ANOVA de efectos principales, con una confianza de 95% es decir un valor $p < 0,05$. Los predictores categóricos (factores) fueron justamente bloque y tratamiento y las variables dependientes fueron: CH (%) – granos manchados (%) – hongos (%) – HR (%) y T° (°C) del aire intergranario.

Se completó el análisis efectuando la correlación entre los siguientes parámetros:

- Granos manchados (%) vs. CH (%)
- Granos manchados (%) vs. HR (%)
- CH (%) vs. HR (%) con el objeto de identificar coincidencias o divergencias con las curvas de CHE contempladas en los antecedentes (capítulo II, ítem 2.4.)
- Granos manchados (%) vs. T° (°C)

3.2. Ensayo efectuado en el campo con bolsas plásticas convencionales.

3.2.1. Ubicación del ensayo y criterios de selección de las bolsas a evaluar

En la planta de acopio y proceso ALIMAR S.A. ubicada en el Parque Industrial de General Güemes, Salta, Argentina, de un plantel de 30 silobolsas de poroto blanco alubia, se escogieron 5 bolsas porque presentaban características distintivas que se consideraron relevantes para evaluar la evolución de la calidad del grano durante el período de almacenamiento, en función de la hipótesis planteada. Dichas características se basaron en: Contenido de humedad inicial (CH) (%), contenido de material extraño (ME) (%) contenido de granos partidos (%) y contenido de granos manchados (%). Estos parámetros (ver tabla 3.2.) se determinaron mediante una metodología que se describe más adelante. Se

corroboró la información obtenida con las planillas de análisis de rutina efectuada por la empresa al momento de la recepción de la mercadería (condición inicial).

Tabla 3.2. Características distintivas de cada bolsa plástica escogida (condición inicial) y su denominación.

Bolsa	2	5	7	9	11
CH (%)	9,7	10,5	9	12,2	9,9
ME (%)	1,7	1,9	2	2,3	2,7
Granos partidos (%)	4,6	2,6	2,8	4,2	3,8
Granos manchados (%)	2	6,2	4,7	3,1	3,8

De esta manera se categorizaron las bolsas plásticas seleccionadas de acuerdo a los parámetros citados, los cuales determinaron la condición de cada una de ellas.

Esta categorización fue impulsada por la imposibilidad económica de controlar estas variables en los volúmenes de grano que se almacenan en silobolsa y con el afán de priorizar la evaluación en condiciones reales de almacenamiento. Se empleó entonces el método observacional.

Se priorizó efectuar el experimento en una planta de acopio y proceso con el propósito de abarcar un espectro de contenido de ME representativo de las áreas de producción más importantes (Vargas Gil & Nieva, 2002) (Figura 3.1):

- 1) Valle de Perico y Siancas (límite entre el departamento Gral. Güemes en Salta y la localidad Pampa Blanca - departamento El Carmen - en Jujuy)
- 2) Sector Norte (departamentos Orán y San Martín en Salta).

Las bolsas fueron armadas con embolsadoras sin sinfín (sistema de energía cero) que permiten al grano ingresar a la bolsa por gravedad y producir el estiramiento con su propio peso (figura 3.2) así se reduce significativamente el porcentaje de grano partido (inferior a 0,5% que es la tolerancia comercial) (Godoy & De Simone, 2010).

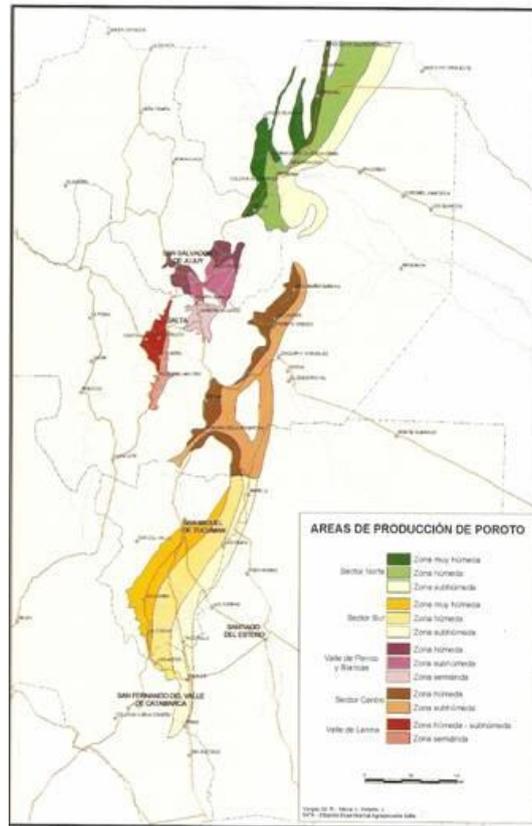


Figura 3.1. Áreas de producción de poroto del NOA. Vargas Gil & Nieva (2002)



Figura 3.2. Embolsadora sin sinfín. Godoy & De Simone (2010)

3.2.2. Obtención de muestras de las bolsas plásticas escogidas.

Para la obtención de las muestras se empleó un muestreo dirigido, donde se focalizaron tres puntos de cada bolsa designados como:

- Cierre
- Punto crítico
- Punto óptimo

Donde se considera especialmente el cierre de la bolsa como punto de riesgo porque en la mayoría de los casos el mismo es defectuoso o incorrecto (Godoy & De Simone, 2010). Mientras que los puntos crítico y óptimo se determinaron por el máximo y mínimo valor medido de la concentración del gas dióxido de carbono (CO₂), respectivamente. Dicha

concentración se midió en la longitud de la bolsa en 10 puntos a la altura del pecho del operario siguiendo la metodología propuesta por INTA (Bartosik et al., 2009b) y que se detalla a continuación:

3.2.2.1. Medición de la concentración del gas dióxido de carbono (CO_2)

La concentración del gas CO_2 presenta una variación mínima en un perfil vertical de un silobolsa en relación a la variación que muestra en el sentido horizontal del mismo, con lo cual de mediciones a distintas alturas, no se obtendrán diferencias significativas (Bartosik et al., 2009a). Abalone et al., 2011a lo expresan indicando que no hay estratificaciones del gas. Por esta razón se dividió la bolsa en 10 partes iguales en su longitud y de cada una de ellas se midió a la altura del pecho del operario (figura 3.3). Se colocaron parches adhesivos de goma sobre la superficie de la bolsa. Con la aguja introducida en el centro de cada parche se realizó la medición. Esta última se efectuó empezando por el inicio de la bolsa (punto 1) siguiendo por el centro en forma sucesiva, para finalizar en el cierre de la bolsa (punto 10). Se midió la concentración del gas en los 10 puntos que se observan en la figura 3.3. arriba. Las concentraciones de CO_2 fueron relevadas en todas las bolsas con una frecuencia mínima de 7 días y máxima de 15 días.

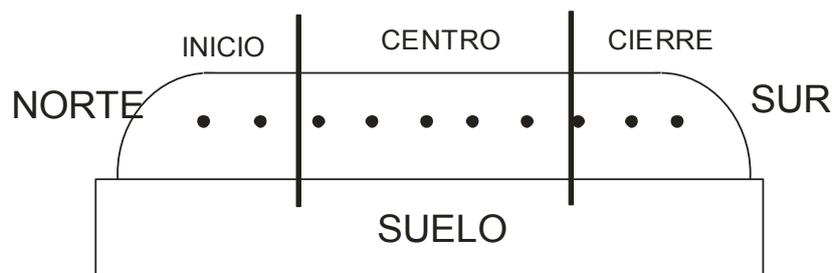


Figura 3.3. Arriba: Detalle de los puntos de medición de CO_2 a lo largo del silobolsa. Importante: la orientación correcta de la bolsa debe ser norte – sur para lograr una exposición a la radiación solar equivalente en ambos laterales de la misma. Godoy (2010). Abajo: detalle del parche destinado al punto de medición y del equipo en funcionamiento.

El dispositivo cuenta con una bomba que succiona la atmósfera del interior de la bolsa y se detiene cuando alcanza el nivel de CO_2 en ese punto de medición. Cuando se extrae la aguja, el parche se retrae tapando el orificio realizado. También está conectado a un GPS el cual geo-posiciona la medición para luego poder efectuar un seguimiento online a cargo de la empresa proveedora del equipo (Silcheck). Por medio de un software especial se

transfieren los datos a la computadora debidamente rotulados con un número particular que se asigna a cada bolsa al momento de iniciar el seguimiento (Bartosik et al., 2013).

Valores de referencia de CO₂ para la atmósfera intergranular del Poroto.

Se considera una condición normal de almacenamiento con valores de hasta 5% (humedad típica de 12%), riesgosa entre 5 y 8% e insegura más de 8% (Godoy & De Simone, 2010). Si bien la concentración de CO₂ se empleó como un indicador para efectuar un muestreo dirigido, también fue considerado como una variable dependiente o de respuesta al expresar variaciones en la respiración del granel (cambios en la tasa respiratoria) (Bartosik et al., 2009a).

Una vez determinada la ubicación de los puntos de muestreo, se procedió a la extracción de las muestras de grano en dos niveles o estratos: superior (altura del pecho del operario) y base de la bolsa (10 centímetros sobre el nivel del suelo) por dos razones:

- Existe mayor concentración de humedad en el estrato superior de la bolsa (Cardoso et al., 2009) debido a migraciones de humedad generadas por movimientos de convección del aire intergranario, los cuales hasta la fecha no han sido estudiados en detalle para poroto almacenado en silobolsa.
- Los materiales extraños y finos en bolsas de maíz y soja se depositan en la base y centro de la bolsa (Cardoso et al., 2009). Se puede considerar que en poroto se obtendría un comportamiento similar.

De esta manera en cada silobolsa se muestrearon los siguientes puntos por cada fecha de muestreo:

1. cierre arriba
2. cierre abajo
3. punto óptimo arriba
4. punto óptimo abajo
5. punto crítico arriba
6. punto crítico abajo

3.2.2.2. Metodología de extracción de las muestras.

Para extraer las muestras del interior de la bolsa se empleó un calador convencional de 1,6 m de largo y 0,025 m de diámetro que cuenta con 11 celdas independientes de 0,1 m de largo cada una (figura 3.4). Las extracciones se hicieron en forma sucesiva en cada punto hasta lograr una muestra compuesta de 450 g (SAGPyA, Norma XVI – anexo A). En todos los casos se ingresó el calador de manera horizontal con un ángulo de 0°. Se conservaron únicamente los granos de ocho (8) celdas que representan tres cuartos del largo total del calador hacia la punta del mismo. Se descartó el estrato directamente expuesto al plástico porque en experiencias realizadas en distintos silobolsas de poroto no se observaron para dicho estrato diferencias en los parámetros de calidad evaluados en el nivel superior y la base de la bolsa (De Simone & Godoy, 2009). Las extracciones se realizaron como se muestra en la figura 3.5.

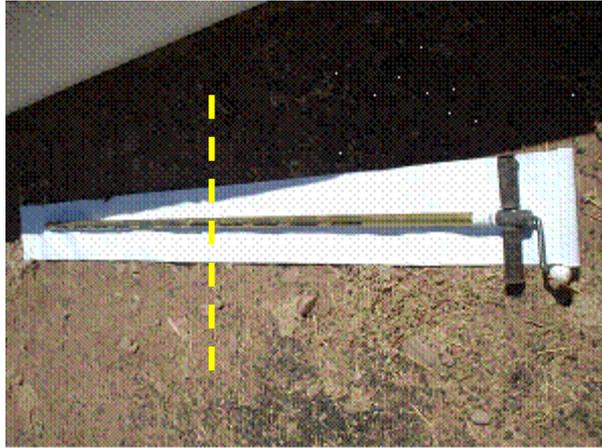


Figura 3.4. Calador convencional de celdas individuales, detalle de las 3 celdas que no se considerarán en el análisis. De Simone & Godoy (2009).

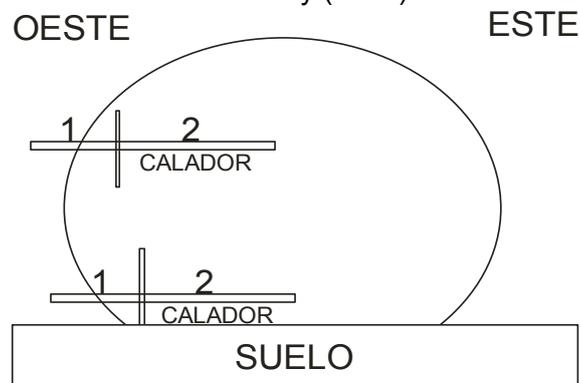


Figura 3.5. Detalle de la extracción de muestras 1) celdas que se descartarán, 2) celdas que se conservarán para su posterior análisis.

Cada perforación se realizó con la punta del calador para generar una rotura circular y evitar que el ablandamiento del plástico durante las horas de mayores temperaturas produzca una rajadura más grande en el sector del corte.

Con este procedimiento se obtuvo un mínimo de 30 muestras por mes. El ensayo comenzó el 28 de Julio de 2011 y terminó el 5 de Enero de 2012.

Luego de cada extracción se cubrió la rotura con cinta adhesiva, previa limpieza de la superficie del plástico con alcohol.

El seguimiento de los silobolsas se efectuó desde el armado hasta la extracción total del grano abarcando todo el período de almacenamiento, con una frecuencia máxima semanal y mínima mensual.

Una vez obtenidas las muestras de campo se determinaron los siguientes parámetros luego de cada fecha de muestreo:

3.2.3. Determinación de los parámetros/variables considerados. Obtención de los resultados.

3.2.3.1. Materias extrañas (ME).

Cada muestra de 450 g se sometió al procesamiento empleando una zaranda de 4,5 mm de paso (SAGPyA - Norma XVI – anexo A, 1994). Luego se separaron las materias extrañas (tierra, cascotes, palos, hojas, restos de vainas e insectos, semillas de malezas, etc.) de los granos de poroto con la testa dañada y partidos. Con una balanza de precisión que posee una sensibilidad de centésima de gramo se realizó el pesaje de las materias extrañas y se determinó el porcentaje en relación al peso total de la muestra (figura 3.6.).



Figura 3.6. Izquierda: Material extraño dentro de un silobolsa cortado transversalmente para la extracción manual del grano. Derecha: muestra extraída del mismo. Godoy (2010)

3.2.3.2. Granos partidos.

Debido a la regulación incorrecta del mecanismo de trilla se produce una proporción muy elevada de rotura del grano (hasta 10%) (De Simone, 1998) (De Simone & Godoy, 2006) en razón de ello se discriminó dicha proporción de cada muestra:

Los granos partidos separados del proceso detallado en el ítem 3.2.3.1. se pesaron con la balanza de precisión mencionada, y de igual forma que en dicho ítem, se determinó el porcentaje en relación al peso total de la muestra.

3.2.3.3. Granos manchados.

Para determinar cambios en la calidad comercial todos los granos enteros, sin daño mecánico, fueron sometidos a un análisis visual para la detección del manchado de la testa del grano. De igual forma que en el ítem 3.2.3.2. los granos manchados se pesaron con balanza de precisión y dicho peso se expresó como porcentaje sobre el total de la muestra. Estos granos se cultivaron con las siguientes técnicas para la detección de bacterias y hongos, en el laboratorio de Sanidad Vegetal de INTA Salta:

Bloter test: se colocan 50 semillas en cajas de petri grandes en papel secante, se cultiva en estufa a 25°C, se evalúa a las 24, 48 y 72 horas. Este test se emplea tanto para hongos como para bacterias.

Para hongos se emplea como medio de cultivo APG (agar papa glucosado). Se desinfecta la semilla en alcohol 70° durante 20 segundos y en hipoclorito de sodio al 50% durante 2 minutos. Se lava con agua estéril. Se colocan 100 semillas distribuidas en 10 cajas de Petri pequeñas. Se incuban en estufa de cultivo a 22 °C durante 6 días donde está en condiciones de ser evaluado.

Para bacterias se emplea como medio Agar Nutritivo, donde para 300 semillas se emplean 0,5 litros de agua destilada estéril donde se remojan durante 4 horas. Luego se toma una alícuota de la solución y se siembra en placas de Petri con el medio de cultivo en estufa a 27°C. Se evaluó a las 24 y 48 horas. Los casos que se presentan como positivos se emplean para efectuar el test de patogenicidad inoculando la colonia en vainas de poroto verdes.

Se expresó el número de semillas afectadas como porcentaje del total de las semillas manchadas que fueron separadas en el procesamiento previo a la entrada de las muestras al Laboratorio de Sanidad Vegetal. El test de patogenicidad en bacterias se empleó como información complementaria para el análisis.

3.2.3.4. *Humedad y temperatura del grano.*

Para la determinación del contenido de humedad del grano (CH) se colocó poroto sano, entero y limpio correspondiente a cada muestra en contenedores de aluminio de aproximadamente 50 gramos de capacidad en estufa durante 72 hs. horas a 103 °C según la norma ASAE S352 1996a, la cual también se empleó en los trabajos de investigación considerados como referencia. Se secaron 3 repeticiones de cada muestra. Cada medición se contrastó con una determinación obtenida en el campo, la cual se realizó con un humidímetro portátil marca Motomco (figura 3.7) el cual posee incorporadas las curvas características de la variedad de poroto alubia Cerrillos INTA. La temperatura del grano se midió en el campo también con el humidímetro Motomco.



Figura 3.7. Humedímetro portátil Motomco, el cual cuenta con las curvas de poroto blanco alubia INTA Cerrillos.

El CH de los granos determinado en estufa y la temperatura de los granos medida con el humidímetro portátil se emplearon para contrastar con las isotermas de sorción y realizar la estimación de a_w y establecer la susceptibilidad al deterioro.

3.2.3.5. *Humedad relativa y temperatura del silobolsa.*

Con 6 sensores I-button datalogger (DS 1923 Termochrom, USA) se midió la humedad relativa (HR) y la temperatura intergranaria (T°) de la bolsa 2. El sensor es un chip inserto en un encapsulado de acero inoxidable de 16 mm de espesor que posee alta capacidad de almacenamiento de datos en un tiempo programable (se estipuló una lectura por hora) y un sistema electrónico para transferir dichos datos a una PC. El dispositivo posee una pequeña abertura con un filtro especial que permite solamente el paso de vapor de agua hacia su interior para alcanzar el sensor de humedad, pero no permite el ingreso de agua líquida. Los mismos se colocaron al inicio del embolsado y fueron extraídos cuando se encontraba próxima la culminación del período de almacenamiento. La ubicación, nomenclatura, colocación y detalle de los sensores se muestra en la figura 3.8 (inicio, centro y cierre de la

bolsa) siguiendo el patrón de los dos estratos descritos precedentemente. De esta manera se observó la migración de humedad en el silo y se relacionó con a_w para determinar la posibilidad de desarrollo de actividad microbiológica.

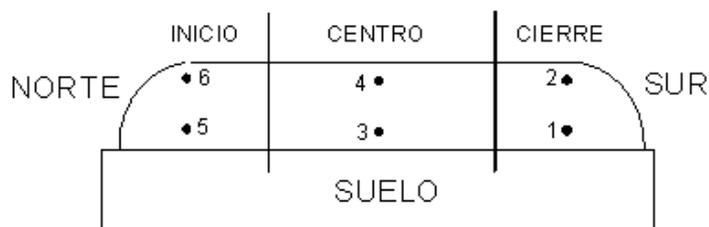


Figura 3.8. Detalle de la colocación de los sensores i-button en los estratos del silobolsa, de su número de identificación (arriba izquierda) y de los componentes de los mismos (arriba derecha) y de la secuencia de colocación (abajo).

3.3. Test de calidad de cocción. Determinación de la calidad industrial.

Para la determinación de cambios en la calidad industrial o culinaria de cada muestra, se emplearon 300 gramos de grano limpio y entero (separados de las muestras extraídas como lo indica el ítem 3.2.2.2.) para su análisis en el Laboratorio de Calidad Culinaria del INTA EEA Salta a través del remojo y la cocción (figura 3.9).

En estos análisis se empleó la técnica modificada de Ricardo Bressanni (Fili, 1996) que consiste en pesar 100 g de porotos secos los que se remojan durante 8 horas en agua de calidad conocida en una proporción 1 a 3 (300 cc). Se escurren durante una hora en sistema embudo filtro probeta, se toma el peso húmedo y se calcula el porcentaje de absorción con

la ecuación (1) donde M=masa. Luego de alcanzar el mínimo porcentaje de absorción requerido (80%) se procede al tratamiento térmico. Este se realiza en un recipiente a presión (1,05 bar) y a una temperatura de 100 a 105 °C durante 15 minutos desde colocación en fuente calórica. Luego de liberar la presión, se escurre la muestra con un sistema filtro-recipiente hasta alcanzar la temperatura media. El caldo resultante se trasvasa a una probeta para medir sedimento amiláceo. A temperatura ambiente se toma el peso en cocido y se calcula la reabsorción de agua durante la cocción con la ecuación (2):

$$\text{absorción}(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\text{reabsorción}(\%) = \frac{M_{\text{cocido}} - M_h}{M_h} \cdot 100 \quad (2)$$

De cada muestra cocida se separan 10 granos identificados visiblemente como “blandos” y 10 granos identificados visiblemente como “duros”, y se procede a la medición de la dureza de los mismos con un penetrómetro manual fabricado para frutas frescas pero adaptado con puntales especiales para porotos cocidos (TR Fruit Pressure Tester modelo FT 327 3-27 Lbs.). La medición se efectúa en el centro del grano, tal como lo muestra la figura 3.9, abajo, derecha. Se considera como duros a los granos cuya dureza supera 1 gF medida con dicho penetrómetro.



Figura 3.9. Procesamiento de muestras de poroto en el Laboratorio de Calidad Culinaria del INTA EEA Salta. Arriba: colado de los granos cocidos y detalle del caldo obtenido. Abajo: (Izq.) Pesado de la muestra remojada. Der.) Empleo del penetrómetro. De Simone et al. (2009).

3.4. Análisis estadístico de los resultados de calidad comercial e industrial.

3.4.1. Calidad comercial.

Se empleó para el análisis estadístico el programa STATISTICA 7.0.

El primer paso fue categorizar las distintas bolsas de acuerdo a su condición, se estableció un orden de las mismas considerando todos los puntos de muestreo, es decir un valor promedio para cada parámetro medido, donde cada fecha de muestreo constituyó una repetición. Se recurrió al ANOVA de efectos principales con una confianza de 95%, es decir un valor $p < 0,05$, donde los predictores categóricos (factores) fueron la bolsa (denominadas con los números 2, 5, 7, 9 y 11) y los puntos de muestreo ya detallados en el ítem 3.2.2.1 (1, 2, 3, 4, 5, 6). Las variables dependientes fueron CH (%) – ME (%) – granos partidos (%) – granos manchados (%) – [CO₂] (%).

El análisis de los puntos de muestreo se efectuó con el objeto de encontrar en qué sector de la bolsa se presentaba con mayor o menor intensidad cada parámetro.

Para el análisis del comportamiento de los microorganismos, se efectuó en primera instancia un análisis general donde se diferenció la condición inicial de la condición final para todas las bolsas en conjunto. Se efectuó un ANOVA de efectos principales con una confianza de 95% ($p < 0,05$) para cada condición donde los predictores categóricos fueron las bolsas y los puntos de muestreo. Las variables dependientes fueron los hongos (%) y las bacterias (%).

Para estudiar el comportamiento individual de cada bolsa se efectuó un ANOVA de efectos principales con una confianza de 95% ($p < 0,05$) donde los predictores categóricos fueron la condición (1: inicial, 2: final) y los puntos de muestreo. Las variables dependientes fueron hongos (%) y bacterias (%).

En la bolsa 2 se efectuó un ANOVA con un solo predictor (one way ANOVA) para analizar los registros de los sensores i-buttons, donde el predictor fue justamente el sensor (cuya nomenclatura se destacó precedentemente en el ítem 3.2.3.5.) y las variables dependientes fueron HR (%) y T° (°C) de la atmósfera intergranaria.

Para completar el análisis se efectuó una matriz de correlación entre todos los parámetros evaluados en todas las bolsas. En cada bolsa se escogieron aquellas correlaciones más significativas tanto desde el punto de vista estadístico como desde la óptica que surge del análisis de los antecedentes.

Bolsa 2:

- Granos manchados (%) vs. granos partidos (%)
- Hongos (%) vs. ME (%)
- ME (%) vs. granos partidos (%)

Bolsa 5:

- Hongos (%) vs. CH (%)
- CO₂ (%) vs. granos manchados (%)
- CO₂ (%) vs. bacterias (%)
- ME (%) vs. granos partidos (%)

Bolsa 7:

- Granos manchados (%) vs. CH (%)
- CO₂ (%) vs. granos manchados (%)
- ME (%) vs. granos partidos (%)

Bolsa 9:

- Granos manchados (%) vs. hongos (%)
- Granos manchados (%) vs. CH (%)
- Granos manchados (%) vs. granos partidos (%)
- Hongos (%) vs. granos partidos (%)
- CO₂ (%) vs. granos manchados (%)
- CO₂ (%) vs. CH (%)
- ME (%) vs. granos partidos (%)

Bolsa 11:

- CO₂ (%) vs. granos manchados (%)
- CO₂ (%) vs. granos partidos (%)
- ME (%) vs. granos partidos (%)

3.4.2. Calidad industrial – Test de cocción.

Los resultados se procesaron estadísticamente con el software STATISTICA 7.0.

El primer paso fue categorizar las distintas bolsas de acuerdo a su condición, tal como se citó precedentemente. Se estableció un orden de las mismas considerando todos los puntos de muestreo, es decir un valor promedio para cada parámetro medido, donde cada fecha de muestreo constituyó una repetición. Se recurrió al ANOVA de efectos principales con una confianza de 95%, es decir un valor $p < 0,05$, donde los predictores categóricos (factores) fueron la bolsa (denominadas con los números 2, 5, 7, 9 y 11) y los puntos de muestreo ya detallados en el ítem 3.2.2.1. (1, 2, 3, 4, 5, 6). Las variables dependientes fueron: coeficiente de absorción (%) – coeficiente de reabsorción (%) - dureza de granos cocidos identificados como “blandos” (gF) - dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF) - Sedimentos (cc)

Luego, para el análisis puntual de la evolución de estos parámetros en cada bolsa, se recurrió a un ANOVA de un solo predictor (one way ANOVA) con una confianza de 95% ($p < 0,05$). Se consideró la condición inicial vs. la condición final en cada bolsa. El predictor fue entonces la condición (1: inicial, 2: final). Las variables dependientes fueron: coeficiente de absorción (%) – coeficiente de reabsorción (%) - dureza de granos cocidos identificados como “blandos” (gF) - dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF).

Para completar el análisis se efectuó una matriz de correlación entre los parámetros evaluados en esta instancia incluyendo también aquellos evaluados para la determinación de la calidad comercial, en cada bolsa se escogieron aquellas correlaciones más significativas tanto desde el punto de vista estadístico como desde la óptica que surge del análisis de los antecedentes.

Bolsa 2:

- Coeficiente de reabsorción (%) vs. coeficiente de absorción (%)
- Coeficiente de absorción (%) vs. dureza (gF)
- Sedimentos (cc) vs. granos partidos (%)

Bolsa 5:

- Coeficiente de reabsorción (%) vs. CH (%)

Bolsa 9:

- Sedimentos (cc) vs. hongos (%)
- Sedimentos (cc) vs. bacterias (%)

Finalmente, para evaluar si se presentaba la interacción entre los parámetros que son objeto de estudio del presente trabajo, se recurrió a un ANOVA factorial donde se agruparon las bolsas de acuerdo con su contenido de ME (%) y granos partidos (%) como se indica en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Agrupación de las bolsas de acuerdo con su contenido de ME (%) y granos partidos (%). Donde ME1<2% - ME2>2% - Partidos 1<4% - Partidos 2>4%.

ME1	Partidos I	Bolsa 5
	Partidos II	Bolsa 2
ME2	Partidos I	Bolsa 7
	Partidos II	Bolsa 9 y bolsa 11

Se consideraron los datos de las bolsas en todas las fechas en que fueron evaluadas (repeticiones) y se analizaron todos los parámetros de calidad comercial e industrial en función de ME (%) y granos partidos (%). Se contemplaron en el análisis de los resultados solamente aquéllos que reflejaron interacciones significativas con un 95% de confianza.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.

4.1. Ensayo de laboratorio.

4.1.1. Contenido de humedad de los granos (CH)

El contenido de humedad de los granos (CH) evidencia diferencias estadísticamente significativas (d.e.s.) entre tratamientos con un valor $p < 0,05$., no así entre bloques (figura 4.1.1).

El hecho que no aparezcan diferencias significativas entre los bloques (tiempo de almacenaje) indica que el CH inicial promedio de los granos se mantiene a lo largo del periodo de almacenamiento, tal como lo observaron en el campo Bartosik et al. (2009a) en silobolsas de maíz, trigo y soja. Esta situación coincide con lo estimado por Abalone et al (2011a) a través del modelo matemático desarrollado para estudiar el comportamiento de las concentraciones de CO_2 y O_2 , de la temperatura y la humedad inicial del grano.

Asimismo se considera que debido a que las bolsas experimentales no estuvieron expuestas a las condiciones ambientales:

No hubo roturas de la cubierta plástica que produzcan filtraciones de agua, y con ello cambios en el CH, como sí lo detectaron en situación de campo Bartosik et al (2009a) a través de la medición de CO_2 y Godoy (2010).

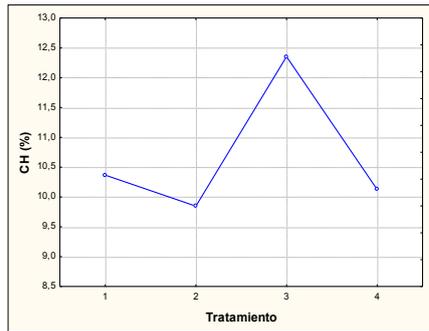
No hubo grandes amplitudes térmicas, puesto que se mantuvieron en laboratorio al resguardo de las condiciones ambientales externas, con lo cual se puede estimar que los movimientos de convección del aire fueron despreciables, aspecto también influido por el tamaño de las bolsas experimentales, con lo cual no se generó la estratificación de la humedad promedio de los granos tal como lo demostraron Cardoso et al. (2009) en situación de campo.

El nivel promedio de CH más alto se obtuvo con el tratamiento 3 (materias extrañas (ME) con alto contenido de humedad) con diferencias significativas ($p < 0,05$) tal como lo muestra la figura 4.1.1.a.

Esto coincide por lo evidenciado por Godoy (2010) que registró dichos cambios de CH del grano en el campo, en bolsas que tenían alto contenido de ME. En este ensayo de laboratorio se distingue que es más relevante la condición del material extraño que su proporción. Las humedades logradas en función de la mezcla de 5% de ME a diferentes humedades (67,7% en T3 y 13% en T2) se aproximan a las previstas (13,5% en T3 y 10,9% en T2 para la mezcla poroto + ME) lo cual se puede demostrar de manera teórica según el resultado de las proporciones consideradas. En T1 y T4, el CH fue similar a T2.

La evolución del CH en el tiempo de almacenamiento para cada tratamiento se presenta más adelante en el ítem 4.1.4. *Integración de los parámetros evaluados.*

a)



b)

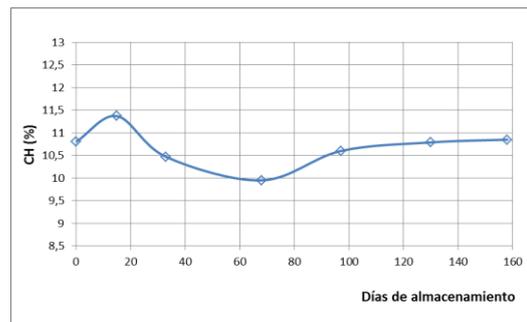


Figura 4.1.1. a) Comportamiento de CH (%) promedio de cada tratamiento evaluado, donde el T3 presenta d.e.s. con respecto a los restantes. b) Evolución del CH (%) del grano promedio de todos los tratamientos a lo largo del período de almacenamiento.

4.1.2. Granos manchados (%).

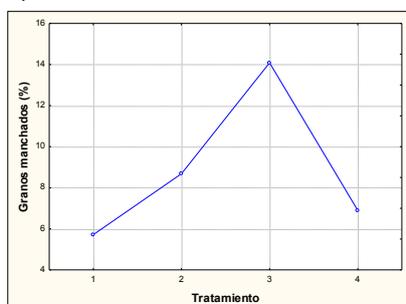
Los resultados obtenidos al separar los granos manchados en cada tratamiento y bloque indican lo siguiente:

Se evidencian diferencias significativas para granos manchados tanto entre bloques como entre tratamientos con un valor de $p < 0,05$ (figura 4.1.2.). Si se observa la figura 4.1.2.a. surge que justamente el máximo porcentaje de granos manchados y arrugados se detecta en el T3 donde alcanza un promedio de 14% (valor que supera en 28 veces la tolerancia comercial para porotos alubias (Méndez, 2010)). Le sigue en orden de importancia el T2, aunque muy por debajo (8,5%).

Con respecto a los bloques (efecto fecha) se observa una tendencia creciente de la proporción de granos manchados a lo largo del tiempo de almacenamiento, con dos picos sucesivos a los 68 y 97 días (figura 4.1.2.b). Esto coincide con De Simone et al. (2009) y De Simone & Godoy (2009) quienes evidencian deterioro tanto de la calidad comercial como industrial a partir de los 100 días de almacenamiento en ensayos realizados en silobolsas de tamaño real y en aquellas de tamaño experimental.

Cabe destacar que en el momento de iniciar el ensayo los granos no presentaban granos manchados que puedan detectarse visualmente, cuestión que se evidenció desde el primer momento de muestreo (B1 = 15 días de almacenamiento) en todos los tratamientos, incluido T1.

a)



b)

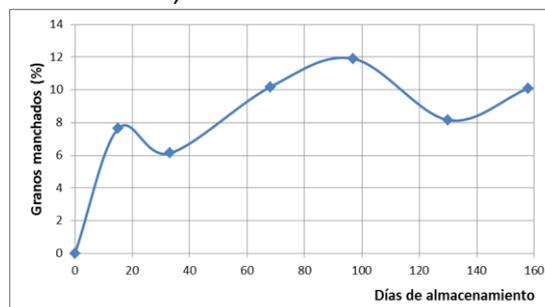


Figura 4.1.2. a) Evidencia de los granos manchados (%) promedio para cada tratamiento evaluado. b) Porcentaje de granos manchados promedio de todos los tratamientos a lo largo del período de almacenamiento.

Los tratamientos T2 y T3 mostraron la mayor diferencia entre la condición inicial (al momento de comenzar el ensayo) y la condición final, 13,4% y 13,6%, respectivamente (figura 4.1.3). Los tratamientos T1 y T4 evidenciaron diferencias menores, 6,3% y 7,1%, respectivamente. El T3 generó proporciones de granos manchados por encima de 12% en todas las fechas evaluadas (desde B1 a B6) valor solamente alcanzado en T2 recién a los 158 días de almacenamiento, cuestión que coincide con lo observado por De Simone et al (2009) y De Simone & Godoy (2009) en condiciones controladas y de campo (intemperie).

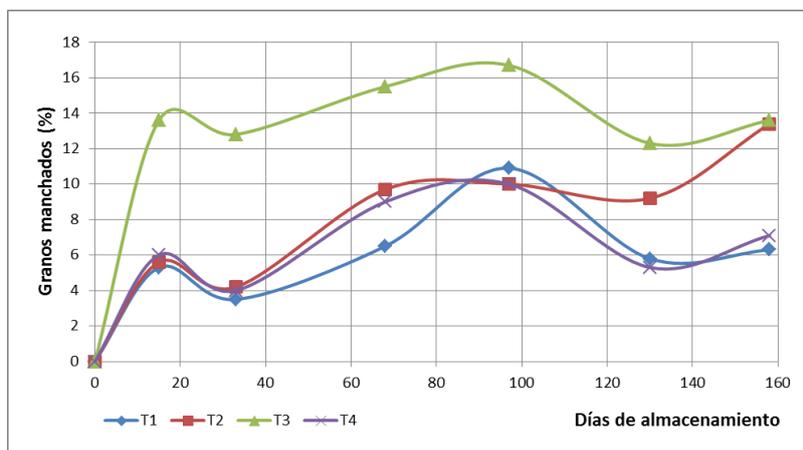


Figura 4.1.3. Porcentaje de granos manchados de cada tratamiento a lo largo del período de almacenamiento.

La disminución evidenciada en el porcentaje de granos manchados en B5 y B6 se atribuye a errores experimentales, ya que se separaron los granos manchados que eran detectados visualmente en el Laboratorio.

El hecho que T3 presentó granos manchados en altas proporciones durante todo el período de almacenamiento se relaciona con los altos valores de HR registrados en el aire intergranario de las bolsas respectivas (por encima de 70% con un máximo de 78,925%) donde de acuerdo con Giner (1994) ocurre un equilibrio tipo 1, el alto contenido de humedad del material extraño modifica la HR del aire intergranario el cual alcanza el equilibrio con el grano (incremento del CH).

En el caso del T3 se encontraron valores riesgosos de a_w (0,79) según lo establecido por Giner (1994) y Abadía & Bartosik (2013).

4.1.3. Microorganismos.

En el Laboratorio de Sanidad Vegetal (INTA EEA Salta) se aislaron del T3B5 (correspondiente a 130 días de almacenamiento) más de 400 UFC de bacterias *Xantomonas sp.* las cuales resultaron en test de patogenicidad positiva y produjeron daños totales en los granos (tal como lo citan Giménez Monge, 2002 y Pastor Corrales y Schwartz, 1994). También se identificaron seis especies de hongos que afectaban el 27% de la muestra extraída (*Fusarium sp.*, *Aspergillus sp.*, *Rhizopus sp.*, *Penicillium sp.*, *Mucor sp.* y *Alternaria sp.*) (hongos de campo y de almacenamiento según Giménez Monge, 2002 y Pacheco, 1989) (figura 4.1.5) Esto también coincide con Bartosik et al (2009a-b) y De Simone et al (2009) quienes evidenciaron mayor actividad biológica en granos húmedos. Cabe destacar que en todos los bloques la patogenicidad de las bacterias de T3 fue positiva, aunque se tratara de muy pocas UFC.

A su vez, el T2 para dicho período generó más de 100 UFC de bacterias también del género *Xantomonas sp* con patogenicidad positiva, mientras que en T1 y T4 éstas no se registraron.

Es decir que la presencia de ME favorece el desarrollo de microorganismos, por constituir un sustrato propicio, ya sea con bajo o alto CH. Con un mal manejo se puede favorecer una condición indeseable del ME y pasar de una condición de almacenamiento segura a una insegura, por ejemplo a través de filtraciones de agua por roturas sin reparar, tal como lo predice el modelo desarrollado por Abalone et al (2011b).

En base a lo planteado, se efectuó un ANOVA de la afección de los hongos aislados en el Laboratorio de Sanidad Vegetal, la misma se expresó en porcentaje de semillas afectadas sobre el total de semillas aisladas en cada tratamiento y bloque, donde resultó lo siguiente:

No se observan diferencias entre bloques pero si entre tratamientos con un valor $p < 0,05$. El máximo valor promedio de la presencia de hongos se detectó en el T3, con un valor de 15,5%, mientras que los tratamientos restantes resultaron en proporciones mucho más bajas, con valores comprendidos entre 1% y 3% (ver figura 4.1.4). Si se observa el gráfico se evidencia un comportamiento idéntico, muy cercano al que se presenta en la evolución de la proporción promedio de granos manchados. Este aspecto corrobora lo establecido anteriormente, ya que demuestra que la aparición de manchado en el grano está relacionada con la presencia de microorganismos y su posterior desarrollo al recibir las condiciones óptimas para su desarrollo.

Si bien las diferencias entre bloques no son estadísticamente significativas se observa un pico en B4, que corresponde a 97 días de almacenamiento, hecho que coincide con De Simone et al (2009) quienes evidenciaron deterioro a partir de los 100 días de almacenaje.

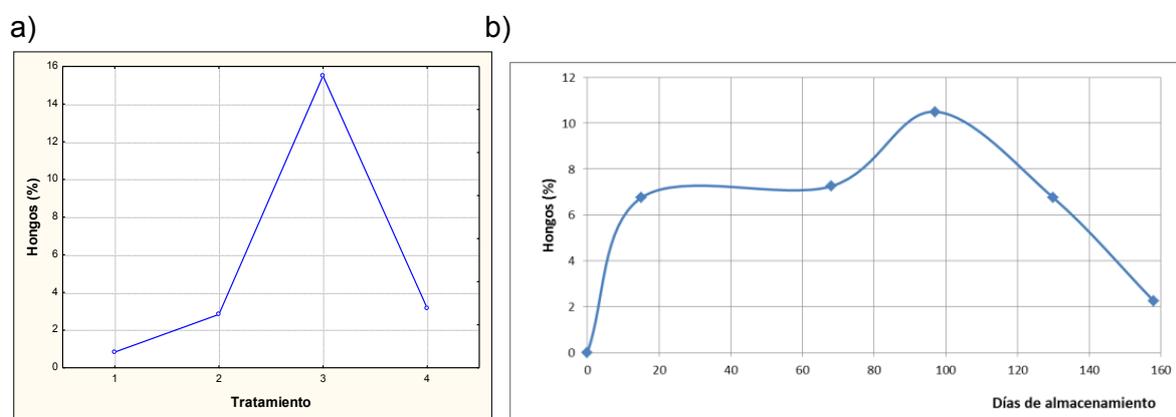


Figura 4.1.4. a) Promedio de los granos afectados por hongos (%) en cada tratamiento evaluado b) Evolución del porcentaje promedio de todos los tratamientos de granos afectados por hongos a lo largo del período de almacenamiento (bloques).

Por otra parte, si estos resultados se evidenciaron con temperaturas menores a 25°C, es de suponer que con temperaturas mayores, el desarrollo de microorganismos se produciría en un período más corto de almacenamiento tal como lo evidenciaron Bartosik et al (2009a) y como lo predice el modelo desarrollado por Abalone et al (2011a).

Al observar la evolución en el tiempo de almacenamiento de la afección por hongos en cada tratamiento se evidenció un incremento muy marcado y sostenido para T3 desde la condición inicial hasta los 130 días de almacenaje donde se afectó, como se citó precedentemente el 27% de la muestra. T2 y T4 mostraron un leve aumento en los primeros 15 días de almacenamiento, de 6% y 4% respectivamente, desde allí T2 mostró una

tendencia decreciente y T4 se mantuvo hasta los 97 días de almacenamiento, donde se observa un pico de 9%. T1 prácticamente no presentó afección por hongos, alcanzó el máximo valor a los 97 días de almacenamiento con apenas 4% de granos afectados por hongos. En T1, T2 y T4 la actividad de los hongos se vió limitada por la HR, la cual se mantuvo por debajo de 70% (aspecto que se analiza en detalle más adelante, en el ítem 4.1.4.) y que coincide con la bibliografía (Giner (1994) y Abadía & Bartosik (2013).

Se destaca nuevamente cómo el grado de afección se acentúa a los 97 días para todos los tratamientos, incluso T3 continúa creciendo posteriormente.

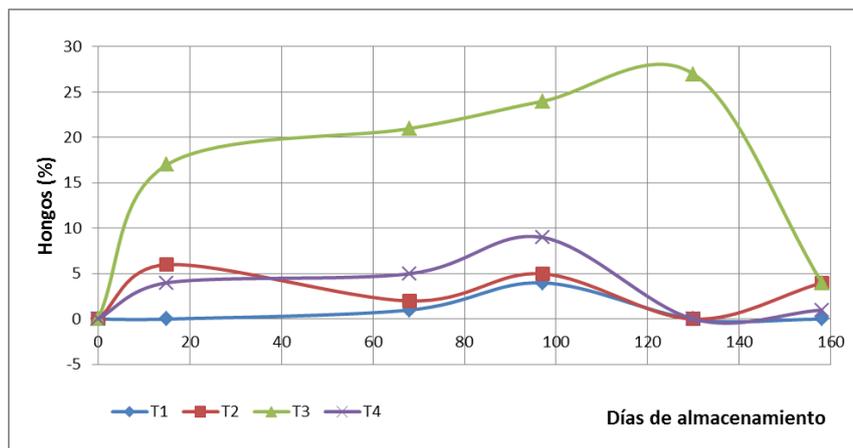


Figura 4.1.5. Porcentaje de granos afectados por hongos en cada tratamiento a lo largo del período de almacenamiento.

Si se observa la evolución de los granos manchados de cada tratamiento en particular (figura 4.1.3) se distingue cómo T2 y T3 continúan aumentando a partir de los 97 días de almacenamiento a pesar que no se incremente la actividad de los hongos, esto puede atribuirse a la acción de las bacterias, que como ya se citó presentaron patogenicidad positiva para ambos tratamientos, mientras en T1 y T4 éstas no se registraron.

4.1.4. Integración de los parámetros evaluados.

Para profundizar el análisis se realizó la correlación considerando todos los tratamientos y bloques, entre la proporción de granos manchados con el CH del grano (%) y con la HR (%) de donde surge un valor r bajo (0,47) para el primero y un valor de r alto (0,71) para el segundo (ver figuras 4.1.6. y 4.1.7). Lo que indica que el manchado de los granos es generado por la HR resultante en el ambiente intergranario, tal como se evidenció del análisis sanitario de las semillas/granos.

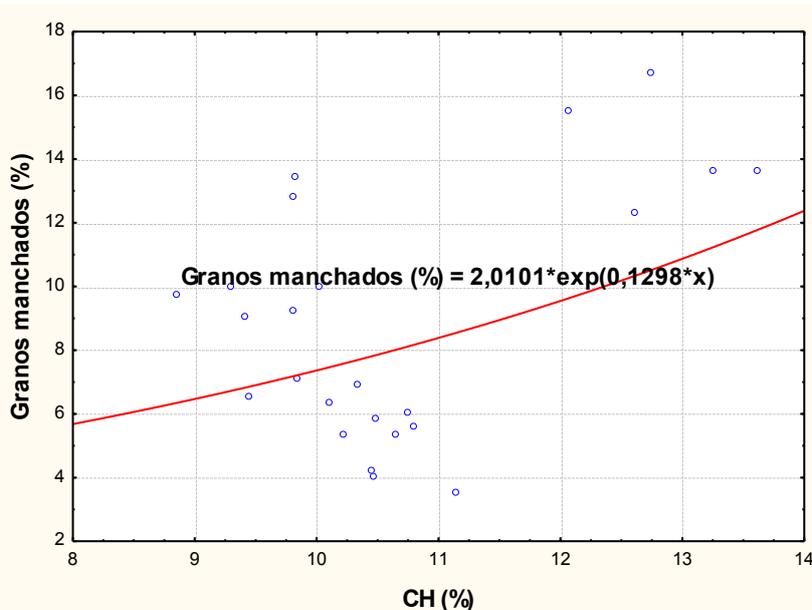


Figura 4.1.6. Correlación entre el porcentaje de granos manchados (%) y el contenido de humedad de los granos CH (%).

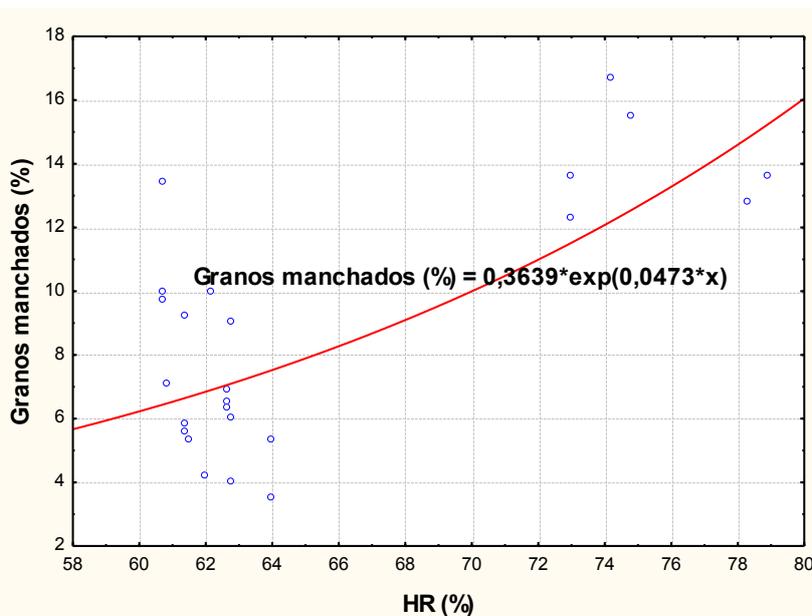


Figura 4.1.7. Correlación de granos manchados (%) vs. HR (%).

En general, se observa el aumento del porcentaje de manchados en función del CH y de la HR, lo cual evidencia que estos últimos están relacionados entre sí de la siguiente manera: el contenido y la condición del ME influyen sobre la HR, esta a su vez influye sobre el CH y la actividad biológica, lo cual se evidencia como grano manchado (Pacheco, 1989).

Dicha relación entre CH y HR se observa al efectuar la correlación entre los mismos, donde el r resultante alcanza un valor de 0,73 con un valor $p < 0,05$, lo cual coincide con la bibliografía (Giner (1994) y Abadía & Bartosik (2013)) (figura 4.1.8.).

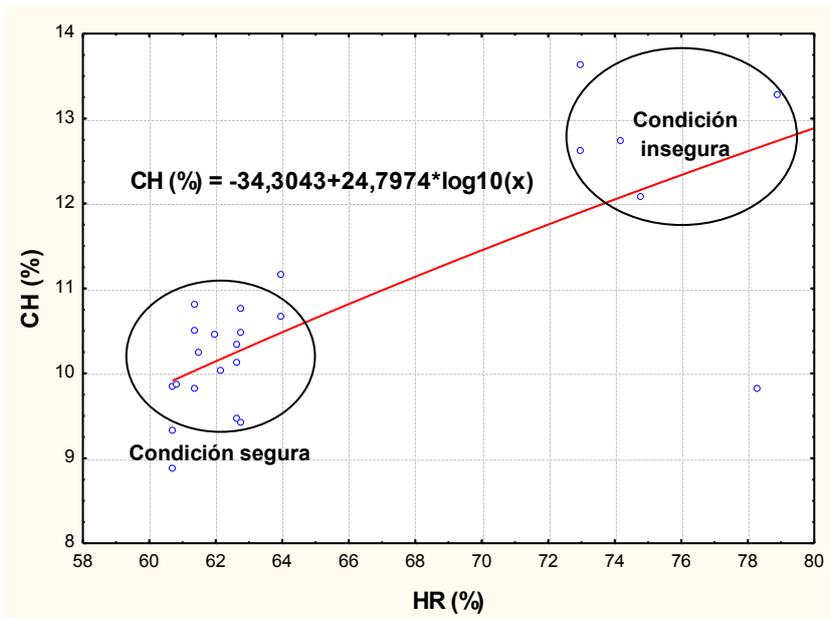


Figura 4.1.8. Correlación entre el contenido de humedad de los granos CH (%) y la humedad relativa HR (%). Se muestran dos áreas marcadas que representan las zonas de aw de riesgo bajo y alto como condición de almacenaje segura e insegura, respectivamente.

Cuando se analiza el comportamiento de la HR y de la temperatura en el interior de las bolsas, surge lo siguiente:

Temperatura (T°) (°C)

Se observan diferencias significativas para la temperatura registrada por los sensores ($p < 0,05$) entre bloques y tratamientos.

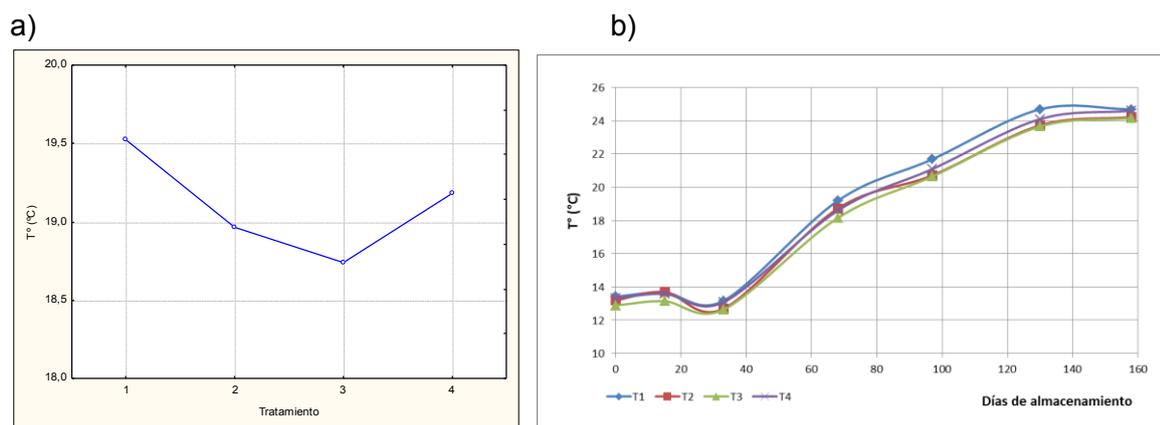


Figura 4.1.9. a) Temperatura promedio (°C) de cada tratamiento en el tiempo de almacenamiento. b) Evolución de la temperatura (°C) a lo largo del período de almacenamiento (bloques).

La T° aumenta con el tiempo de almacenamiento, siguiendo el patrón de la temperatura externa (coincide con Bartosik et al. (2009a)). A pesar de que aparecen d.e.s. entre tratamientos, las mismas son menores a 1°C, valor que se considera irrelevante.

Humedad relativa (HR)

Se observan diferencias significativas para HR entre tratamientos ($p < 0,05$) con un valor promedio muy superior para T3 de 75,4% (figura 4.1.8.). La comparación entre el promedio de los valores de HR de todos los tratamientos (diferencias entre bloques) no se considera pues cada tratamiento presenta una humedad relativa de equilibrio según las condiciones de almacenamiento.

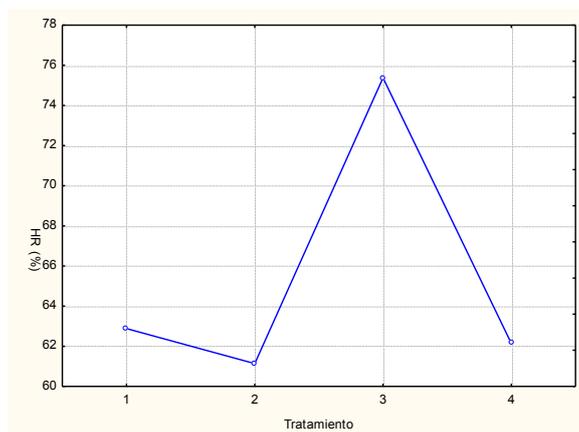


Figura 4.1.10. Comportamiento de la HR (%) promedio de cada tratamiento.

Al analizar el comportamiento de las humedades en equilibrio de los distintos tratamientos, surge que para T3 la disminución de HR es muy marcada (diferencia entre B1 y B6 de 5,93%) mientras se incrementa el CH (incremento entre B1 y B6 es de 0,36%) Aunque la relación entre ambas es baja ($r=0,46$ y $p>0,05$) ambas tendencias son muy claras (figura 4.1.11.)

En todo el período de almacenamiento HR se mantiene por encima de 70%.

Mientras que para T1 la relación entre las humedades alcanza un $r=0,73$ y $p=0,09$ (muy cercano al empleado para determinar la significancia del análisis $p>0,05$). Allí ambas humedades se relacionan fuertemente a lo largo del período de almacenamiento (figura 4.1.12) donde también va aumentando la temperatura progresivamente.

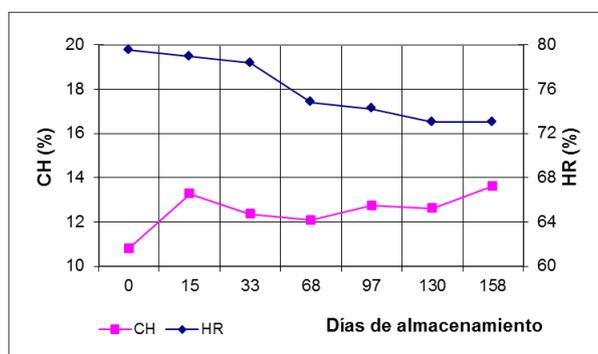


Figura 4.1.11. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T3.

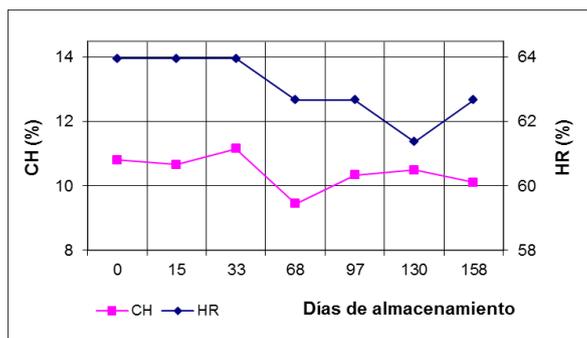


Figura 4.1.12. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T1.

Los tratamientos T2 y T4 mostraron un comportamiento similar al observado en T1 (ver figuras 4.1.13 y 4.1.14)

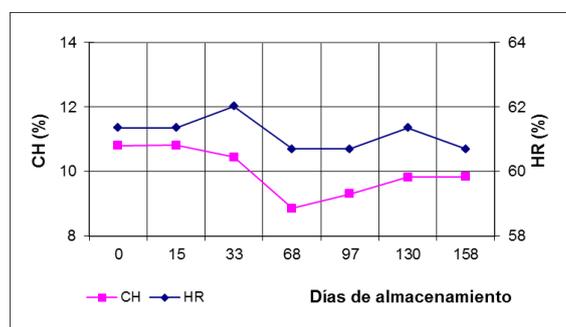


Figura 4.1.13. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T2.

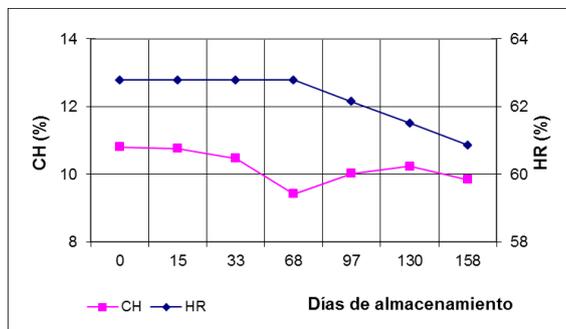


Figura 4.1.14. Evolución en el tiempo de la HR y el CH de los granos en T4.

De todo lo expuesto se puede asumir que la presencia o ausencia de ME genera dos situaciones:

- Grano limpio dentro de la bolsa: su CH determina la HR del aire intergranario por tratarse de un ambiente cerrado (hermético) donde ocurre un equilibrio tipo 2.
- Grano más impurezas: El ME con su contenido de humedad influye sobre la HR del aire intergranario, la cual a su vez condiciona el CH del grano. Se transfiere agua de ME al grano usando al aire intergranario como intermediario (Giner, com. pers.,2011).

Tal como se citó, la HR alcanza el máximo valor promedio en T3, lo cual es muy evidente en la figura 4.1.10). Mientras que los tratamientos restantes mantuvieron valores muy similares entre sí y todos por debajo de 70%.

Justamente el T3 corresponde al tratamiento con contenido de material extraño húmedo, hecho que justifica lo planteado anteriormente en relación a la actividad biológica y su consecuente generación de manchado en los granos.

Si se analiza lo que ocurre al considerar las curvas de sorción propuestas por distintos autores, se observa que el comportamiento de la situación extrema representada por T3, donde se estableció experimentalmente una condición de a_w insegura a través de la presencia y desarrollo de microorganismos, el CH del grano (13,5%) no coincide con el estipulado por el Standard ASAE D245.5 OCT1995 para las temperaturas registradas en el laboratorio (entre 12,6°C y 24,7°C). Es decir que para dicho Standard el grano debería tener un CH superior a 16% para generar una HRE igual o mayor a 70% (ver Capítulo II, ítem 2.4.4.).

En tal sentido, se observa mayor concordancia de los resultados obtenidos con lo propuesto por De Simone (1998) para la variedad Paloma INTA (de tipo comercial blanco alubia) quien obtuvo experimentalmente la curva de CH pertinente entre 21°C y 25°C. Donde con un CH de 13,5% se obtiene una HR de 69% aproximadamente (ver Capítulo II, ítem 2.4.2.). Se estima que mayores temperaturas implican el desplazamiento de dichas curvas hacia abajo con lo cual se ingresaría a la zona de riesgo representada por todas la HR superiores a 70%, es decir $a_w > 0,70$.

En el Capítulo II se consideró una coincidencia válida entre los trabajos de investigación de Chen (2000) Hutchinson & Otten (1984) y Dinkov et al. (2000) todos considerados como fuentes del Standard ASAE D245.5 OCT1995. Pero luego de realizar las experiencias en laboratorio se observa que las mismas no coinciden con lo evidenciado por estos autores. Esto podría atribuirse en parte, a que en el presente ensayo no se mantuvo la temperatura constante y en parte a la existencia de un fenómeno por el cual el grano no adsorbe mayor humedad del ambiente, aspecto que debe ser estudiado en futuros trabajos.

4.2. Ensayo principal: Ensayo en el campo.

4.2.1. Categorización de las bolsas por sus características

La tabla 4.2.1. muestra la categorización de las bolsas evaluadas teniendo en cuenta las características compositivas de su granel.

Tabla 4.2.1. Categorización de las bolsas de acuerdo a las características compositivas de su granel (valores promedio de todas las fechas de muestreo). Comparación de las mismas a través de ANOVA con un 95% de confianza. Cada repetición corresponde a una fecha de muestreo con un total de N repeticiones por bolsa.

Bolsa	2	5	7	9	11	Valor p d.e.s. entre bolsas
CH (%)	9,67	10,16	9,88	12,23	9,70	0,0000<0,05 Con d.e.s.
ME (%)	1,7	1,9	2	2,3	2,7	0,035<0,05 Con d.e.s.
Granos partidos (%)	4,6	2,6	2,8	4,2	3,8	0,21>0,05 Sin d.e.s.
Granos manchados (%)	3,87	6,08	7,78	4,19	6,45	0,013<0,05 Con d.e.s.
N	6	3	4	5	7	

De manera lógica se observa cómo algunos parámetros conservan los valores obtenidos en la condición inicial (ver Capítulo III – tabla 3.1.) a medida que evoluciona el tiempo de almacenamiento, ellos son:

Material Extraño (ME) Se evidencia que la bolsa 11 es la que posee mayor contenido, le sigue en importancia la bolsa 9, mientras que la bolsa 2 es la más limpia (tabla 4.2.1.), con lo cual se puede asumir como testigo o “caso de referencia”; en la misma se colocaron los sensores i-buttons.

Granos Partidos Se evidencian altos contenidos (superiores a la tolerancia = 3%) en las bolsas 2, 9 y 11 (tabla 4.2.1.).

Por otra parte los parámetros que muestran cambios con respecto a la condición inicial son el CH (%) y el porcentaje de granos manchados, aunque se mantiene la diferencia entre las bolsas.

Contenido de humedad del grano (CH) Al igual que en la condición inicial, con la evolución del tiempo de almacenamiento, la bolsa 9 es claramente la que presenta el mayor CH promedio tal como lo indica la figura 4.2.1. Muestra además una leve tendencia de aumento. Si se observa el comportamiento de las bolsas restantes surge que el CH en las bolsas 2, 5 y 11 tiende a mantenerse, mientras que en la bolsa 7 tiende a aumentar marcadamente (figura 4.2.1.).

Granos Manchados La bolsa 7 evidencia el mayor porcentaje, le siguen en importancia las bolsas 11 y 5. Se destaca que en todos los casos se presentan valores promedios superiores a la tolerancia (0,5%) (figura 4.2.5.).

El manchado aumenta a lo largo del tiempo en todas las bolsas (figura 4.2.2.). Las bolsas 11 y 9 (figura 4.2.2. e y d, respectivamente) evidencian un incremento uniforme o sostenido en el tiempo, la bolsa 2 (figura 4.2.2. a) se mantiene constante hasta la fecha (06/10, a los 89 días de armada) donde los manchados se duplican y continúan creciendo hacia el final del período. La bolsa 7 (figura 4.2.2. c) alcanza los valores más altos, la bolsa 5 (figura 4.2.2. b) permanece prácticamente constante, aunque parte de una mala condición con 6,2% de manchado en el inicio del ensayo (28/07/2011) (a los 21 días de armada).

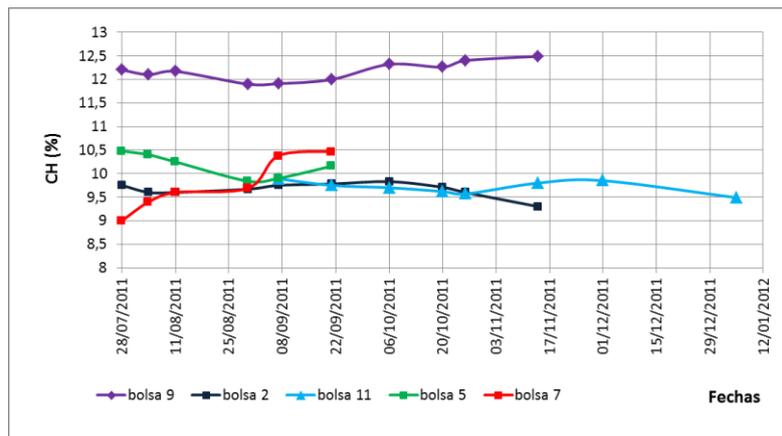
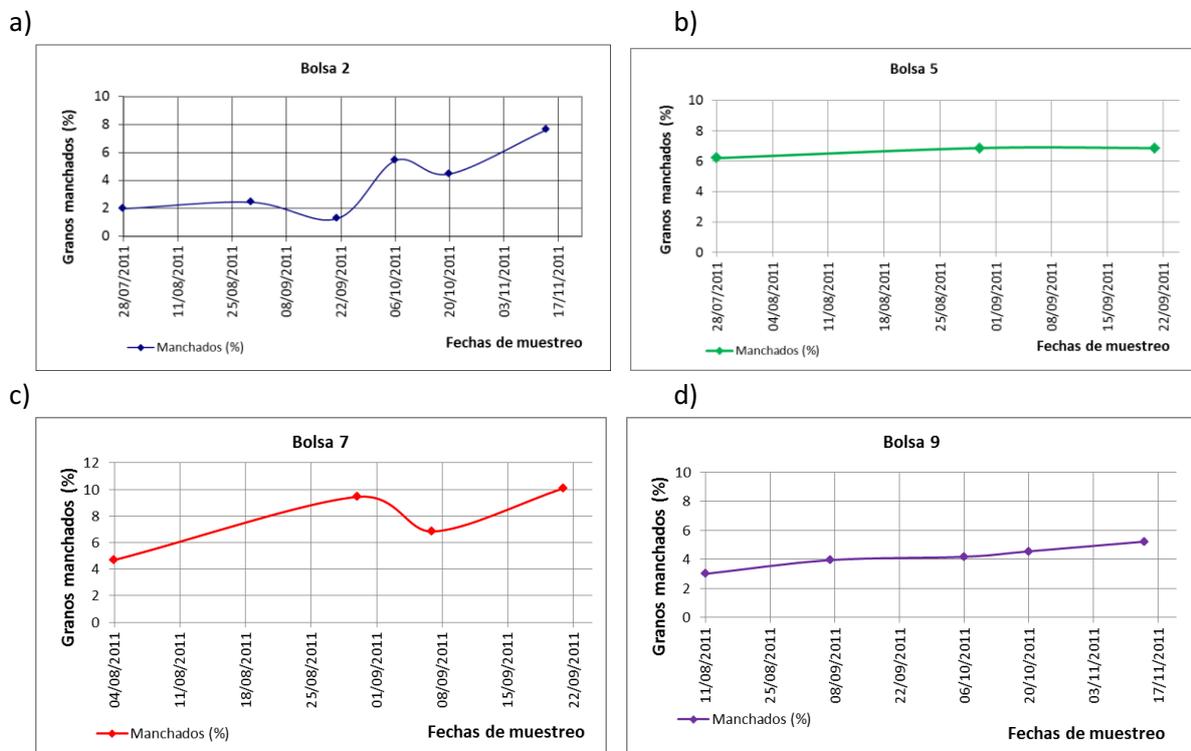


Figura 4.2.1. Evolución en el tiempo del CH (%) de los granos en las bolsas evaluadas.



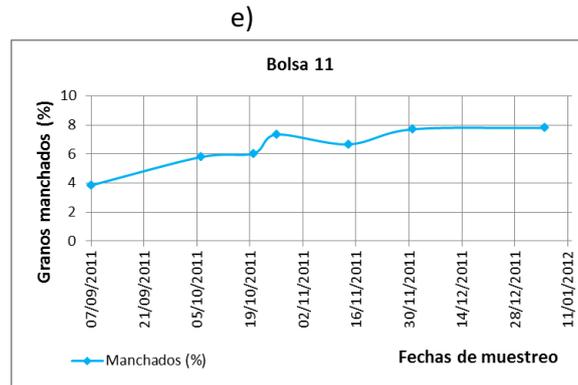


Figura 4.2.2. Evolución de los granos manchados (%) en el período de almacenamiento de: a) bolsa 2, b) bolsa 5, c) bolsa 7, d) bolsa 9, e) bolsa 11.

A través del ensayo realizado en laboratorio se evidenció una coincidencia entre la evolución del manchado de los granos y el desarrollo de microorganismos, se asume que en este caso se presenta la misma situación.

4.2.2. Microorganismos. Comportamiento a nivel general.

4.2.2.1. Hongos. Análisis general considerando todas las bolsas.

La tabla 4.2.2. muestra la afección de los granos por hongos en cada bolsa evaluada en la condición inicial y la condición final; se considera el valor promedio de todos los puntos de muestreo en cada condición.

Se observa que la bolsa 7 presenta la peor condición inicial con respecto a la presencia de hongos, es decir que comenzó el almacenamiento con cierto grado de deterioro inicial. Mientras que la bolsa 9 presenta la mejor condición inicial en este sentido.

En contraposición con lo evidenciado en la condición inicial, la bolsa 9 es la que presenta la peor condición final con respecto a la presencia de hongos, lo cual implica el desarrollo de los mismos en el período de almacenamiento. La bolsa 11 evidencia el menor contenido final de hongos.

La bolsa 2 presenta un leve descenso en la proporción de granos afectados por hongos en la condición final. En la bolsa 5 dicha proporción se mantiene prácticamente constante.

Se destaca en todos los casos que la proporción final de hongos no llega a cero (0%) sino que en promedio supera el 10%, lo cual evidencia el efecto fungiestático del silobolsa y que según Bartosik et al. (2009a) y Cardoso et al. (2009) puede ser revertido en caso de alterarse las condiciones de hermeticidad, con roturas del plástico, por ejemplo. Este comportamiento de los hongos obedece a la habilidad de los mismos de formar estructuras de resistencia (Pacheco, 1989).

Tabla 4.2.2. Porcentaje de granos afectados por hongos (%) en la condición inicial y final, donde se observa la diferencia entre las bolsas evaluadas.

Bolsa	2	5	7	9	11	Valor p d.e.s. entre bolsas
Condición inicial	16,05	29,47	46,07	5,49	30	0,038<0,05 Con d.e.s.
Condición final	12,17	28,92	23,42	55,72	9,55	0,003<0,05 Con d.e.s.

En el análisis general comparando los puntos de muestreo (valores promedio de todas las bolsas para cada punto) no aparecieron d.e.s. para los mismos en ninguna de las situaciones (inicial y final) pero en el análisis puntual de cada bolsa que se realiza más adelante (ítem 4.2.3.) es factible evaluar una tendencia de comportamiento de los hongos en relación a su ubicación dentro del granel.

Por otra parte, se evidencia gráficamente (figura 4.2.3.) que la condición inicial con respecto a porcentaje de hongos de las muestras de cada bolsa tiene una relación con el promedio de granos manchados. Esto se confirma al analizar la relación entre ambos parámetros cuando se profundiza el análisis en la bolsa 9 en el ítem 4.2.3.

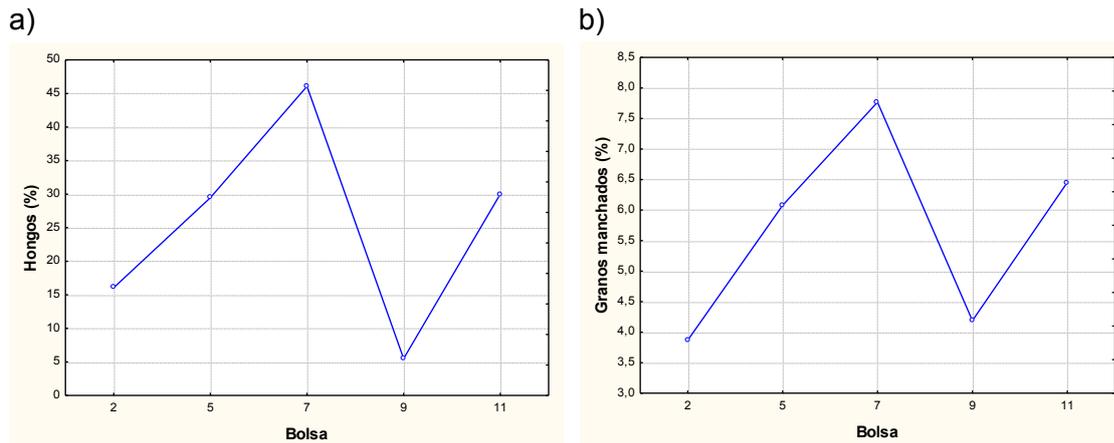


Figura 4.2.3. Condición inicial: a) Evidencia de los granos afectados por hongos (%) de acuerdo con las bolsas evaluadas b). Cantidad de granos manchados (%) de acuerdo a las bolsas evaluadas.

4.2.2.2. Bacterias. Análisis general considerando todas las bolsas.

La tabla 4.2.4. muestra el porcentaje de granos afectados por bacterias. Se evidencia similitud en cuanto al comportamiento de los hongos donde la peor condición inicial respecto a la presencia de bacterias es evidente en la bolsa 7. La mejor condición la presenta también la bolsa 9, aunque con pequeñas diferencias respecto a las bolsas restantes (2, 5 y 11).

La bolsa 9 claramente muestra la peor condición final, en correspondencia con lo observado en el análisis de los hongos, mientras que la bolsa 7 muestra valores muy cercanos a cero (0%) lo cual permite inferir que se produjo un control de bacterias hacia el final del período de almacenamiento, aspecto coincidente con Bartosik et al. (2009a).

Tabla 4.2.3. Porcentaje de granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial y final (promedios de todos los puntos de muestreo en cada condición) donde se observa la diferencia entre las bolsas evaluadas.

Bolsa	2	5	7	9	11	Valor p d.e.s. entre bolsas
Condición inicial	1,59	1,3	20,83	0	1,17	0,038<0,05 Con d.e.s.
Condición final	1,71	8,27	0,58	26,15	1,98	0,003<0,05 Con d.e.s.

Cuando se realizó el análisis general de la afección por bacterias comparando los puntos de muestreo (al igual que lo efectuado con la afección por hongos) no aparecieron d.e.s. en ninguna de las situaciones (inicial y final). Se consideró entonces un análisis puntual de cada bolsa que en el ítem 4.2.3. para evaluar la tendencia de comportamiento de las mismas.

De acuerdo con lo hasta aquí expuesto, donde se puede apreciar que la condición final de cada una de las bolsas es diferente a la inicial, se presenta la necesidad de efectuar un análisis puntual de hongos y bacterias en cada bolsa, como se citó precedentemente, integrando los aspectos empleados en la categorización de las mismas: CH, ME, granos partidos, granos manchados, y en el caso en que se dispone de la información, también HR y T°. También se consideran los valores medidos de CO₂.

4.2.3. Análisis puntual de cada bolsa.

4.2.3.1. Bolsa 2.

La tabla 4.2.4 muestra las condiciones iniciales y finales de calidad de la bolsa 2.

Tabla 4.2.4. Características compositivas del granel de la bolsa 2 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.

Bolsa	2	
Condición	Inicial	Final
CH (%)	9,75	9,3
ME (%)	1,7	1,7
Granos partidos (%)	4,6	4,6
Granos manchados (%)	1,97	7,63
Tiempo de almacenamiento (días)	124	

4.2.3.1.1. Hongos.

Se observa la reducción de la proporción de hongos en el período de almacenamiento (coincide con lo evaluado por Bartosik et al., 2009a, Cardoso et al., 2009 y Abalone et al., 2011a) aunque no aparecen d.e.s. entre condición inicial y final ($p=0,29$) ni entre puntos de muestreo ($p=0,32$) (figura 4.2.4.). Se puede inferir que se produjo un control de los hongos por la baja HR del aire intergranario la cual nunca supero el 60%, como se observa en la figura 4.2.6. Este valor de HR es suficientemente bajo para limitar el desarrollo microbiano (coincide con Giner (1994) y Abadía & Bartosik (2013)). Del análisis de los puntos surge una distribución de los hongos en el granel que puede obedecer a la ubicación del material fino en la base de la bolsa (punto 2 y 4) lo cual se explica a partir del contenido de granos partidos, donde el estrato inferior alcanzó un promedio de 5%, mientras que el estrato superior el 2,8%. Se destaca que ésta bolsa presenta el mayor contenido promedio de granos partidos (ver tabla 4.2.1.). La ubicación de los hongos en la zona superior (punto 5) puede deberse a procesos de condensación en la misma, cuestión que será tratada más adelante (ver figura 4.2.8.). Ambos aspectos coinciden con lo observado por Cardoso et al. (2009).

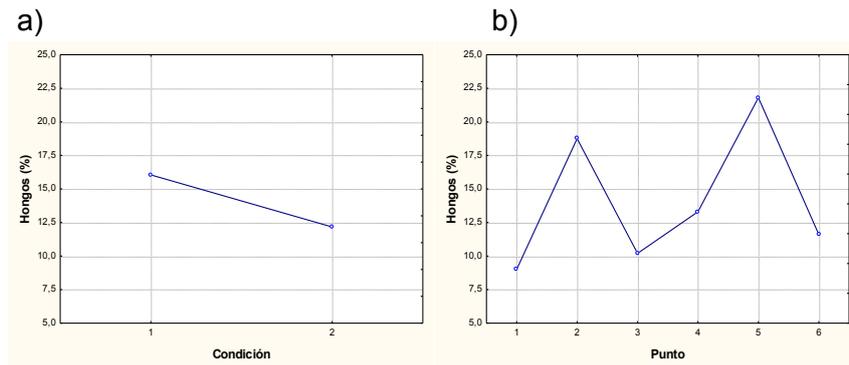


Figura 4.2.4. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.

4.2.3.1.2. Bacterias.

No se observan d.e.s. entre puntos ni entre ambas condiciones ($p > 0,05$). Estos aspectos se observan en la figura 4.2.5. Se observa un incremento incipiente detectado en blotter test y en medio específico para *Xanthomonas* sp (donde no supera las 50 UFC). Se destaca del análisis en los puntos de muestreo cierta tendencia de las bacterias a concentrarse, cuando están presentes, en la zona inferior de la bolsa (correspondiente a los puntos 2 y 4) donde a su vez también se acumula el material fino. Entonces se puede inferir que también la ubicación de las bacterias está ligada a la estratificación de los granos partidos hacia la base de la bolsa, en coincidencia con los estudios realizados por Cardoso et al. (2009).

Con respecto a la patogenicidad de las bacterias aisladas en medio específico, se distinguió como positiva desde el inicio del almacenamiento, lo cual corrobora lo estudiado por Weller & Saettler (1980) (citados por Pastor Corrales & Schwartz, 1994) quienes observaron que durante la cosecha se producía la infección externa del grano con bacterias, debido a la transmisión por el aire del polvo de tejidos secos del poroto (especialmente de tallos y vainas) previamente infestados.

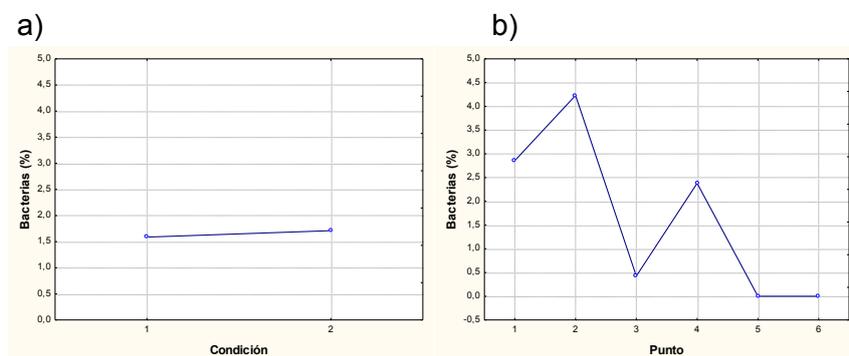


Figura 4.2.5. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.

La correlación entre el porcentaje de granos afectados por hongos y bacterias es baja ($r=0,17$ y $p>0,05$) a diferencia, como se verá más adelante, de lo observado en las bolsas restantes.

4.2.3.1.3. HR y T° del aire/atmósfera intergranario

De acuerdo con lo observado es preciso entonces discutir con más profundidad el comportamiento de la humedad relativa (HR) y la temperatura (T°) del aire intergranario presente en la bolsa, en la cual justamente fueron colocados los sensores i-buttons para tal fin. Las figuras 4.2.6. y 4.2.7. muestran la evolución de la HR y la temperatura, respectivamente.

La HR del aire intergranario se mantiene por debajo de 60% a lo largo del período de almacenamiento en todos los puntos del granel donde fueron colocados los sensores.

Al realizar un ANOVA entre los distintos sensores colocados dentro del granel, aparecen d.e.s. entre los mismos con un valor $p<0,05$. Se observa que los mayores valores de HR se registran en la parte superior de la bolsa (sensores 2, 4 y 6) lo cual evidencia la estratificación de la misma atribuida al fenómeno de condensación producto de movimientos de convección del aire intergranario en el interior de la bolsa, coincidente con lo evidenciado por Cardoso et al. (2009). Es decir que se produce la migración de la HR en función de dichos procesos de convección, donde el aire intergranario con determinado contenido de humedad al tomar contacto con la superficie del plástico (más fría) cambia su condición y se produce la condensación.

Todos los sensores, como se citó previamente, registraron HR inferiores a 70%, donde el máximo registro fue 56,6% en el sensor 2.

Un aspecto relevante lo constituye la diferencia observada en la HR entre la condición inicial y final, la cual es mayor para los sensores ubicados en el estrato superior de la bolsa (promedio 9% - sensores 2, 4 y 6) que para los sensores ubicados en el sector basal (promedio 7% - sensores 1, 3 y 5). Esto puede evidenciar cómo el ambiente externo influye en mayor medida en el estrato superior, donde se produce el fenómeno de condensación del que ya se hizo referencia (Cardoso et al., 2009)

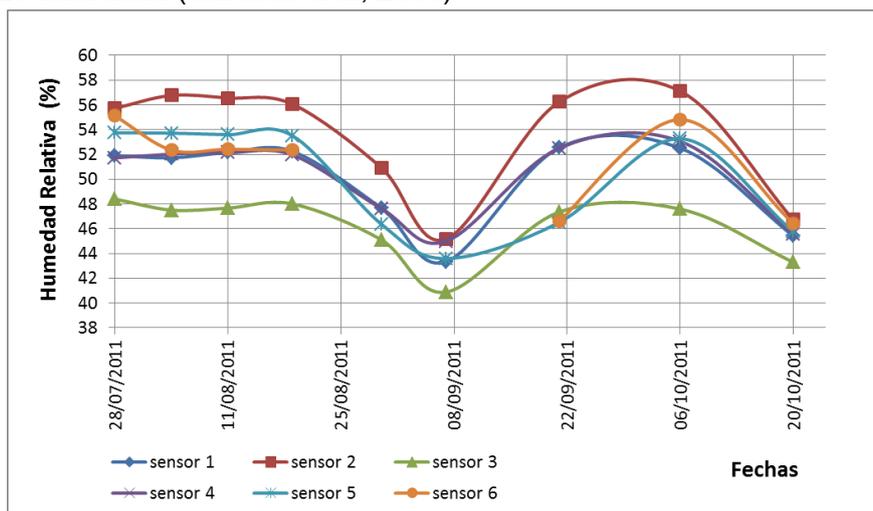


Figura 4.2.6. Evolución de la HR (%) del aire intergranario en el período de almacenamiento de la bolsa 2. Detalle del registro de cada sensor: estrato superior: sensores 2, 4, 6; estrato inferior: sensores 1, 3, 5.

La temperatura del aire intergranario siguió el patrón de la temperatura ambiente tal como lo estudiaron Bartosik et al. (2009a-b) y Abalone et al. (2011a).

No se observan d.e.s. de temperatura entre los registros de los sensores, pero aparecen leves aumentos en la parte superior de la bolsa que está más expuesta a la radiación solar, es decir los sensores 2, 4 y 6 (figura 4.2.7). Se destaca que hasta la fecha registrada (20 de octubre) aún no se produjeron elevadas temperaturas, cuestión que probablemente marcaría más diferencia entre estratos.

A principios de septiembre se produjo la primera amplitud térmica considerable (medida en 14°C) lo cual ratifica las condiciones para que se produzcan los ya citados fenómenos de condensación en la parte superior de la bolsa. De todas maneras, para que haya transferencia de humedad hacia el estrato superior no es necesario que se produzca condensación. Una amplitud térmica, aunque no sea muy marcada o considerable, puede también producir un gradiente de temperatura en la bolsa, el cual a su vez puede provocar la migración de humedad entre estratos (citar, creo que es Cardoso). Esto último se observa en la figura 4.2.8. en el punto 5 (ubicado en el estrato superior) el cual presentó un incremento de CH del grano en la condición final, aspecto que incluso coincide con la ubicación de los hongos en este punto (citado precedentemente en el ítem 4.2.3.1.1.)

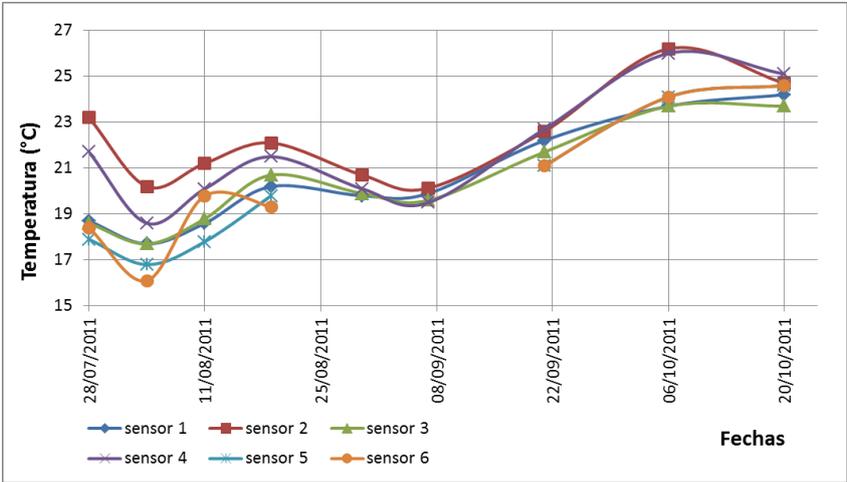


Figura 4.2.7. Evolución de la T° (°C) del aire intergranario en el período de almacenamiento de la bolsa 2. Detalle del registro de cada sensor: estrato superior: sensores 2, 4, 6; estrato inferior: sensores 1, 3, 5.

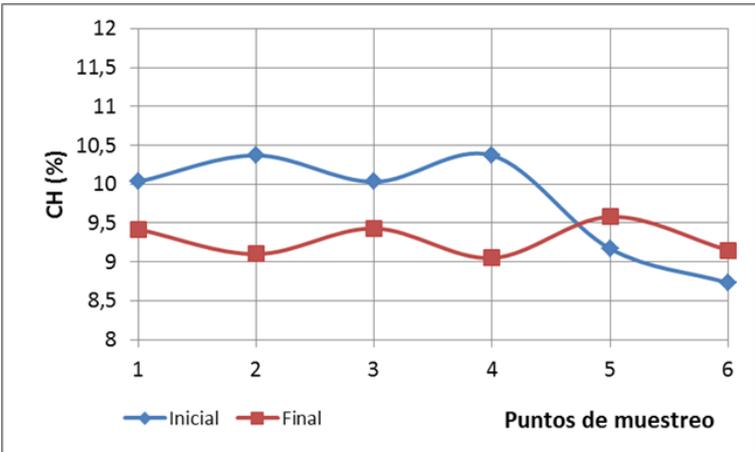


Figura 4.2.8. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.)

4.2.3.1.4. Integración de los parámetros evaluados.

De efectuar una matriz de correlación entre todos los parámetros hasta aquí expuestos surgieron dos aspectos relevantes:

El porcentaje de granos partidos mostró una importante relación con la presencia de los granos manchados ($r=0,95$ con $p<0,05$) se observa en la figura 4.2.9. Cabe destacar que la bolsa 2 contenía el mayor porcentaje de partidos promedio (4,6%) con respecto a las restantes. De hecho, la evolución de los granos manchados (figura 4.2.2.a) muestra un incremento muy acentuado a partir de los 110 días de almacenamiento (6 de octubre) (cuestión que coincide con lo evidenciado por De Simone et al. (2009) que destacaron el inicio de la pérdida de calidad a partir de dicho período)

El porcentaje de material extraño mostró una alta relación con el porcentaje de granos afectados por hongos a lo largo del período de almacenamiento ($r=0,63$ y $p<0,05$) lo cual se observa en la figura 4.2.11. La bolsa 2 presentaba el menor contenido promedio de ME (1,7%) con respecto a las demás bolsas evaluadas.

La evolución de los granos manchados por estrato se presenta en la figura 4.2.10. donde se observa cómo los mismos progresan en mayor medida en el estrato inferior, donde justamente se depositan los granos partidos.

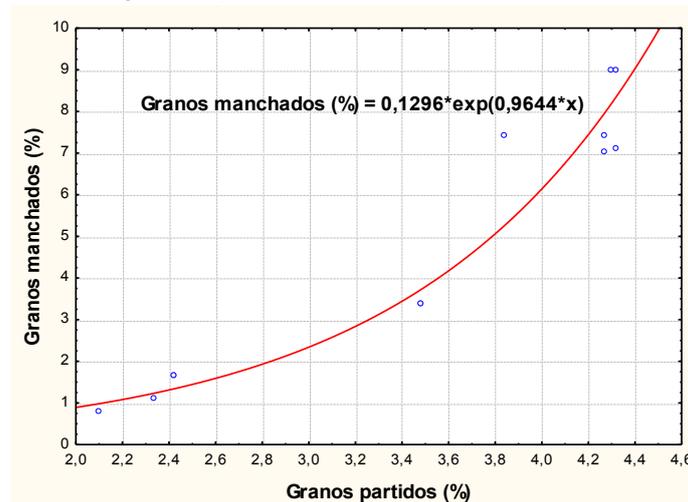


Figura 4.2.9. Correlación entre el porcentaje de granos manchados y el porcentaje de granos partidos presentes en la bolsa 2 a lo largo del período de almacenamiento.

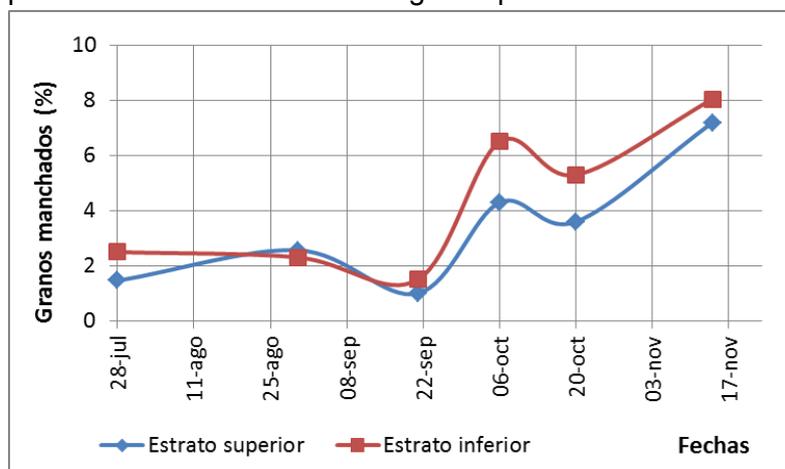


Figura 4.2.10. Porcentaje de granos manchados (%) en los estratos superior e inferior de la bolsa 2.

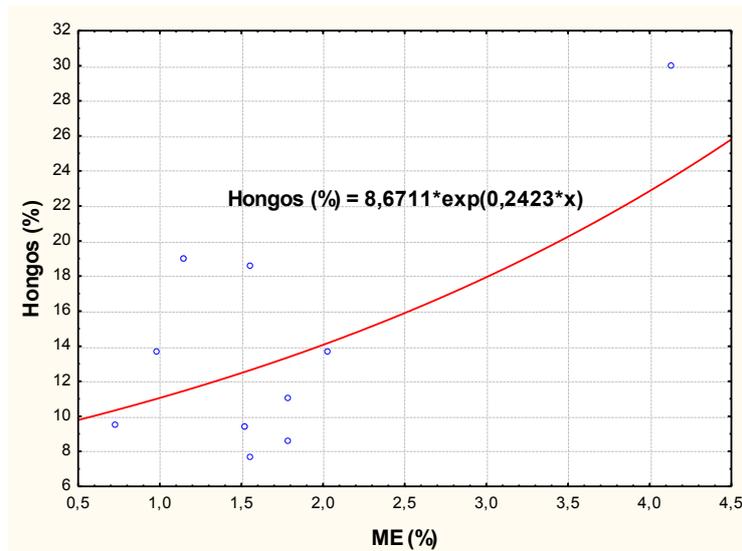


Figura 4.2.11. Correlación entre el porcentaje de granos afectados por hongos y el porcentaje de ME presente en la bolsa 2 a lo largo del período de almacenamiento.

En el mismo análisis surge que los parámetros ME y granos partidos no presentan relación entre sí ($r=-0,16$ y $p>0,05$). A partir de esto, podría considerarse la situación de que ambos actúen complementándose y presenten sinergia, aspecto que será profundizado al término del análisis puntual de cada bolsa (ítem 4.2.4.).

A pesar de estos aspectos y de que además se produce la estratificación de la HR y el incremento de la T° del aire intergranario, el comportamiento de los microorganismos en esta bolsa no fue perjudicial, se produjo la reducción de la presencia de hongos y las bacterias no aumentaron sustancialmente. Esto se evidencia como el menor porcentaje promedio de granos manchados en el tiempo de almacenamiento (3,87%) respecto de las demás bolsas.

Si a ello se agrega el hecho que esta bolsa posee el menor contenido promedio de material extraño se puede decir entonces que se trata de una bolsa limpia que partió de una condición inicial buena con respecto a la presencia de microorganismos. La evolución de la concentración de CO_2 completa el análisis, donde claramente se observan valores inferiores a la tolerancia que no indican un incremento en la actividad microbiológica (figura 4.2.12.) en 124 días de almacenamiento dicha concentración se incrementó en promedio 1,59%. Esto también evidencia cómo se mantuvo la integridad física de la bolsa en el periodo de almacenamiento, no hay indicios de roturas ni de ingreso de humedad que favorezca la actividad biológica.

En este caso el único aspecto que podía considerarse de riesgo fue su alto contenido de granos partidos, el cual no fue suficiente para reducir la calidad comercial por incremento de granos manchados. Dicho incremento se profundizó recién a los 110 días de almacenamiento.

En el granel no se generaron condiciones favorables de HR para el desarrollo perjudicial de microorganismos.

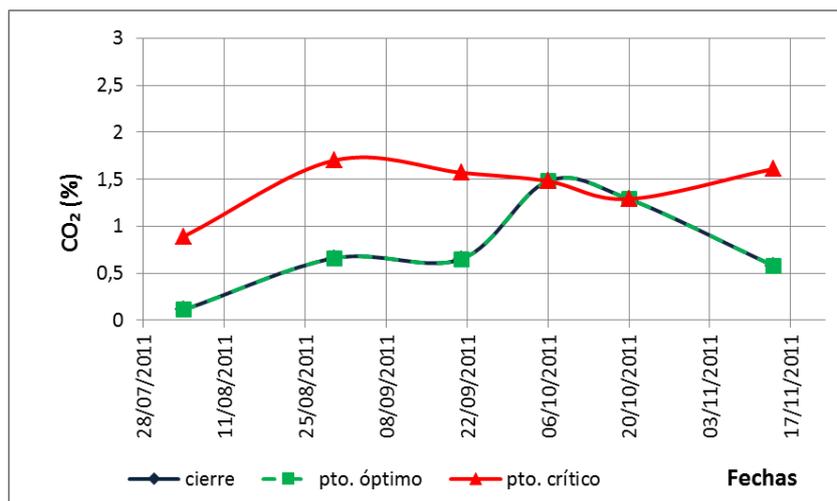


Figura 4.2.12. Registros de [CO₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 2.

4.2.3.2. Bolsa 5.

La tabla 4.2.5. muestra las condiciones iniciales y finales de calidad de la bolsa 5.

Tabla 4.2.5. Características compositivas del granel de la bolsa 5 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.

Bolsa	5	
Condición	Inicial	Final
CH (%)	10,48	10,15
ME (%)	1,9	1,9
Granos partidos (%)	2,6	2,6
Granos manchados (%)	6,19	6,86
Tiempo de almacenamiento (días)	74	

4.2.3.2.1. Hongos.

Al efectuar un ANOVA no se observan d.e.s. entre la condición inicial y la final, ni entre puntos de muestreo, con valores de $p > 0,05$. La actividad fúngica prácticamente se mantiene constante con una diferencia de 0,55% entre condiciones (figura 4.2.13.a). En este caso se puede inferir, teniendo en cuenta el CH del grano (el cual no superó el 10,5% en el período de almacenamiento) y si se contempla la curva de CHE elaborada para la variedad de poroto blanco alubia Paloma INTA por De Simone (1998) (ver capítulo II – ítem 2.4.2) que la HR del aire intergranario fue menor a 70%. Esta última fue suficiente para limitar el desarrollo microbiano (Giner (1994) y Bartosik & Abadía (2013)).

La distribución de los hongos en el granel (figura 4.2.13.b) es muy semejante en los puntos 1, 2, 3 y 4, mientras que los puntos 5 y 6 (crítico arriba y abajo, respectivamente) evidencian un leve incremento puntualizado en el sector superior de la bolsa (punto 5) que puede

atribuirse a fenómenos de condensación ya estudiados por Cardoso et al. (2009) y que de hecho coinciden con el incremento del CH de los granos en ese punto (ver figura 4.2.15). En el sector basal (punto 6) la situación es revertida hacia el final del período de almacenamiento (figura 4.2.14) comportamiento también evidenciado en el CH de los granos (figura 4.2.15. punto 6).

En este caso se distingue la acumulación de los hongos justamente en el sector de la bolsa que presenta la máxima concentración de dióxido de carbono medida (figura 4.2.18.) lo cual coincide con lo estudiado por Bartosik et al. (2009a-b) que establecen como indicador de la actividad microbiológica a la concentración del gas.

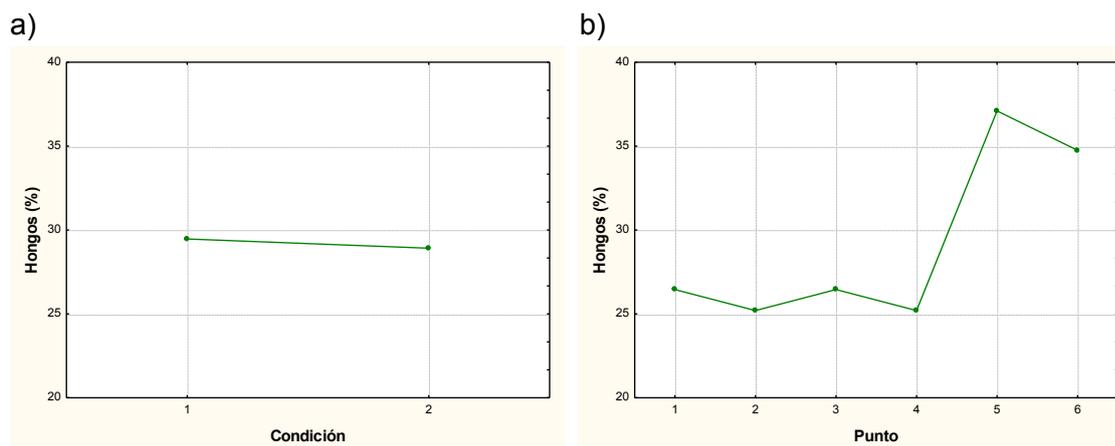


Figura 4.2.13. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedios entre las condiciones.

La presencia de los hongos en esta bolsa ronda el 20% de afección a lo largo del período de almacenamiento, tal como lo muestra la figura 4.2.14.

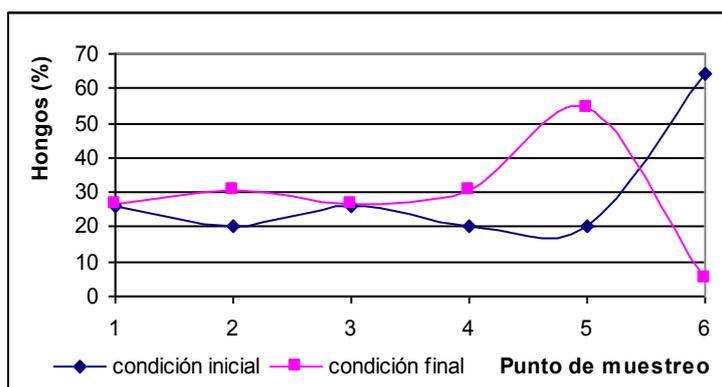


Figura 4.2.14. Distribución de los hongos dentro del granel en la condición inicial y final.

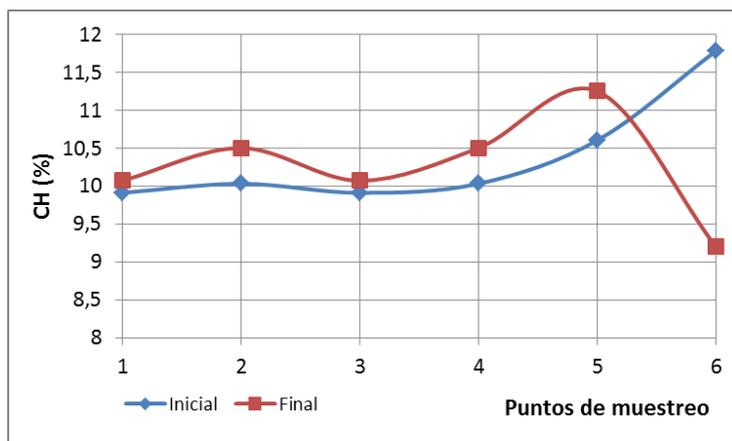


Figura 4.2.15. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.

4.2.3.2.2. Bacterias.

El ANOVA efectuado para comparar la afección de los granos con bacterias en la condición inicial y final, y los distintos puntos de muestreo no evidencia d.e.s. en ningún caso, el valor de $p > 0,05$. Pero se evidencia una tendencia creciente en el desarrollo de bacterias aisladas en laboratorio hacia el final del período de almacenaje (figura 4.2.16.a). En la condición final no se registraron más de 50 UFC pero todas las bacterias aisladas presentaron patogenicidad (+) cuestión que no se encontraba en la condición inicial, probablemente debido al incremento de la T° hacia la primavera.

En el análisis de los puntos de muestreo se evidencia la concentración de las bacterias en el sector superior de la bolsa (puntos 1, 3 y 5) (figura 4.2.16.b) aspecto coincidente con lo observado en el comportamiento de los hongos en el punto crítico (puntos 5 y 6).

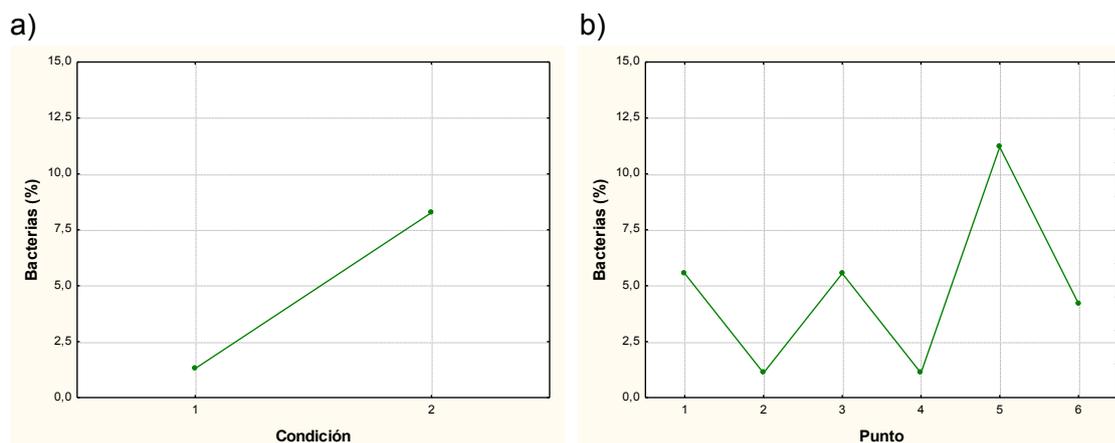


Figura 4.2.16. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.

Cuando se efectúa la correlación entre la proporción de granos afectados por hongos y bacterias se evidencia una la relación considerable con un $r = 0,68$ y $p < 0,05$.

4.2.3.2.3. Integración de los parámetros evaluados.

Se observó que la presencia de los hongos no mostraba diferencias a lo largo del periodo de almacenamiento, esto puede relacionarse con la evolución en el tiempo del contenido de humedad de los granos el cual no muestra cambios sustanciales, de hecho la correlación entre ambos parámetros presenta un valor de $r=0,74$ con $p<0,05$ y se muestra en la figura 4.2.17

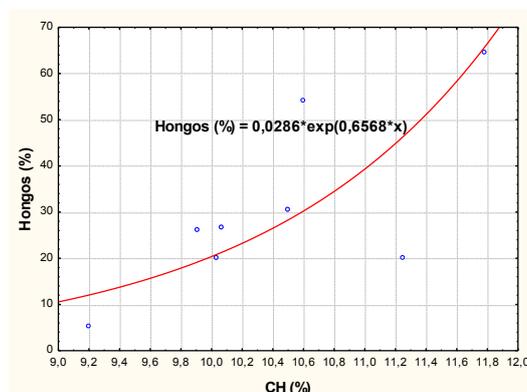


Figura 4.2.17. Correlación entre el porcentaje de granos afectados por hongos y el CH de los granos (%).

Por otra parte, esta bolsa ocupa el tercer lugar en cuanto al contenido de granos manchados iniciales (6,19%) el cual a su vez muestra un leve incremento (figura 4.2.2.b). Se puede considerar su condición inicial como limitante o inadecuada, es decir que posee un grado de deterioro considerable, evidenciado como granos manchados.

Las correlaciones entre el resto de los parámetros evaluados (excluidos hongos (%) vs. CH (%)) no evidencian relaciones estadísticamente significativas, aunque se observa un aspecto que puede contribuir a explicar el incremento del manchado hacia la condición final: la relación entre CO_2 (%) y granos manchados (%) presenta un valor $r=0,51$ ($p>0,05$) y la relación entre CO_2 (%) y granos afectados por bacterias (%) un $r=0,51$ ($p<0,51$). Si bien estos valores de r son bajos con $p>0,05$, superan ampliamente a los valores de r restantes obtenidos. Lo cual indica que la mayor parte de la concentración de CO_2 resultante es explicada en gran parte por la actividad biológica, en este caso por la acción de las bacterias, que incluso se evidencia como manchado de los granos, tal como se evidenció en el ensayo complementario de laboratorio.

Si se analiza el comportamiento del dióxido de carbono (figura 4.2.18.) se observa que el mismo alcanza un valor de 4,24%, próximo al límite de riesgo (5%) el 21 de setiembre, donde por cuestiones comerciales la bolsa fue desarmada (a los 74 días de almacenamiento). De haber continuado el almacenamiento en estas condiciones hacia los meses más cálidos del año, por aumento de la T° se hubiera incrementado la actividad biológica y con ella el manchado de los granos. Esto también produciría el aumento de la producción de CO_2 en correspondencia con lo estudiado por Abalone et al. (2011b) quienes encontraron una clara relación entre la concentración del gas y la temperatura. Estos aspectos explicarían también por qué las bacterias evidenciaron patogenicidad (+) en la condición final de almacenamiento.

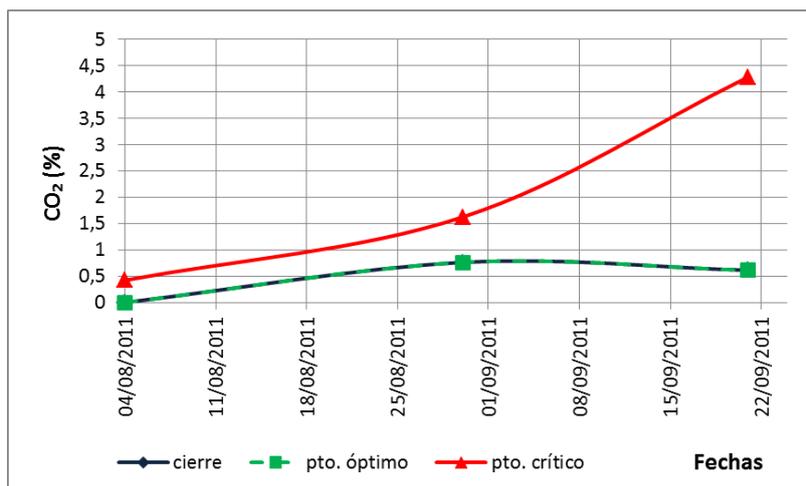


Figura 4.2.18. Registros de [CO₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 5.

Esta bolsa, dentro de la caracterización es la que posee el menor contenido promedio de granos partidos (2,6%) y uno de los más bajos contenidos promedio de ME (1,9%) ambos por debajo de la tolerancia establecida para la comercialización. Estos parámetros mostraron una distribución pareja dentro del granel con diferencias mínimas entre estrato superior e inferior (0% a 1%). Además esta bolsa presentó un CH promedio relativamente bajo (10,16%). En este caso el incremento de granos manchados (figura 4.2.2.b) y la consiguiente actividad sobre todo de las bacterias puede deberse a su mala condición inicial caracterizada por un alto contenido de los mismos.

Al igual que en la bolsa 2 no se observa una relación importante entre ME (%) y granos partidos (%) la misma evidencia un valor $r=-0,30$ y $p>0,05$.

4.2.3.3. Bolsa 7.

La tabla 4.2.6. muestra las condiciones iniciales y finales de calidad de la bolsa 7.

Tabla 4.2.6. Características compositivas del granel de la bolsa 7 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.

Bolsa	7	
Condición	Inicial	Final
CH (%)	9,7	10,4
ME (%)	2	2
Granos partidos (%)	2,8	2,8
Granos manchados (%)	4,7	10,1
Tiempo de almacenamiento (días)	62	

4.2.3.3.1. Hongos.

Se evidencian d.e.s. para la presencia de hongos entre la condición inicial y la final con $p < 0,05$, mientras que no ocurre lo mismo entre puntos de muestreo (figura 4.2.19.).

Esta bolsa muestra la reducción de su actividad fúngica en el período de almacenamiento medida en 22,65 puntos porcentuales hacia el final del mismo, lo cual puede atribuirse a la HR del aire intergranario, la cual se puede inferir, teniendo en cuenta la curva de HRE ya considerada en el análisis de la bolsa 5, no superó el 70% en relación al CH del grano el cual en todo el período de almacenamiento se mantuvo por debajo de 10,5%. Con estas condiciones se limita el desarrollo microbiano (Giner (1994) y Abadía & Bartosik (2013)).

Las bolsas 2 y 11 también presentan esta situación, aunque en ellas la reducción es menor. Del análisis de los puntos de muestreo (figura 4.2.19. b) surge un patrón de distribución de los hongos en el sector superior de la bolsa (puntos 1 y 3) salvo en el punto crítico donde los mismos tienden a concentrarse en parte basal de la bolsa (punto 6). En el primer caso puede obedecer a fenómenos de condensación tal como lo evidenciaron Cardoso et al. (2009) y que coincide con valores de CH del grano levemente superiores en dichos puntos (ver figura 4.2.20). En el segundo caso puede deberse a la estratificación del material fino en la parte basal de la bolsa (el contenido de ME supera la tolerancia) aspecto también estudiado por Cardoso et al. (2009). De hecho en el estrato superior se registró un valor promedio de ME de 4%, mientras que en el estrato inferior el valor promedio alcanzó el 5,5%,

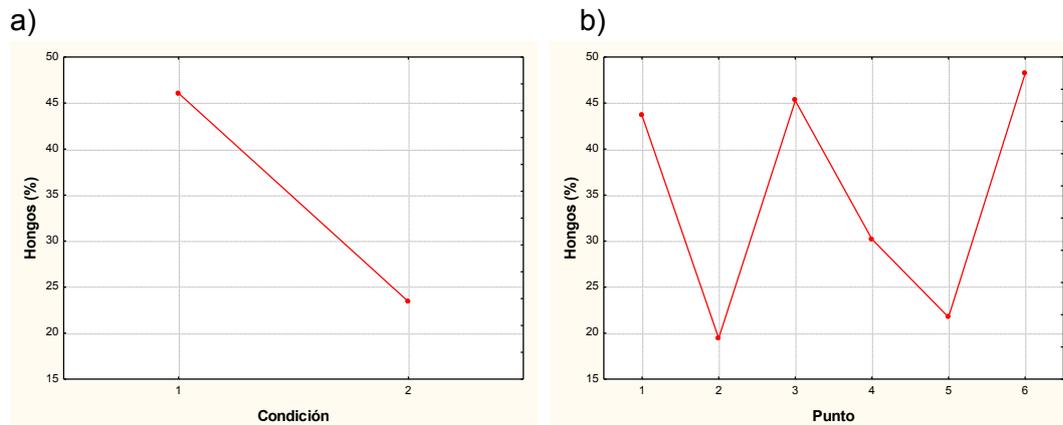


Figura 4.2.19. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.

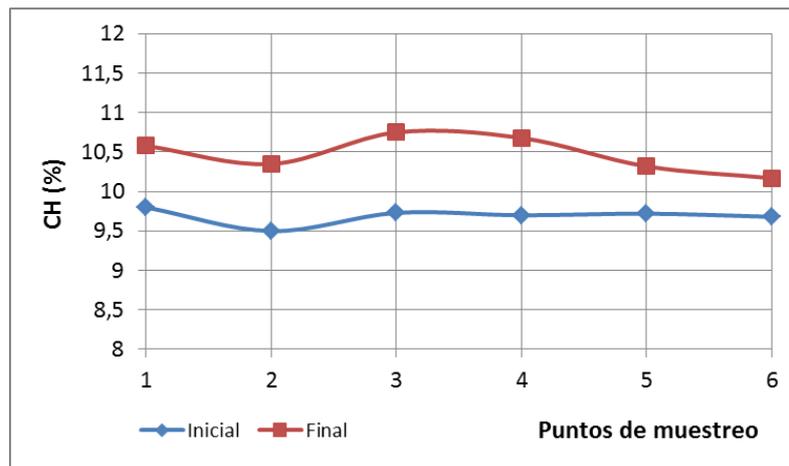


Figura 4.2.20. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.

4.2.3.3.2. Bacterias.

Se observan d.e.s. entre la condición inicial y la final ($p < 0,05$) para la afección con bacterias, aunque no entre puntos de muestreo (figura 4.2.21.). Se evidencia un claro descenso de la presencia de las mismas hacia el final del período de almacenamiento. Dicha presencia se reduce prácticamente a cero (0%) debido a que se trata de bacterias aeróbicas. Se observa esto tanto en blotter test como en el medio específico para *Xanthomonas sp*, donde incluso se registra patogenicidad negativa (-). Del análisis de cada punto (figura 4.2.21. b) se observa una tendencia de las bacterias a concentrarse en el sector superior de la bolsa (puntos 1, 3 y 5).

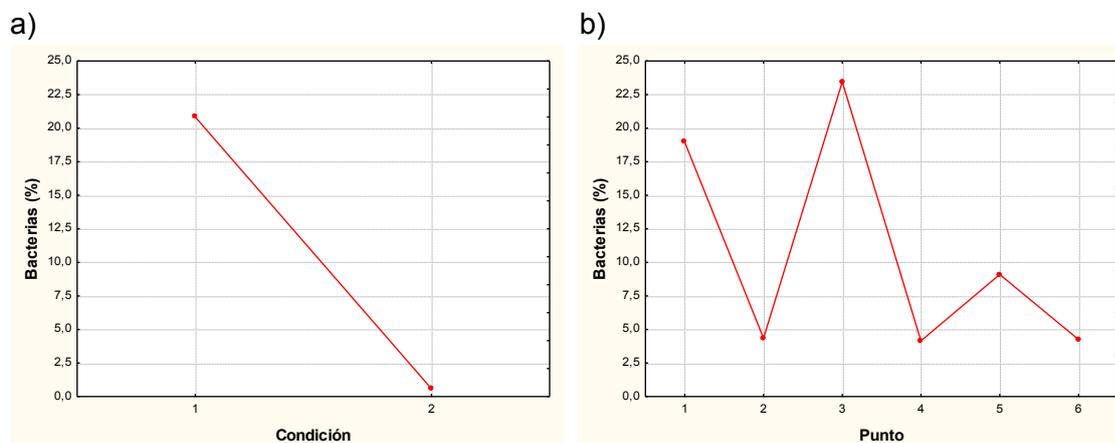


Figura 4.2.21. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.

4.2.3.3.3. Integración de los parámetros evaluados.

En cuanto a la categorización de las bolsas evaluadas (tabla 4.2.1) la bolsa 7 es la que presenta el mayor contenido promedio de granos manchados (ver tabla 4.2.1) un contenido promedio de ME intermedio y bajo contenido de granos partidos (se encuentra por debajo de

la tolerancia de 3%). Cuando se analiza la evolución en el tiempo del CH, el mismo muestra una tendencia creciente hacia el final del período de almacenamiento (figuras 4.2.1. y 4.2.20). La misma situación se observa en la proporción de granos manchados (figura 4.2.2.c). Al correlacionar estos parámetros entre sí surge una relación con $r= 0,65$ y $p<0,05$. Esto explica en cierta medida cómo acompaña la evolución de los granos manchados a la evolución del CH (figura 4.2.22)

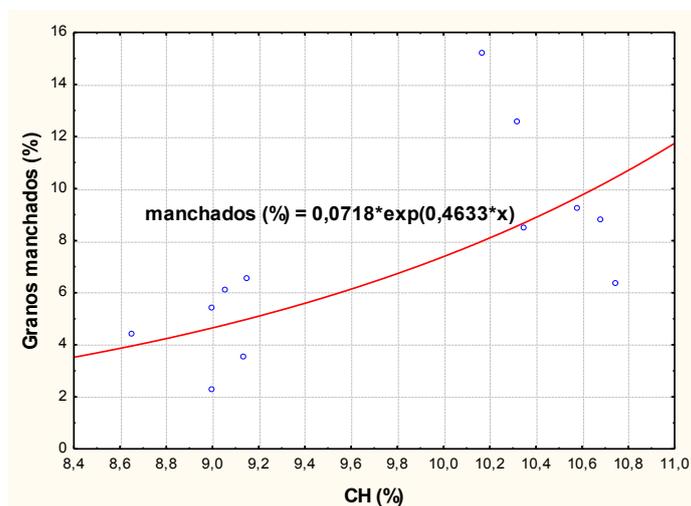


Figura 4.2.22. Relación entre la proporción de granos manchados y el CH de los granos (%).

A pesar de que la bolsa mejora su condición en cuanto a los hongos y bacterias, hay incremento en la proporción de granos manchados (ver figura 4.2.2.c), el cual está relacionado con un incremento en el CH de los granos (figura 4.2.20).

Si bien llega a reducir la presencia de bacterias cercana a cero, los hongos alcanzan en la condición final un 20% de afección. Es decir, no es suficiente la reducción de la presencia de hongos para evitar que el manchado de los granos siga evolucionando, aspecto que será abordado al concluir el análisis puntual de las bolsas cuando se analice la interacción entre ME y granos partidos (ítem 4.2.4).

Estos aspectos coinciden con la bibliografía (Bartosik et al., 2009, Cardoso et al., 2009, De Simone et al., (2009) y De Simone & Godoy (2009) que hace hincapié en el hecho que durante el período de almacenamiento no es posible mejorar la calidad del grano lograda en la cosecha, y que el objetivo de la poscosecha es minimizar las pérdidas.

La figura 4.2.2.c muestra cómo la bolsa 7 alcanza el mayor valor de granos manchados promedio al final del almacenamiento, incluso el 21 de setiembre, donde aún no se alcanzan las temperaturas extremas características de la estación más cálida del año.

Cuando se correlaciona el porcentaje de granos manchados y la concentración de CO_2 , surge que ambos presentan una alta relación ($r=0,72$ con $p<0,05$) hecho que coincide con lo expresado con anterioridad, donde se muestra a la concentración del gas como indicador de la actividad microbiológica (coincide con Bartosik et al., 2009a). A pesar de todo lo expuesto, los valores de CO_2 se mantienen en todo el tiempo de almacenaje por debajo de la tolerancia de riesgo (5%) (figura 4.2.23) lo cual puede ser atribuido al tiempo relativamente corto de almacenamiento (62 días) o a que la bolsa no sufrió daños físicos que favorezcan la entrada de agua por roturas. En 62 días de almacenamiento la concentración de CO_2 se

incrementó en 1,23% promedio. De todas las bolsas es la que presentó el menor incremento en este sentido.

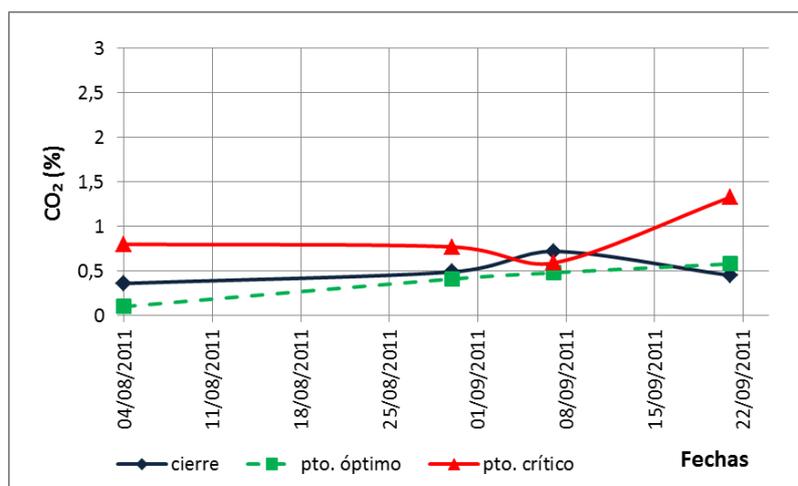


Figura 4.2.23. Registros de [CO₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 7.

4.2.3.4. Bolsa 9.

La tabla 4.2.7. muestra las condiciones iniciales y finales de calidad de la bolsa 9.

Tabla 4.2.7. Características compositivas del granel de la bolsa 9 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.

Bolsa	9	
	Inicial	Final
CH (%)	12,2	12,5
ME (%)	2,3	2,3
Granos partidos (%)	4,2	4,2
Granos manchados (%)	3,1	5,3
Tiempo de almacenamiento (días)	105	

4.2.3.4.1. Hongos.

Se observan d.e.s. para la afección de los granos con hongos entre condiciones con $p < 0,05$ pero no entre puntos de muestreo (figura 4.2.24.).

Esta bolsa evidencia un cambio negativo, es decir empeora su condición con respecto a la presencia y el desarrollo de hongos, el cual se incrementa sustancialmente (en 50,23 puntos porcentuales) y alcanza un valor de 55,72% de afectación promedio. Esto puede atribuirse al alto CH de los granos, el cual fue elevado en todo el período de almacenamiento (figura 4.2.1.) y alcanzó valores superiores a 12% en la condición final (figura 4.2.25). Esto sumado a las temperaturas registradas en los granos (32,5°C en octubre promedio de los puntos de muestreo para el estrato superior, ver figura 26) permite inferir que se generó una HR de

equilibrio lo suficientemente alta para favorecer el desarrollo microbiano. Esta aproximación se considera teniendo en cuenta la curva de CHE desarrollada por De Simone (1998) para la variedad de poroto blanco alubia Paloma INTA para 25°C (ver Capítulo II - ítem 2.4.2.). Temperaturas mayores harían desplazar dicha curva hacia abajo, entrando en la zona de *aw* insegura (Giner, 1994) (Bartosik & Abadía, 2013). Asimismo, la atmósfera generada no fue lo suficientemente alta para limitar el desarrollo de microorganismos (ver figura 4.2.32.). En la condición inicial los hongos afectan menos del 10% de la muestra y su distribución es bastante pareja en todos los puntos, la situación se agravó hacia el final del almacenamiento. Allí, los hongos tienden a acumularse en la base de la bolsa (puntos 2 y 4).

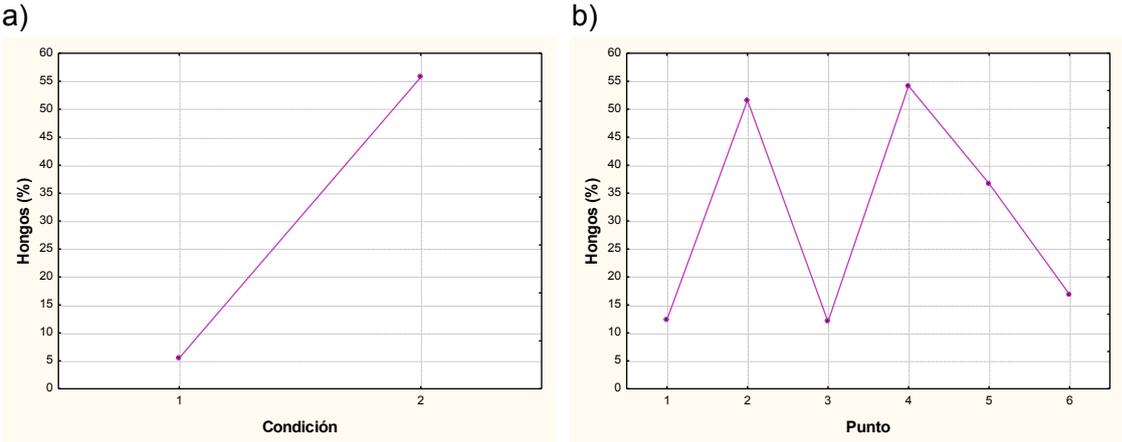


Figura 4.2.24. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio entre las condiciones.

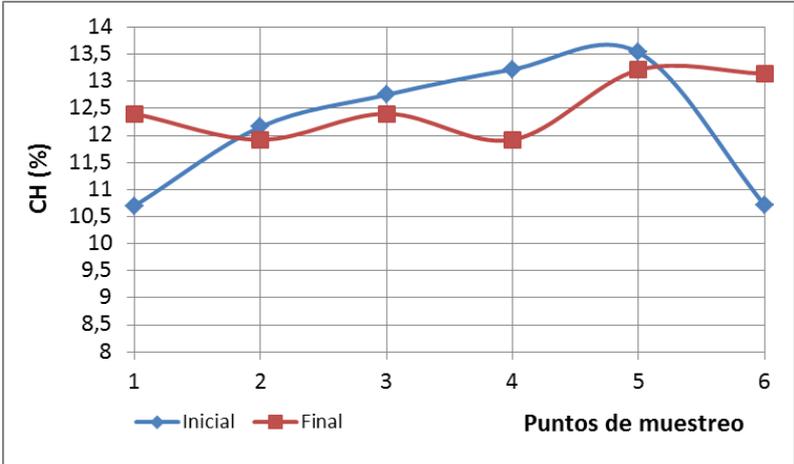


Figura 4.2.25. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.

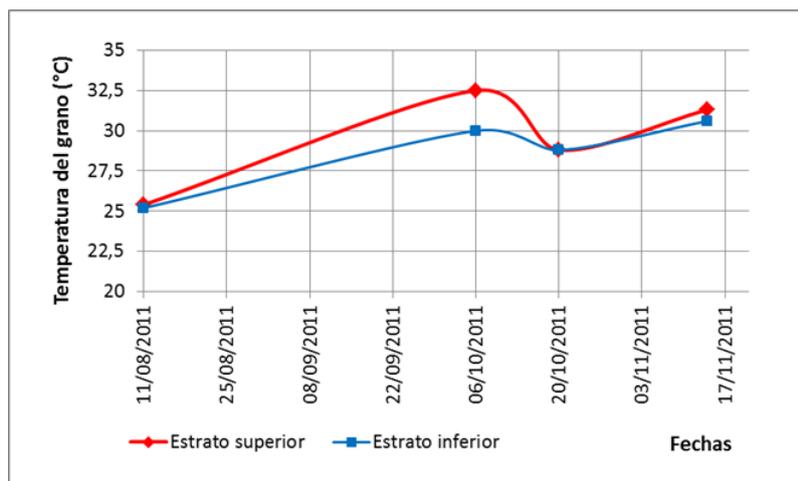


Figura 4.2.26. Temperatura (°C) de los granos a lo largo del período de almacenamiento, en los estratos superior e inferior.

4.2.3.4.2. Bacterias.

No se observan d.e.s. para la afección de granos con bacterias entre condiciones ni puntos de muestreo ($p > 0,05$) pero aparecen tendencias en el comportamiento de las mismas (figura 4.2.27.). Se observa un incremento hacia el final del período de almacenamiento y la concentración de las mismas (cuando están presentes) en la base de la bolsa, al igual que lo evidenciado en el caso de los hongos.

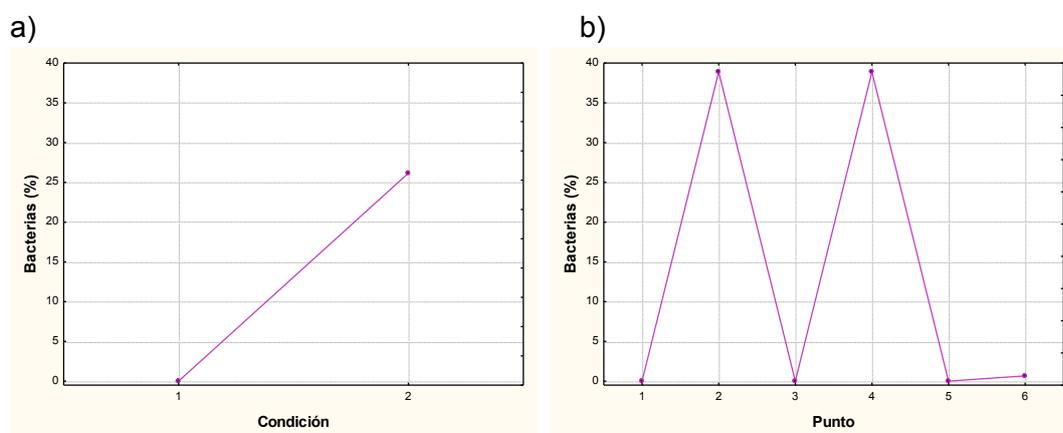


Figura 4.2.27. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio entre las condiciones

4.2.3.4.3. Integración de los parámetros evaluados.

Al efectuar la correlación entre granos manchados (%) y la presencia de hongos (%) (figura 4.2.28.) en el período de almacenamiento, se observa un valor $r=0,68$ con $p < 0,05$, lo cual indica que estos factores están fuertemente relacionados entre sí y coincide con lo observado en el ensayo de laboratorio. La misma relación entre estos dos parámetros ($r=0,68$) se presenta ya de partida en la condición inicial. La figura 4.2.2.d. muestra la evolución de los granos manchados en el tiempo y su tendencia creciente.

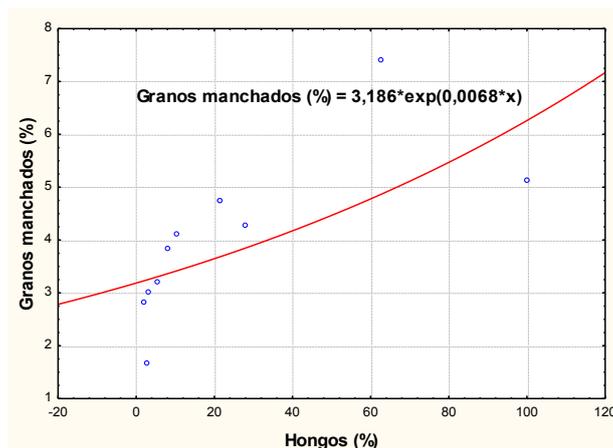


Figura 4.2.28. Granos manchados (%) en relación al porcentaje de granos afectados por hongos (%) en el tiempo de almacenamiento.

Cabe destacar que la bolsa 9 ocupa dentro de la categorización efectuada (ver tabla 4.2.1.) el segundo lugar en importancia en cuanto al contenido promedio de ME y granos partidos (en ambos casos supera la tolerancia). De acuerdo con la bibliografía (Cardoso et al., 2009 y Abadía y Bartosik, 2013) estos componentes del granel forman parte del material fino, que está ubicado en la base de la bolsa, donde alcanzó un valor promedio de 4,6%, mientras que en el estrato superior llegó a 2,4% en promedio. Esto permite explicar la ubicación de hongos y bacterias en el sector basal.

Dentro de dicha categorización, también resulta que la bolsa 9 posee el mayor CH del grano, con un promedio de 12,23%, y que incluso muestra en promedio una tendencia creciente a lo largo del período de almacenamiento (figuras 4.2.1. y 4.2.29.) aunque sin d.e.s. ($p > 0,05$)

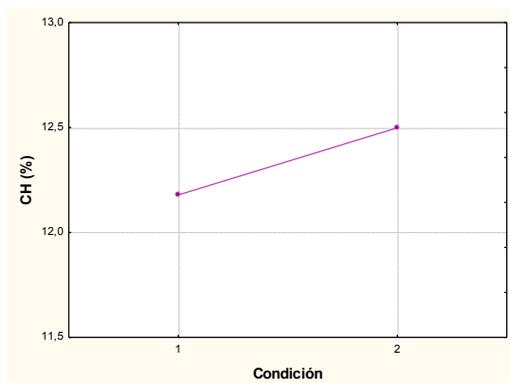


Figura 4.2.29. Comportamiento de CH (%) en la condición inicial (1) y la final (2)

Si se observa la distribución de la humedad promedio del grano en los distintos puntos evaluados, la misma sigue el mismo patrón en la condición inicial y en la final, lo cual coincide con el estudio realizado por Cardoso et al. (2009) donde se evidenció que la humedad no cambia en el tiempo de almacenamiento.

El mayor valor de CH se registra en el punto crítico (punto 5) (figura 4.2.25). Pero en promedio el CH aumenta, al igual que los granos manchados, tal como lo muestra la figura 4.2.30.

Al efectuar la correlación entre granos manchados (%) y el CH (%) surge un valor $r=0,61$ pero con $p>0,05$.

Por otra parte se evidencia una alta correlación entre el porcentaje de granos manchados y el porcentaje de granos partidos en el período de almacenamiento (figura 4.2.31.a) que alcanza un valor $r=0,66$ con $p<0,05$. Asimismo, la relación entre el porcentaje de granos afectados por hongos y el porcentaje de granos partidos es muy importante, $r=0,83$ y $p<0,05$ (figura 4.2.31.b).

Entonces, la presencia de hongos se relaciona con el manchado de los granos y con la presencia de granos partidos. Esta última, a su vez, muestra también una marcada relación con el manchado.

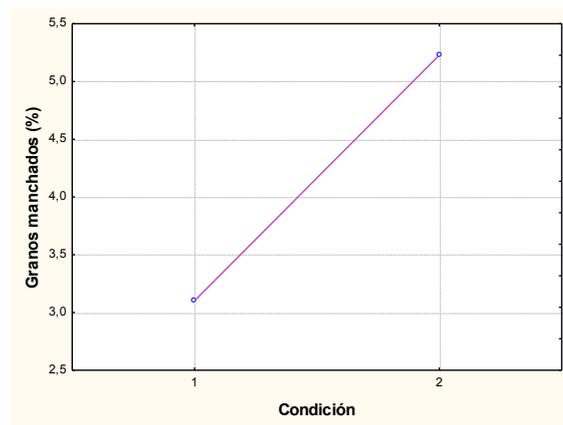


Figura 4.2.30. Comportamiento de los granos manchados (%) en la condición inicial (1) y final (2).

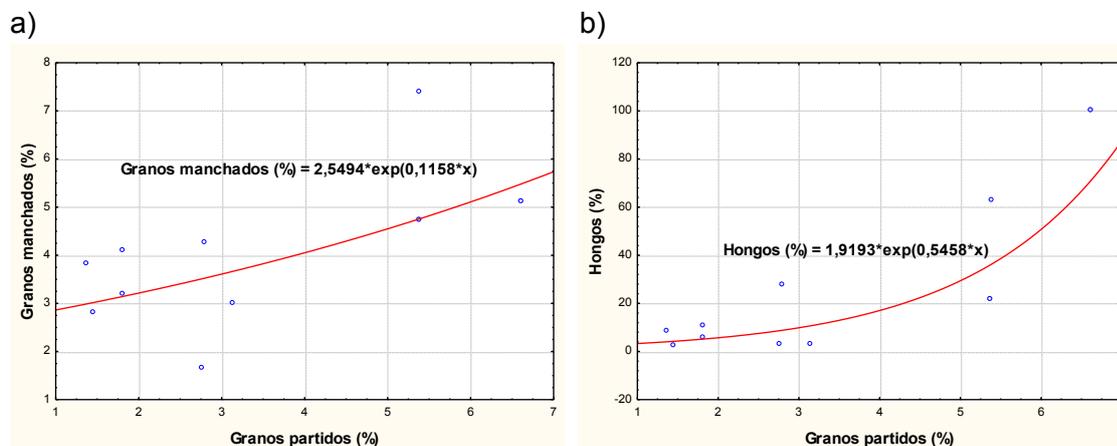


Figura 4.2.31. Correlación entre a) el porcentaje de granos manchados y el porcentaje de granos partidos, b) el porcentaje de granos afectados por hongos y el porcentaje de granos partidos.

Se puede estimar de ello que el contenido de partidos favorece el desarrollo de hongos y estos provocan el manchado de los granos.

Si se analiza la correlación de la concentración de CO_2 en el período de almacenamiento con los demás parámetros surgen relaciones relevantes solamente con la proporción de granos manchados y el CH de los granos, si bien no son estadísticamente significativas ($p>0,05$) permiten estimar a qué obedece en este caso la evolución de la concentración del gas, la cual se incrementó en 105 días de almacenamiento en promedio 2,56% (figura 4.2.32).

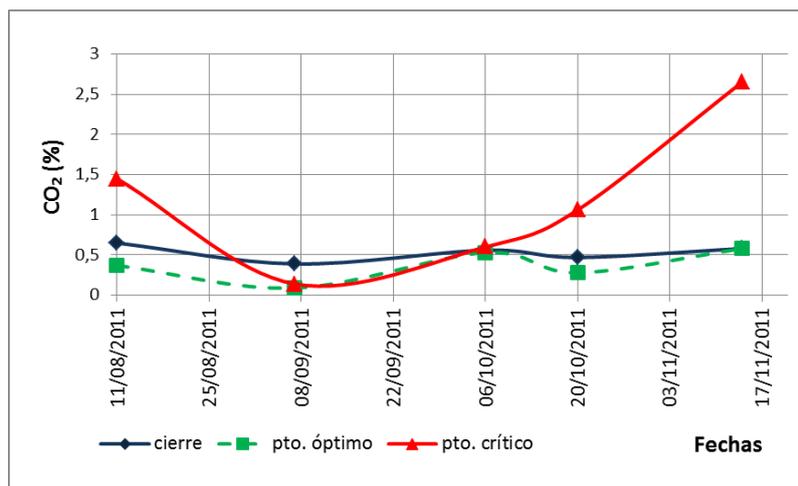


Figura 4.2.32. Registros de [CO₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 9.

La correlación entre granos partidos (%) y ME (%) es muy baja, tal como se evidenció en las bolsas previamente analizadas ($r=0,04$ y $p>0,05$).

Se demostró que el manchado está muy relacionado con la presencia y el desarrollo de hongos y que los mismos obedecen a un patrón de distribución del material fino.

El hecho de que esta bolsa presente el mayor CH inicial del grano y que incluso se incremente hacia el final del período de almacenamiento favorecería la actividad microbiológica por generar una HR suficiente para su desarrollo. El elevado CH sumaría al efecto de los granos partidos, cuestión que será tratada al culminar el análisis puntual por bolsa (ítem 4.2.4.).

En definitiva, su condición de elevado CH derivó en la peor condición final del ensayo, lo cual coincide con Bartosik et al. (2009) y Abalone et al. (2011a-b) quienes evidenciaron un efecto negativo en la calidad del grano almacenado con mayores CH, incluso en poroto blanco alubia, y para tiempos de almacenamiento semejantes, aspecto estudiado por De Simone et al. (2009a).

4.2.3.5. Bolsa 11.

La tabla 4.2.8. muestra las condiciones iniciales y finales de calidad de la bolsa 11.

Tabla 4.2.8. Características compositivas del granel de la bolsa 11 (condición inicial y final) y su tiempo de almacenamiento.

Bolsa	11	
Condición	Inicial	Final
CH (%)	9,9	9,5
ME (%)	2,7	2,7
Granos partidos (%)	3,8	3,8
Granos manchados (%)	6,45	7,8
Tiempo de almacenamiento (días)	120	

4.2.3.5.1. Hongos.

No se observan para la afección de granos con hongos d.e.s. entre condiciones ni entre puntos de muestreo ($p>0,05$) (figura 4.2.33). Aun así aparece una tendencia decreciente de la proporción de los mismos hacia el final del período de almacenamiento. Esto evidencia el control de los mismos por el bajo CH de los granos, el cual según la CHE considerada también para el análisis de las bolsas 5, 7 y 9 (Capítulo II, ítem 2.4.2. - De Simone, 1998) generaría una HR inferior a 70%. Dicho CH se evidencia en la figura 4.2.34. donde en la condición final ronda el 9,5%.

Cuando se analizan los puntos de muestreo se evidencia la concentración de los hongos en el sector superior de la bolsa muy marcado en el punto crítico (punto 5) (figura 4.2.33.b) aunque el CH de los granos no muestra un incremento marcado (figura 4.2.34)

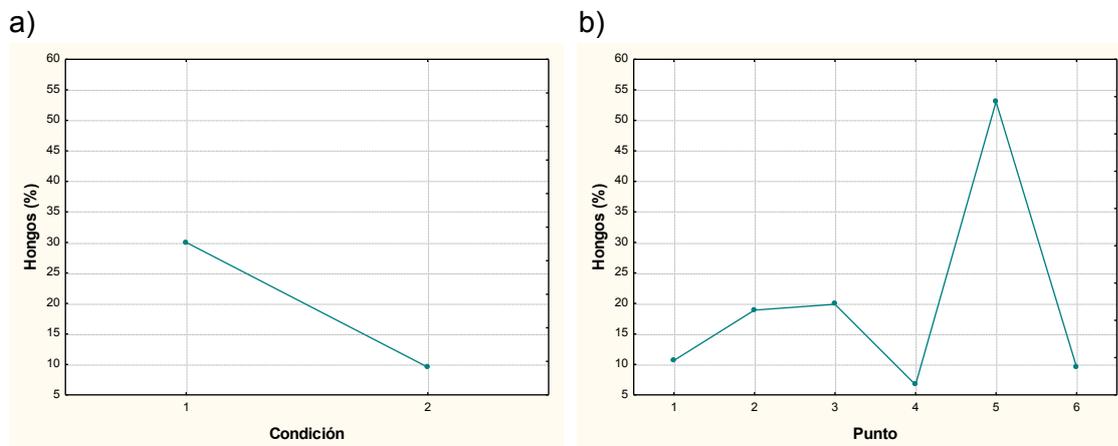


Figura 4.2.33. a) Granos afectados por hongos (%) en la condición inicial (1) y la final (2) – promedio de todos los puntos de muestreo; b) Porcentaje de granos afectados por hongos en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.

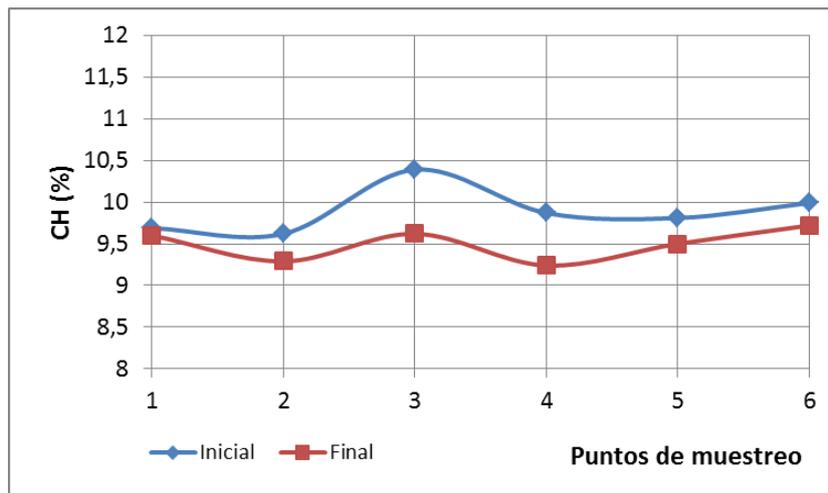


Figura 4.2.34. CH (%) del grano en la condición inicial y la condición final para cada punto de muestreo: estrato superior: puntos 1, 3, 5; estrato inferior: puntos 2, 4, 6.

4.2.3.5.2. Bacterias.

No se observan d.e.s. para la presencia de bacterias entre condiciones ni entre puntos de muestreo ($p>0,05$). La evolución del desarrollo de las bacterias muestra una tendencia creciente hacia el final del período de almacenamiento (figura 4.2.35.a). La ubicación de las bacterias en el granel sigue un patrón irregular, ya que en el cierre (punto 2) se concentran en la parte inferior de la bolsa y en el punto crítico en la parte superior (punto 5) (figura 4.2.35.b). En el primer caso puede estar condicionado por la estratificación del material fino en la base de la bolsa, ya que se registró un valor promedio de 7,9% de ME y granos partidos en el estrato inferior vs. 5,2% promedio en el estrato superior. En el segundo caso puede obedecer a los ya citados fenómenos de condensación.

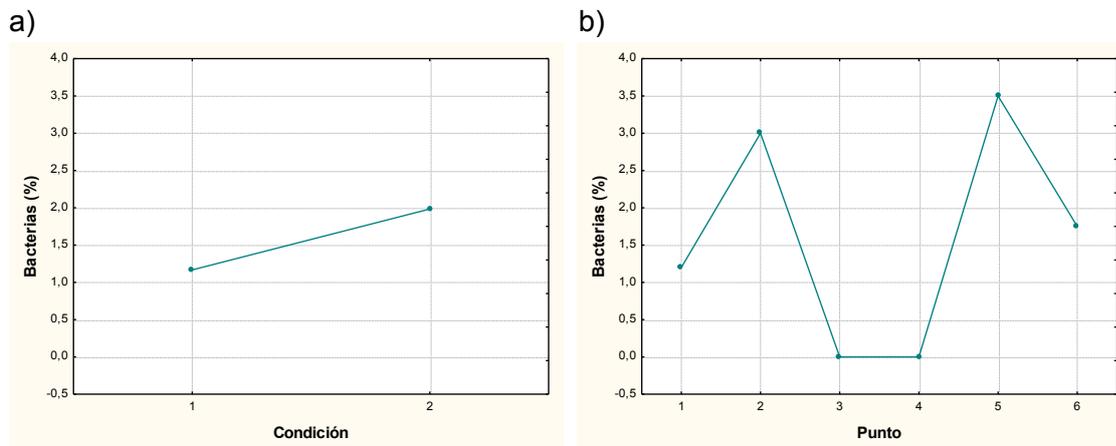


Figura 4.2.35. a) Granos afectados por bacterias (%) en la condición inicial (1) y la final (2) b) Porcentaje de granos afectados por bacterias en cada punto de muestreo: Estrato superior: puntos 1, 3, 5, estrato inferior: puntos 2, 4, 6. Promedio de las condiciones.

Cabe destacar que se trata de la bolsa con mayor contenido promedio de ME (2,72%) de acuerdo con la categorización efectuada al inicio de este análisis (tabla 4.2.1.). Aun así no es tan marcada la correspondencia de la ubicación de hongos y bacterias en la base de la bolsa como era de esperarse, o como sí se evidenció en la bolsa 2 que posee el mayor contenido de granos partidos.

Si bien el desarrollo de los hongos disminuye y el incremento de las bacterias es incipiente, se evidencia una clara concentración de los mismos en el punto crítico (punto 5) en la parte superior de la bolsa (figuras 4.2.33.b y 4.2.35.b) que coincide en dos aspectos fundamentales con la bibliografía: la ubicación de los hongos obedece a fenómenos de condensación en la parte superior en contacto con el plástico (Cardoso et al., 2009 y Bartosik et al., 2009); el incremento de la concentración de CO_2 es un indicador de la actividad microbiológica presente en el granel (Bartosik et al., 2009 y Abalone et al., 2011) (figura 4.2.36.).

4.2.3.5.3. Integración de los parámetros evaluados.

Del análisis de la concentración de dióxido de carbono surge un marcado incremento de la misma hacia el final del período de almacenamiento, que en este caso corresponde al más prolongado del ensayo (120 días) y al único caso que se extendió hasta la estación más

cálida del año (5 de enero de 2012) lo cual coincide con Bartosik et al. (2009a) quienes evidenciaron que los cambios de las concentraciones de los gases se pronunciaban cuando se aproximaba el final del almacenamiento, si este coincide con la época cálida del año. Se observa el marcado incremento por encima de la tolerancia de 5% (en todo el período la concentración se incrementó en promedio 12,39%). Si no hay mayor actividad de hongos y las bacterias no superan las 50 UFC, aunque con patogenicidad (+), este incremento puede relacionarse con un aumento en la tasa de respiración de los granos, sumado a la respiración propia de los restos vegetales presentes en el ME (coincide con lo expresado por Arias, 1993). Esto es producto del incremento de la temperatura en el verano, donde los granos alcanzaron valores promedio entre todos los puntos de muestreo de 30,5°C, donde se registraron los valores máximos en el cierre con 33,5°C en el estrato inferior y 32,7°C en el estrato superior a las 10 hs a.m. La figura 4.2.37. muestra la evolución de la temperatura promedio del grano en los dos estratos.

Estos aspectos coinciden con lo estudiado por Abalone et al. (2011) quienes encontraron una importante relación entre la concentración del dióxido de carbono y la temperatura y humedad de los granos almacenados en silobolsa. Godoy (2010) también encontró una relación estrecha entre CO₂ y T°, con valores muy elevados hacia marzo donde se alcanzaban más de 200 días de almacenamiento, donde incluso con leves incrementos de CH se obtuvieron grandes incrementos de CO₂

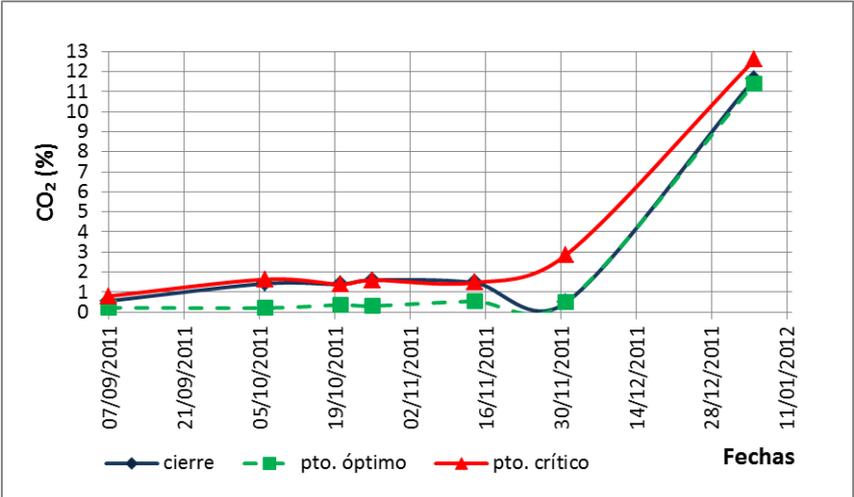


Figura 4.2.36. Registros de [CO₂] (%) en el período de almacenamiento en los puntos: cierre, óptimo y crítico de la bolsa 11.

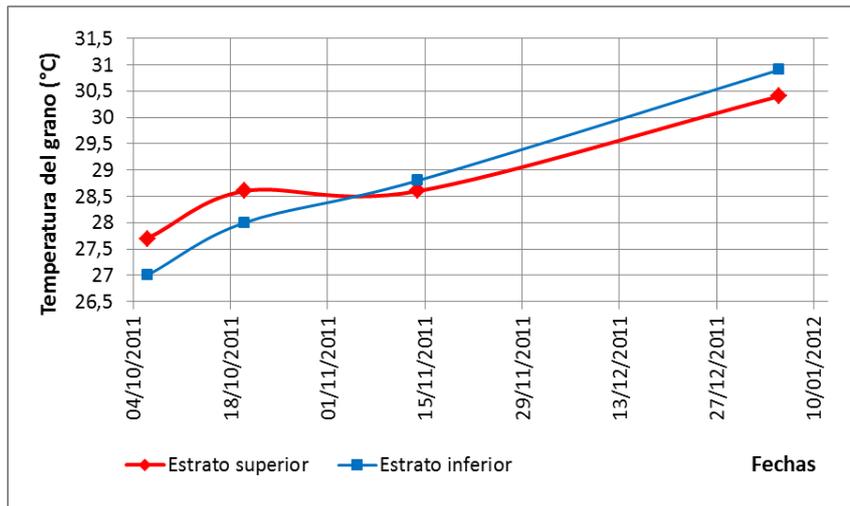


Figura 4.2.37. Temperatura (°C) de los granos a lo largo del período de almacenamiento, en los estratos superior e inferior.

Las bolsas 5 y 9, que incrementaron su concentración de CO₂ en promedio 4,28% y 2,56%, respetivamente, hubieran tenido probablemente un comportamiento similar si su período de almacenaje se hubiera prolongado hacia el 5 de enero de 2012.

La figura 4.2.38. muestra el valor promedio de la concentración de CO₂ alcanzado por cada bolsa en el tiempo de almacenamiento.

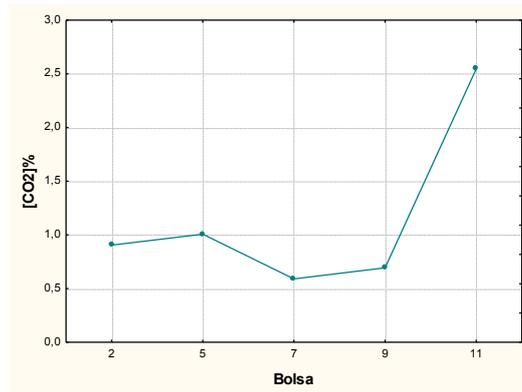


Figura 4.2.38. Concentración de CO₂ (%) promedio en las distintas bolsas evaluadas.

En la categorización inicial de las bolsas (tabla 4.2.1.) ésta ocupa el segundo lugar para granos manchados (6,45%) y el tercero en cuanto al contenido de granos partidos (superior a la tolerancia de 3%). El primer aspecto indica que se parte de una condición inicial condicionante o riesgosa, el segundo aspecto podría sumar al sinergismo del incremento de la tasa respiratoria del granel observado en el verano. De hecho, cuando se realizan las correlaciones entre ambos parámetros y la concentración de CO₂ a lo largo del periodo de almacenamiento, surge lo siguiente:

Granos manchados (%) vs. Concentración de CO₂ (%) $r=0,78$ y $p<0,05$.

Granos partidos (%) vs. Concentración de CO₂ (%) $r=0,58$ y $p<0,05$.

Lo cual evidencia el incremento de la producción de CO₂ en función de la respiración del granel y su relación con el incremento del manchado de los granos.

Al igual que en todas las bolsas ya analizadas, la relación entre granos partidos y ME es baja $r=-0,55$ y $p>0,05$.

4.2.4. Interacción entre parámetros: ¿existe sinergia entre los efectos de los granos partidos y el contenido de ME?

Para evaluar si había interacción entre los parámetros que son objeto de este estudio, se efectuó un ANOVA factorial agrupando las bolsas por sus contenidos de ME y granos partidos de acuerdo a lo citado en el Capítulo III. Este análisis integra las 5 bolsas evaluadas. Se consideró en primera instancia la condición inicial de las bolsas, de ello surgió que la interacción entre los porcentajes de ME y granos partidos existe (es significativa) para la proporción de granos manchados. Cuando se excluye del análisis a la bolsa 9 (destacada por su mayor CH) la interacción resulta irrelevante o nula ($p > 0,05$). En ambos casos el efecto de los granos partidos sobre los manchados es significativo ($p < 0,05$).

Es decir en la condición inicial el manchado se relaciona fuertemente con la presencia de los granos partidos. La interacción de estos últimos con ME es significativa cuando se considera en el análisis a la bolsa 9, es decir cuando se presenta alto CH de los granos.

En segunda instancia se evaluó la interacción entre granos partidos y ME en la condición final, donde la misma resultó ser significativa para la proporción de granos manchados en las dos situaciones: incluyendo y excluyendo del análisis la bolsa 9. A diferencia de la condición inicial el manchado se relaciona marcadamente con la proporción de ME ($p < 0,05$) con lo cual se observa como a medida que avanza el tiempo de almacenamiento cobra mayor importancia el efecto de la presencia de ME dentro de la interacción y se presenta la peor condición con la mayor proporción de ME (ME2 en la figura 4.2.44 a) y b)).

El efecto de ME no está vinculado con el CH de los granos, mientras que el efecto de los partidos sí, lo cual se evidencia claramente en la figura 4.2.44 b)

La interacción entre estos parámetros evidencia la sinergia entre el efecto de ambos sobre el manchado de los granos.

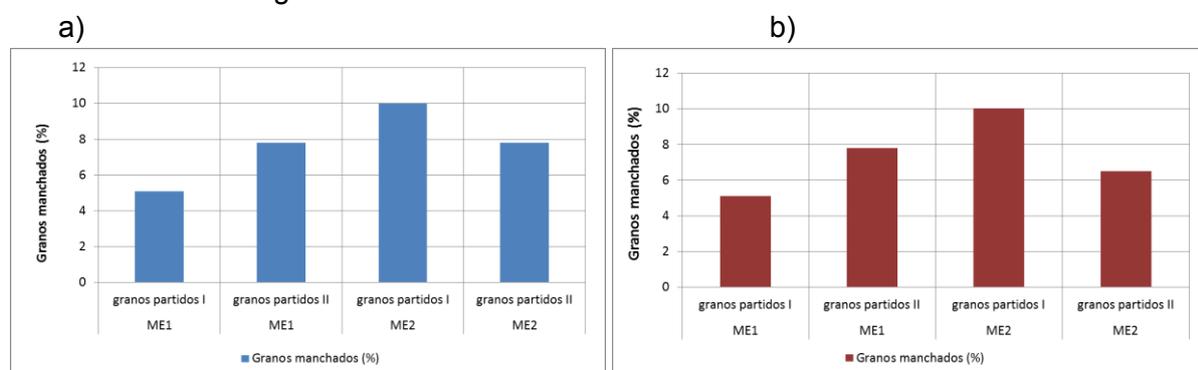


Figura 4.2.39. Interacción en la condición final de las bolsas entre ME y granos partidos para el manchado de los granos, donde ME1<2%, ME2>2%, granos partidos I<4%, granos partidos II>4%. a) sin contemplar la bolsa 9 en el análisis, b) contemplando la bolsa 9 en el análisis.

4.3. Ensayo en el Laboratorio de Calidad Culinaria INTA EEA Salta. Calidad Industrial.

4.3.1. Categorización de las bolsas de acuerdo a los parámetros de calidad industrial evaluados.

Tabla 4.3.1. Categorización de las bolsas de acuerdo a los parámetros de calidad industrial evaluados (valores promedio). Comparación de los mismos a través de ANOVA con un 95% de confianza. Cada repetición corresponde a una fecha de muestreo con un total de N repeticiones por bolsa.

Bolsa	2	5	7	9	11	Valor p d.e.s. entre bolsas
Coefficiente de absorción (%)	102,9	101,2	96,6	92,3	97,6	0,000000<0,05 Con d.e.s.
Coefficiente de reabsorción (%)	10,8	9,6	7,5	5,5	8,5	0,000000<0,05 Con d.e.s.
Dureza de granos cocidos "blandos" (gF)	0,74	0,78	0,82	0,94	0,63	0,000029<0,05 Con d.e.s.
Dureza de granos cocidos "duros" (gF)	4,5	4,8	5,8	5,9	5,4	0,026816<0,05 Con d.e.s.
Sedimentos (cc)	22,2	16,2	16,3	14,5	29,1	0,000000<0,05 Con d.e.s.
N	6	3	4	5	7	

Coefficiente de absorción (%)

La bolsa 9 evidencia el coeficiente de absorción más bajo, 92,3%, mientras que la bolsa 2 alcanza el máximo valor con un promedio de 102,9%. Se consideran granos frescos a aquellos que superan el 100% de absorción, de acuerdo con ello, las bolsas 7, 9 y 11 presentan problemas de absorción durante el remojo, mientras que las bolsas 2 y 5 evidencian un buen comportamiento para este parámetro.

Coefficiente de reabsorción (%)

No se observan d.e.s. entre bolsas ni entre puntos de muestreo ($p>0,05$) pero aparecen tendencias de comportamiento valorables teniendo en cuenta lo concluido por De Simone et al. (2009) en cuanto a la sensibilidad de este parámetro como indicador de la pérdida de calidad del grano de poroto.

Se observa el mismo patrón de comportamiento que en el coeficiente de absorción, el mínimo valor de reabsorción lo presenta la bolsa 9, con un promedio de 5,53%, lo que representa una limitada reabsorción de agua en la cocción por endurecimiento de la testa del grano (De Simone et al., 2009). Si los valores óptimos para una cocción adecuada rondan el 10% (Fili, 1996) entonces las bolsas 2 y 5 representan la mejor condición y las restantes lo contrario. El máximo valor de reabsorción corresponde a la bolsa 2, con un promedio de 10,85%

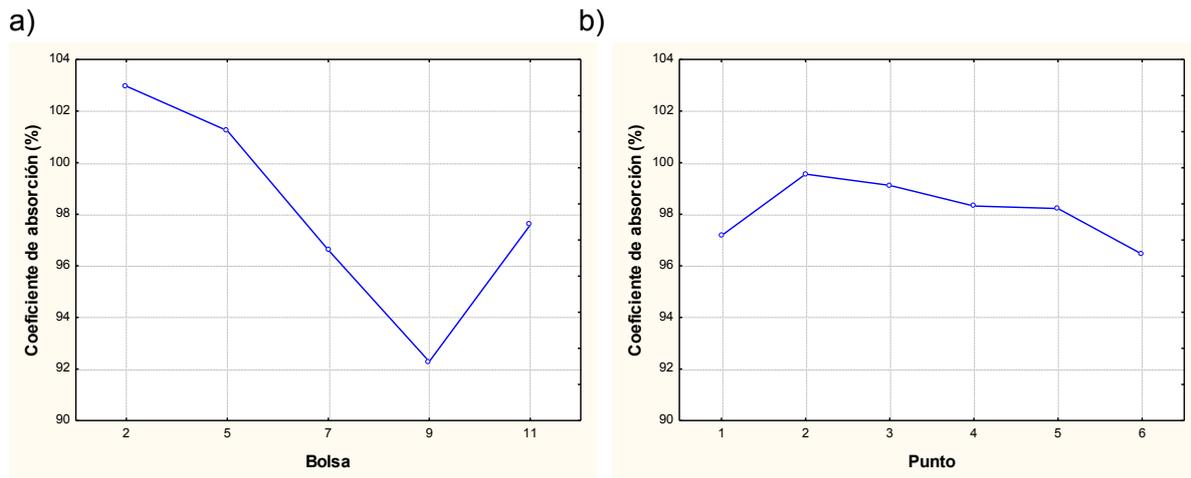


Figura 4.3.1. a) Coeficiente de absorción (%) promedio para las bolsas evaluadas b) Detalle del mismo en cada punto de muestreo (promedio de todas las bolsas).

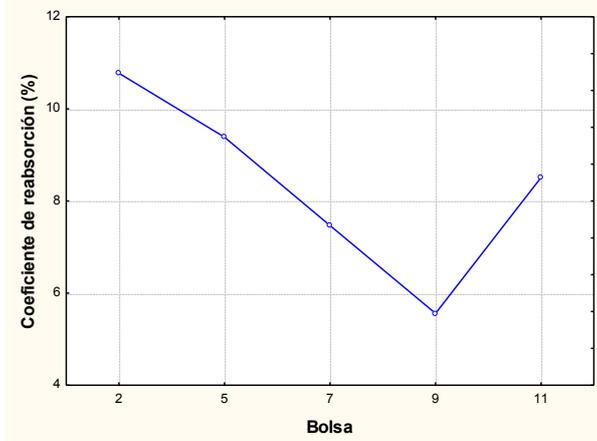


Figura 4.3.2. Coeficiente de reabsorción (%) promedio para las bolsas evaluadas.

Dureza de granos cocidos identificados como “blandos” (gF)

Se observan d.e.s. con $p < 0,05$ entre bolsas, lo cual no ocurre entre puntos de muestreo.

En coincidencia con los dos parámetros ya analizados, el máximo valor de dureza corresponde a la bolsa 9, cercano a 1%. Le siguen en importancia la bolsa 7 y la 5, mientras que las bolsas 2 y 11 muestran los valores más bajos.

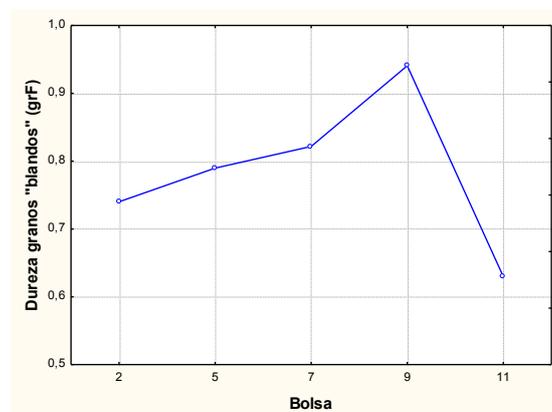


Figura 4.3.3. Dureza de los granos identificados como “blandos” (gF) en las distintas bolsas evaluadas.

Dureza de granos cocidos identificados como "duros" (gF)

Se evidencian d.e.s. entre bolsa con $p < 0,05$ pero no entre puntos de muestreo.

Luego de separar los granos que visualmente se identificaron como duros después de ser cocinados, los resultados muestran como se acentúan los máximos valores de dureza en las bolsas 9, 7 y 11, todos superiores a 1 gF (límite por encima del cual se considera un grano duro) con promedios de 5,95, 5,84 y 5,39 gF, respectivamente. Esto evidencia la baja permeabilidad del grano y su consecuente reducida capacidad de reabsorber agua en la cocción. Es decir que bajos valores de reabsorción están ligados con altos valores de dureza, lo cual claramente se evidencia en las bolsas 9 y 7, y en menor medida en la bolsa 11.

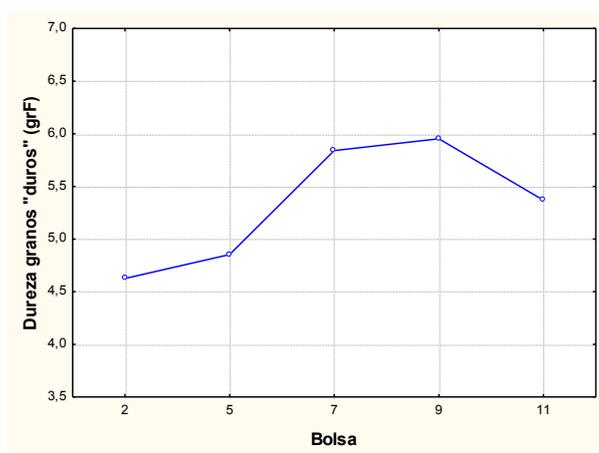


Figura 4.3.4. Dureza de los granos identificados como "duros" (gF) en las distintas bolsas evaluadas.

Sedimentos (cc)

Se observan d.e.s. con $p < 0,05$ entre bolsas, no entre puntos de muestreo.

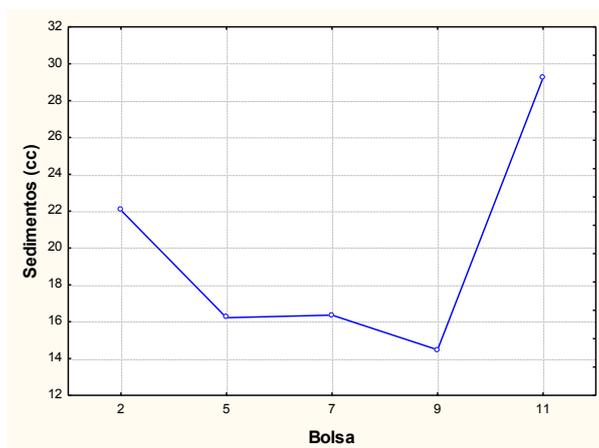


Figura 4.3.5. Sedimentos (cc) obtenidos en el caldo de cocción de las distintas bolsas evaluadas.

La bolsa 9 posee los máximos valores de dureza de granos y en consecuencia los mismos no tienden a desarmarse ni romper su testa en la cocción, y por ello no generan sedimentos

considerables en el caldo de cocción. La bolsa 7 también coincide con este comportamiento y es coherente con los parámetros anteriores.

Contrariamente, la bolsa 2 posee altos valores de sedimentos en el caldo de cocción lo cual puede atribuirse al daño mecánico no visible sufrido por el grano en procesos previos al embolsado (cosecha, transporte) ya que posee el máximo valor de granos partidos del ensayo (coincide con De Simone & Godoy, 2006). La bolsa 11 muestra el máximo valor para este parámetro, que coincide con el mínimo valor de dureza para los granos considerados “blandos” y que además puede estar relacionado con ese daño no visible, ya que el contenido de granos partidos registrado para esta bolsa también supera la tolerancia.

Para todos los parámetros de calidad industrial evaluados no se registraron d.e.s. entre puntos de muestreo, lo cual indica un comportamiento semejante en toda la bolsa y coincide con De Simone et al. (2009) y De Simone & Godoy (2009) quienes no evidenciaron diferencias entre estratos en un tiempo equivalente al evaluado en este ensayo de campo.

Una vez caracterizadas las bolsas en cuanto a su calidad industrial, se procedió a un análisis puntual de cada una de ellas para distinguir la evolución de dicha calidad en el tiempo de almacenamiento, considerando su condición inicial y final, los parámetros más relevantes en cada situación y como se relacionan éstos con los parámetros evaluados en el ensayo de campo (ME, granos partidos, granos manchados, CH de los granos, concentración de CO₂).

4.3.2. Análisis puntual de cada bolsa.

4.3.2.1. Bolsa 2.

Coefficiente de reabsorción (%)

No se observan d.e.s. ($p > 0,05$) para este parámetro entre la condición inicial y la final. Se observa que el mismo se mantiene prácticamente constante a lo largo del período de almacenamiento, sin cambios sustanciales en la calidad. Los valores obtenidos se encuentran dentro del porcentaje de reabsorción que se considera óptimo para porotos blancos: alrededor de 10%.

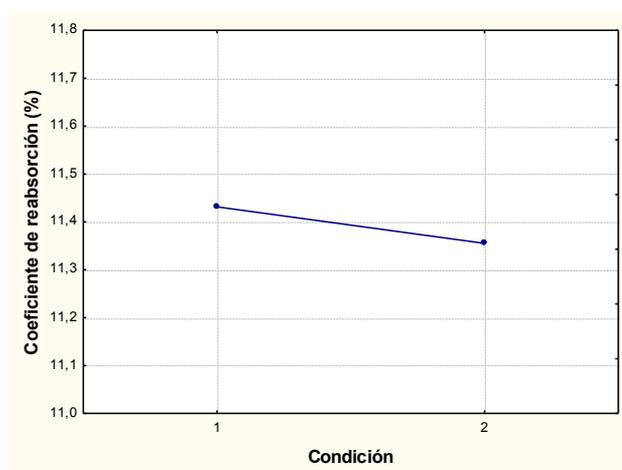


Figura 4.3.6. Coeficiente de reabsorción (%) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 2.

Dureza de granos cocidos identificados como "duros" (gF)

La dureza de los granos cocidos y separados visualmente como "duros" no muestra d.e.s. ($p > 0,05$) hacia la condición final del almacenamiento.

En la evolución en el tiempo de la dureza de los granos cocidos considerados duros, se observa una cocción pareja o uniforme de los mismos, y dicha dureza varía entre 3,69 y 4,96 gF. Para los granos blandos la dureza es prácticamente constante (0,72 gF promedio) a lo largo de todo el período evaluado (120 días).

Estos aspectos se condicen con el comportamiento del coeficiente de reabsorción, es decir, la dureza (tanto de granos "blandos" como "duros") no aumenta hacia el final del período de almacenamiento y la capacidad de reabsorber agua no disminuye.

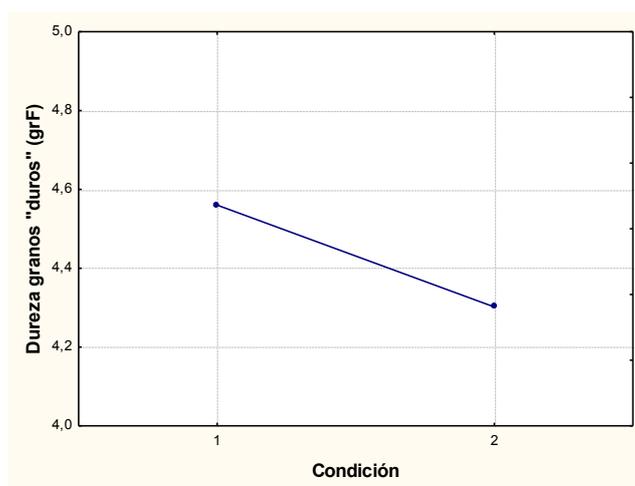


Figura 4.3.7. Dureza de granos cocidos identificados como "duros" (gF) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 2.)

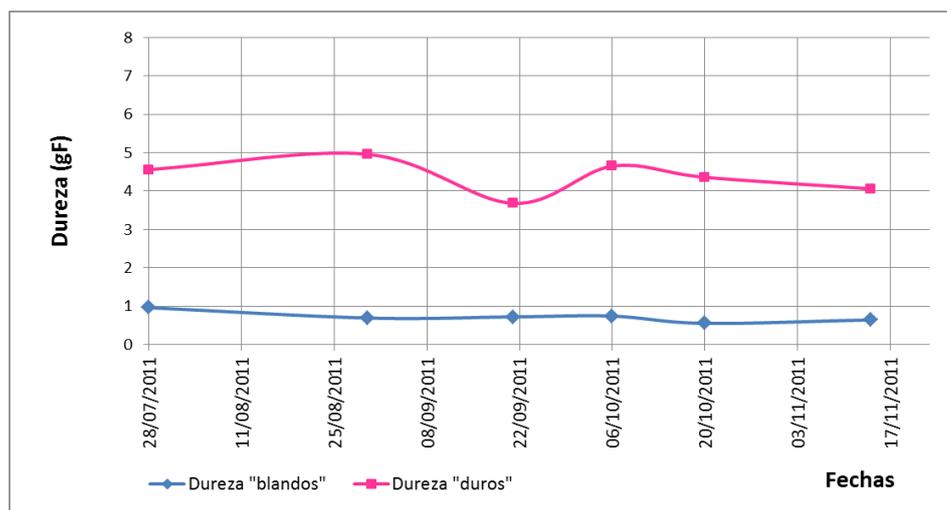


Figura 4.3.8. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como "blandos" y "duros" (gF) de la bolsa 2.

Al término del análisis puntual de cada bolsa se aborda la interacción entre los parámetros en los que se centra el presente trabajo (ME (%) y granos partidos (%)) y su efecto sobre la dureza de granos "duros" (ítem 4.3.3.)

4.3.2.1.1. Integración de los parámetros evaluados.

Las correlaciones efectuadas entre los parámetros de calidad industrial no son en general relevantes, salvo para la relación entre el coeficiente de absorción y el coeficiente de reabsorción, con $r=-0,64$ y $p<0,05$, lo cual evidencia cómo los granos que absorben suficiente agua en el remojo, luego en la cocción no requieren mayores contenidos de agua. Por otro lado, la relación entre el coeficiente de absorción y la dureza (granos duros) a pesar de no tener valores r altos, muestra cierta tendencia de disminuir el primero a medida que aumenta el segundo (figura 4.3.9) este es un aspecto muy relevante para la calidad de cocción.

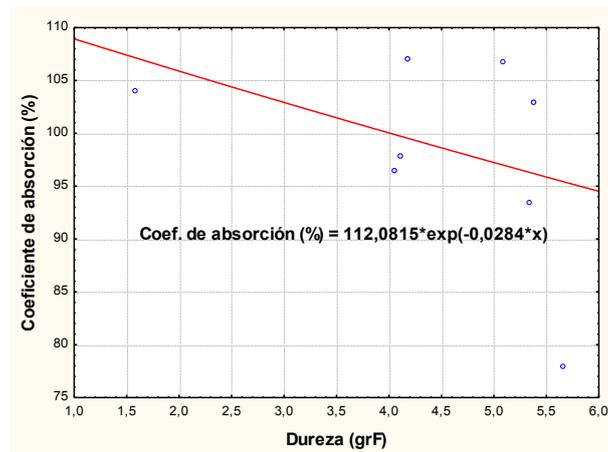


Figura 4.3.9. Relación entre el coeficiente de absorción (%) y la dureza (gF).

De efectuar correlaciones entre los parámetros de calidad industrial y aquellos considerados de calidad comercial surge como más relevante la relación entre el porcentaje de granos partidos y los sedimentos (cc) la cual alcanza un valor $r=0,74$ y $p<0,05$ (figura 4.3.10) lo cual evidencia el efecto negativo del contenido de partidos en la calidad de cocción, pues los granos se desarman durante el proceso de cocción ya que se presentan, como se citó previamente en el ítem 4.3.1., como granos con daño no visible. Este daño justamente se vuelve evidente con la cocción de los granos a través del sedimento en el caldo resultante.

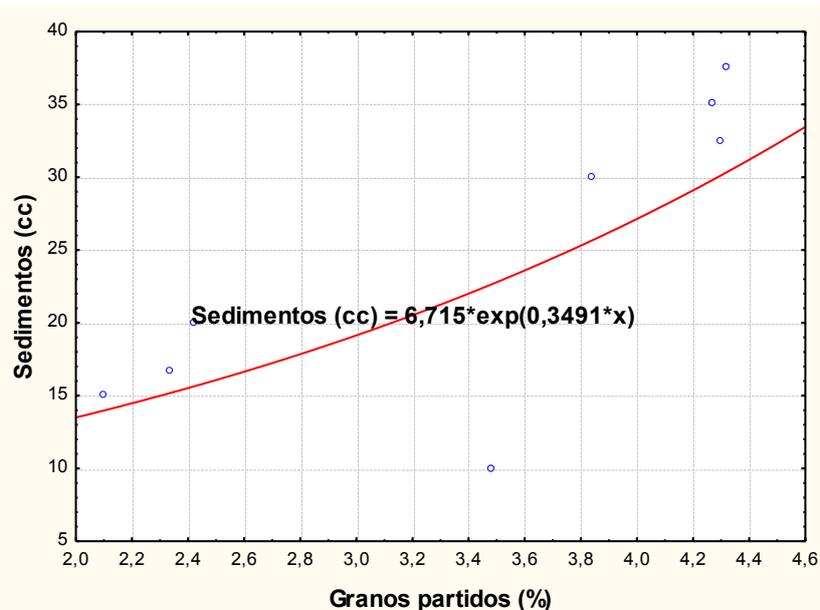


Figura 4.3.10. Sedimentos (cc) en relación al contenido de granos partidos (%).

4.3.2.2. Bolsa 5

Coefficiente de reabsorción (%) y dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF)

No se evidencian d.e.s. en el coeficiente de reabsorción ($p=0,84$) entre condiciones iniciales y finales (figura 4.3.11.). La reabsorción de agua durante la cocción muestra una leve tendencia creciente, pero no variaciones sustanciales, a pesar de que la dureza de los granos “duros” aumenta marcadamente (con d.e.s. entre la condición inicial y la final ($p<0,05$)) probablemente porque el período de almacenamiento fue relativamente corto (74 días). Tampoco se observa una cocción despareja a lo largo del período de almacenamiento, tal como lo muestra la figura 4.3.12. (diferencia de 1,87 gF entre el máximo y el mínimo valor de dureza alcanzados).

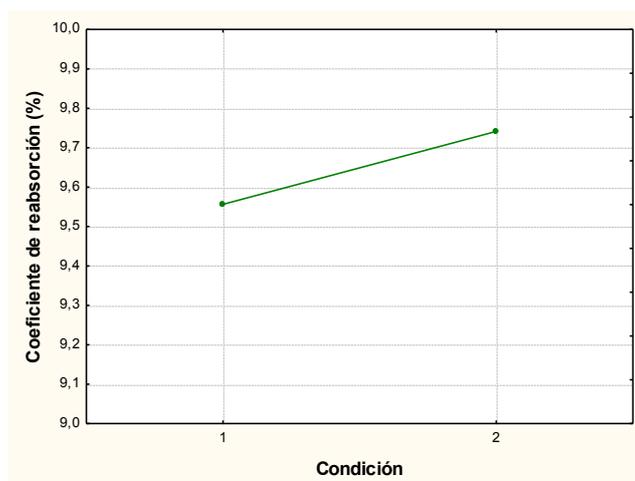


Figura 4.3.11. Coeficiente de reabsorción (%) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 5.

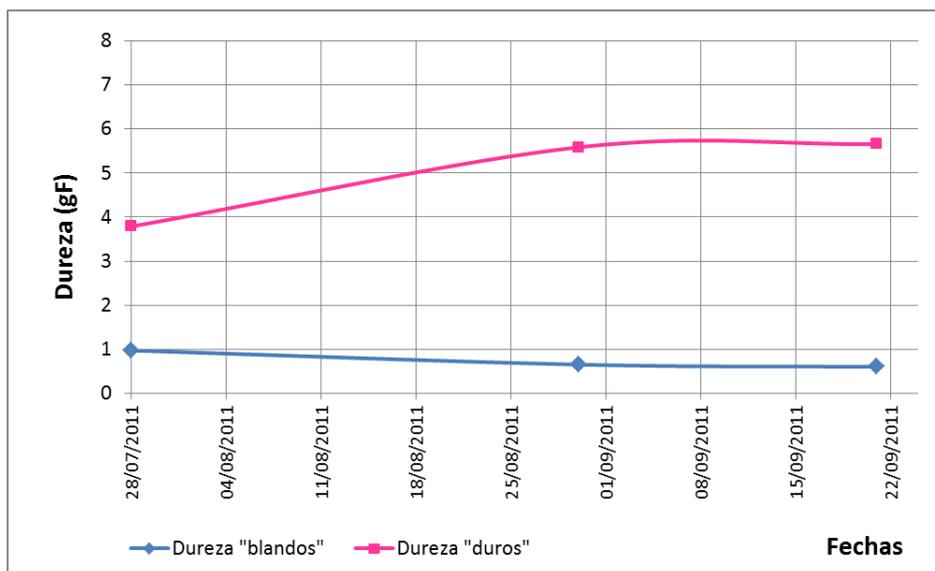


Figura 4.3.12. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 5.

4.3.2.2.1. Integración de los parámetros evaluados.

Al efectuar correlaciones con los parámetros considerados de calidad comercial la relación más importante surge entre el coeficiente de reabsorción (%) y el CH de los granos (%) con un valor $r=-0,71$ y $p<0,05$. Este aspecto es muy relevante y fue estudiado por De Simone et al. (2009) hace referencia al hecho en el que a medida que los granos incrementan su CH se reduce su capacidad de reabsorber agua durante la cocción, en este caso la disminución del coeficiente de reabsorción es un parámetro sensible que evidencia la pérdida de calidad industrial (también demostrado por De Simone et al., 2009).

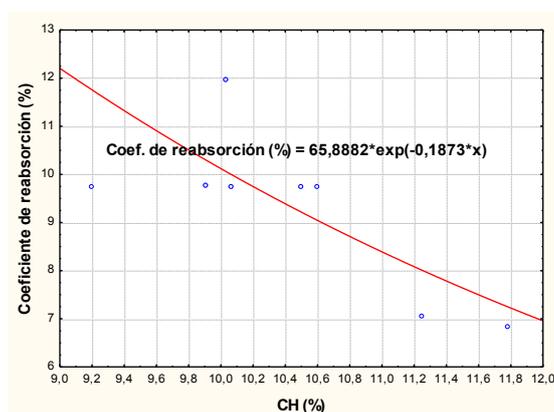


Figura 4.3.13. Relación entre el coeficiente de reabsorción (%) y el CH de los granos (%).

4.3.2.3. Bolsa 7

Coeficiente de reabsorción (%) y dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF)

No se observan d.e.s. ($p>0,05$) para el coeficiente de reabsorción (%) entre el inicio y el final del almacenamiento (figura 4.3.14). En el caso de la dureza de los granos considerados “duros” tampoco aparecen d.e.s. ($p>0,05$ con la salvedad que $p=0,09207$) pero se observa

una clara tendencia creciente (figura 4.3.15.). La dureza de los granos cocidos considerados “blandos” también muestra una tendencia creciente hacia el final del almacenamiento, pero no se evidencian d.e.s.

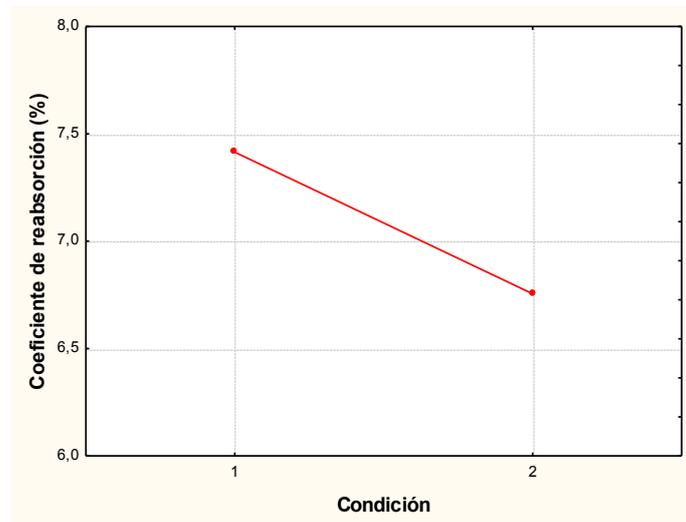


Figura 4.3.14. Coeficiente de reabsorción (%) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 7.

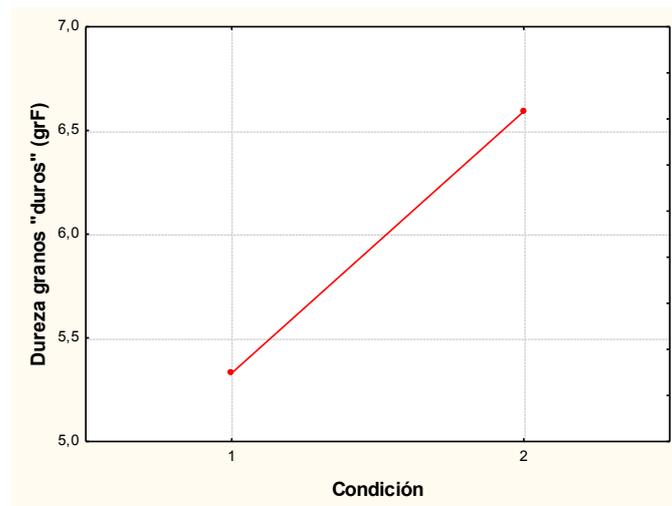


Figura 4.3.15. Dureza de granos cocidos identificados como “duros” (grF) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 7.

Al analizar la evolución en el tiempo de la dureza luego de la cocción, se observa que la misma para los granos duros varía entre 4,31 grF y 7,13 grF (diferencia entre ambos de 2,82 grF) lo cual refleja una cocción despareja (figura 4.3.16.). No se observaron efectos marcados en la reabsorción probablemente debido al tiempo relativamente corto de almacenamiento (62 días).

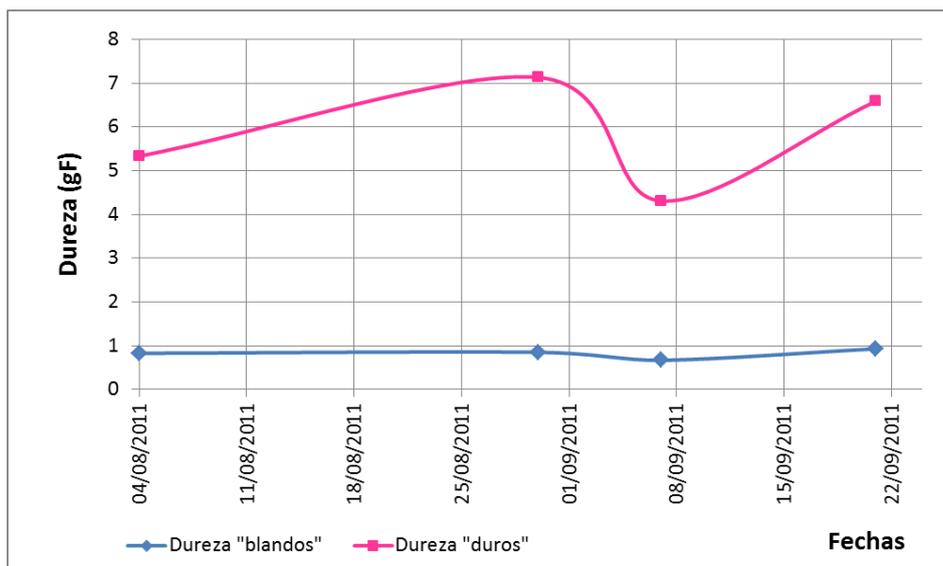


Figura 4.3.16. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 7.

4.3.2.4. Bolsa 9

Coefficiente de absorción (%) y dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF)

Se observa una marcada reducción del coeficiente de absorción (%) hacia el final del tiempo de almacenaje, si bien no aparecen d.e.s. el valor de $p=0,05618$ es muy cercano a 0,05 (figura 4.3.17). Esto se relaciona con la dureza de los granos cocidos considerados “duros” la cual muestra un marcado incremento al final del período de almacenaje con d.e.s. entre condiciones ($p<0,05$) (figura 4.3.18). Esto refleja el endurecimiento de la testa de los granos y coincide con De Simone et al (2009). De hecho la correlación entre ambos parámetros es alta: $r=-0,67$ y $p<0,05$ y evidencia como disminuye el coeficiente de absorción a medida que aumenta la dureza de los granos (figura 4.3.19.). Esta situación solo se evidencia con estas características tan significativas en este caso, que es el único de todo el ensayo donde se ve tan clara y expresa esta relación.

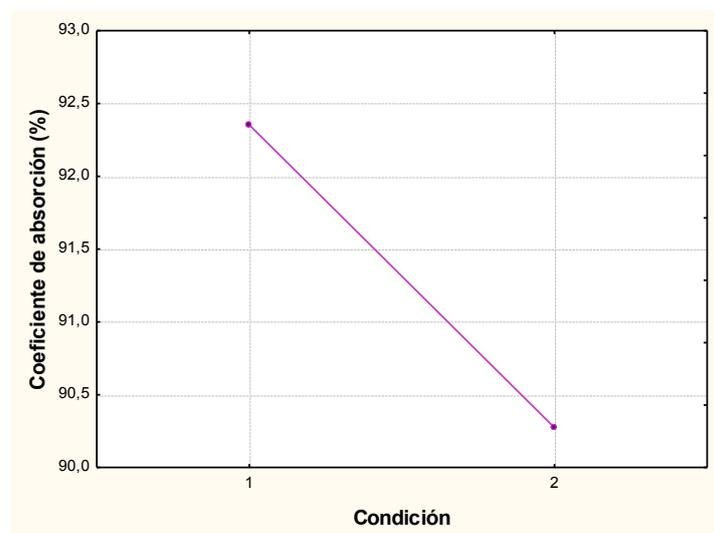


Figura 4.3.17. Coeficiente de absorción (%) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 9.

Los granos cocidos y separados como “blandos” muestran incrementos en su dureza, aunque no presentan d.e.s. entre condiciones.

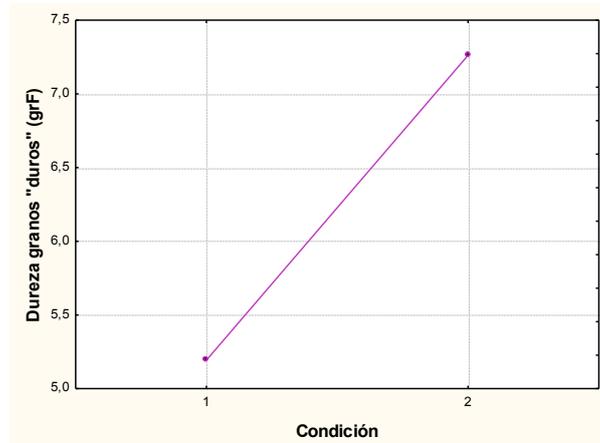


Figura 4.3.18. Dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 9.

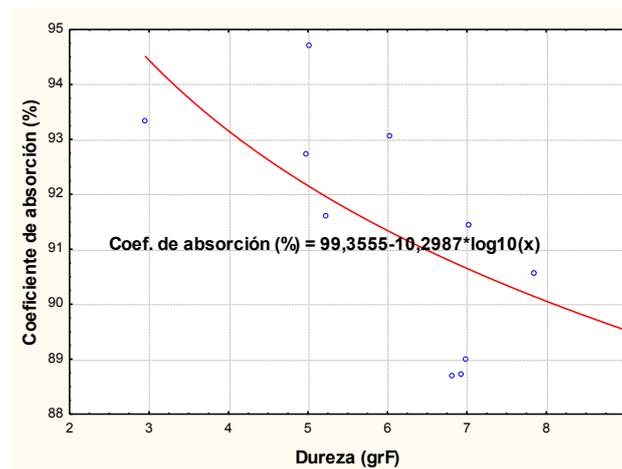


Figura 4.3.19. Relación entre el coeficiente de absorción (%) y la dureza de los granos “duros” (gF).

Al igual que en la bolsa 7, se observa una cocción despereja con valores de dureza para los granos considerados duros entre 5,17 gF y 7,26 gF (diferencia entre ambos de 2,09 gF) (figura 4.3.20.). Cabe destacar que el período de almacenamiento supera los 100 días, lo cual para De Simone et al. (2009) representa riesgo medio a alto.

La evolución de la calidad industrial de esta bolsa coincide con la evolución de la calidad comercial, que evidencia la peor condición final respecto a las demás bolsas evaluadas en el presente trabajo.

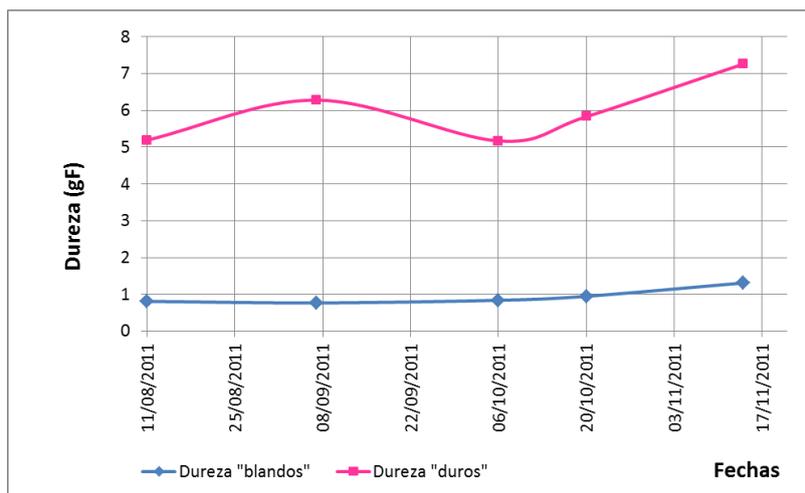


Figura 4.3.20. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 9.

4.3.2.4.1. Integración de los parámetros evaluados.

Al correlacionar los parámetros evaluados surgen importantes relaciones entre la producción de sedimentos (cc) y la proporción de granos afectados por hongos ($r=0,73$ y $p<0,05$) y bacterias ($r=0,81$ y $p<0,05$). Esto evidencia cómo los granos afectados por microorganismos, es decir deteriorados, son más susceptibles a la ruptura de la testa durante la cocción y posterior liberación de materia al caldo.

4.3.2.5. Bolsa 11

Coefficiente de absorción (%) y dureza de granos cocidos identificados como “duros” (gF)

No se evidencian d.e.s. ($p>0,05$) entre condiciones para el coeficiente de absorción, aunque aparece una tendencia decreciente hacia la condición final (figura 4.3.21).

Los granos cocidos que se identificaron como duros fueron incrementando su dureza hacia el final del período de almacenamiento, con d.e.s. ($p<0,05$) (figura 4.3.22). Este marcado incremento se relaciona con el endurecimiento de la testa del grano y su consecuente pérdida de permeabilidad tal como lo evidenciaron De Simone et al (2009) y De Simone & Godoy (2009) en un período de almacenamiento semejante al estudiado en esta bolsa (120 días).

El incremento de la dureza de los granos provocaría la reducción de la absorción durante el remojo, al igual que en la bolsa 9.

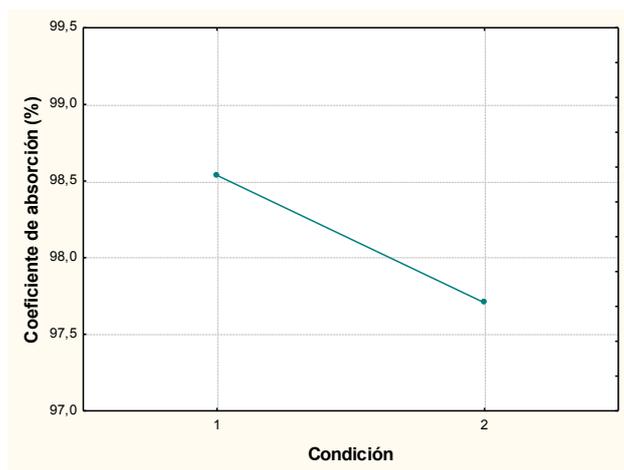


Figura 4.3.21. Coeficiente de absorción (%) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 11.

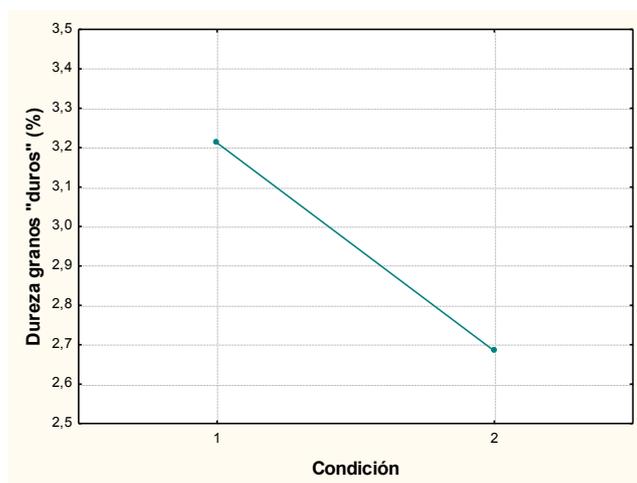


Figura 4.3.22. Dureza de granos cocidos identificados como "duros" (gF) en la condición inicial (1) y final (2) de la bolsa 11.

La evolución a lo largo del tiempo de la dureza de los granos cocidos muestra como fluctúa la misma en los granos identificados como duros entre 3,4 y 7,08 gF (diferencia entre ambos de 3,68 gF, la máxima registrada) lo cual implica una cocción despereja (figura 4.3.23). Esta bolsa presenta la cocción más despereja del ensayo efectuado y coincide con lo evaluado por De Simone et al. (2009) y De Simone & Godoy (2009) para períodos que superan los 100 días de almacenamiento.

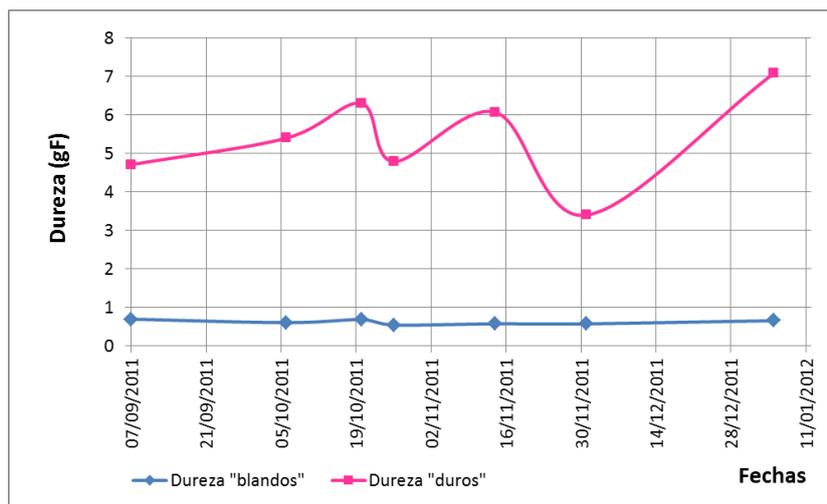


Figura 4.3.23. Evolución en el tiempo de almacenamiento de la dureza de granos cocidos identificados como “blandos” y “duros” (gF) de la bolsa 11.

4.3.3. Interacción entre parámetros: ¿existe sinergia entre los efectos de los granos partidos y el contenido de ME?

De igual manera que en el ensayo de campo se efectuó un ANOVA factorial agrupando los bolsos por sus contenidos de ME y granos partidos para evaluar si había interacción entre los mismos (ver Capítulo III) para los parámetros de calidad industrial. Este análisis integra las 5 bolsos evaluadas.

Cuando se focalizó el análisis en la condición final de las bolsos surgió una interacción significativa para la dureza de los granos considerados “duros”. Este último parámetro se relaciona fuertemente con la presencia de ME ($p < 0,05$). La peor condición se presenta siempre en presencia de ME (tabla 4.3.2).

Por otra parte, la condición inicial no evidenció una interacción entre el porcentaje de granos partidos y el porcentaje de ME para la dureza de los granos. A partir de esto se puede evidenciar que con el tiempo de almacenamiento se van agregando los efectos de ambos parámetros sobre el incremento de la dureza de los granos, hasta producir una interacción marcada en el final del período de almacenamiento. Al igual que en el ensayo a campo donde se evaluó la calidad comercial del grano, se observa la sinergia entre los efectos de ME y de los granos partidos, en este caso sobre la reducción de la calidad industrial por disminución de la permeabilidad de la testa del grano.

Tabla 4.3.2. Interacción de los parámetros ME y granos partidos para la dureza de los granos “duros”, donde ME1<2%, ME2>2%, granos partidos I<4%, granos partidos II>4%. Detalle de la diferencia entre las medias para las distintas combinaciones de ME y partidos (Tukey, $\alpha=0,05$).

ME (%)	Granos partidos (%)	Dureza (gF)	1	2	3
1	II	4,301667	****		
1	I	5,660000	****	****	
2	I	6,591667		****	****
2	II	7,171667			****

4.3.4. Determinación del tiempo de almacenamiento seguro (TAS)

La bolsa 2 posee el menor contenido de ME, el mayor contenido de granos partidos, un CH de 9,7% y durante 124 días de almacenamiento no presenta un incremento sustancial en la dureza de los granos cocidos considerados “duros”. En contraposición la bolsa 11, presenta el mayor contenido de ME, un contenido semejante a la bolsa 2 de granos partidos, un CH de 9,7% y 120 días de almacenamiento. La misma mostró un incremento de 2,5 gF a los 43 días de almacenamiento. La bolsa 9 posee valores semejantes a la bolsa 11 de ME y granos partidos, pero con un CH de 12,2%, con lo cual presenta un incremento de la dureza de 2gF a los 26 días de almacenamiento. Mientras que las bolsas 5 y 7, con CH de 10,2 y 9,9%, respectivamente, ambas caracterizadas por condiciones iniciales sanitarias limitantes, muestran incrementos de 2,2 gF (en 26 días) y 2,5 gF (en 33 días) respectivamente. Si se contempla que el efecto de los granos partidos está influenciado por el CH de los granos y el efecto del ME está influenciado por el tiempo de almacenamiento, se puede considerar entonces que el contenido de ME y la dureza de los granos cocidos son los parámetros de calidad más sensibles para indicar el tiempo de almacenamiento seguro, ya que todas las bolsas presentaban contenidos de granos partidos superiores a la tolerancia, aunque los mismos suman a un efecto sinérgico con el contenido de ME.

Entonces, de la síntesis de los resultados obtenidos en la presente tesis, se define el TAS en función del momento en que se produce el incremento de dicha dureza, entendida como la disminución de la permeabilidad de la testa del grano. Se sugieren los siguientes TAS de acuerdo a las condiciones iniciales de almacenamiento para temperaturas menores a 30°C, considerando las tolerancias comerciales descritas en el capítulo I, ítem 1.1.1:

ME<tolerancia – CH del grano igual o menor a 10,5% - granos partidos<tolerancia: 158 días
ME>tolerancia – CH del grano igual o menor a 10,5% - granos partidos> ó <tolerancia: 120 días

ME>tolerancia – CH del grano mayor a 10,5% - granos partidos>tolerancia: 95 - 100 días

Temperaturas muy elevadas reducen el TAS, con granos que superan los 30°C pierden permeabilidad.

ME seco: CH igual o menor a 13%. CH mayores reducen el TAS, con 67% a la mitad y menos (T3).

El manchado no se considera sensible pues aumenta en todas las condiciones, aunque en proporciones muy diferentes según la situación.

Coincide con lo estudiado por De Simone et al. (2009) y De Simone y Godoy (2009) en cuanto a los períodos en que se produce incremento del deterioro de protos almacenados en silobolsa (pérdida de calidad comercial e industrial).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

Se corrobora la hipótesis 1) Altos porcentajes de materias extrañas, alto contenido de humedad de las mismas, altos porcentajes de granos partidos y alto contenido de humedad del grano, favorecen la actividad microbiana por incrementar la actividad acuosa. Malas condiciones sanitarias del grano suman al efecto de estos factores.

Altas proporciones de materias extrañas con bajo contenido de humedad, aumentan la actividad acuosa luego de un tiempo de almacenamiento muy prolongado.

Se corrobora la hipótesis 2) Cuando hay incremento de actividad acuosa, hay aumento de la actividad microbiológica.

La ubicación de los microorganismos (hongos y bacterias) dentro del granel responde a dos situaciones diferentes. Ellas son:

- Acompañan el patrón de distribución del material fino, el cual se estratifica en la base de la bolsa.
- Se emplazan en determinados puntos del estrato superior de la bolsa que presentan altos contenidos de humedad. Estos puntos son producto de la condensación del aire húmedo que se desplaza en el espacio intergranario a través de movimientos de convección. Existe migración de humedad entre estratos, la misma se desplaza desde el estrato inferior hacia el superior.

La actividad microbiana produce el manchado de los granos. Los efectos de materias extrañas y granos partidos actúan sinérgicamente y provocan el manchado de los granos. El efecto de la proporción de granos partidos en el granel está influenciado fuertemente por el contenido de humedad de los granos. Cuanto mayor es este último, mayor es el porcentaje de granos manchados. Esto permite considerar a los granos partidos como un sustrato propicio para el desarrollo de microorganismos.

El efecto negativo de materias extrañas crece en importancia a medida que se prolonga el tiempo de almacenamiento. Cuando las materias extrañas poseen alto contenido de humedad le transfieren agua al grano usando al aire intergranario como intermediario. Materias extrañas húmedas modifican la atmósfera y propician actividades acuosas inseguras en lapsos de tiempo relativamente cortos. Esto permite corroborar la Hipótesis 4)

Períodos de almacenamiento prolongados y temperaturas elevadas favorecen la interacción entre materias extrañas y granos partidos. En esta situación aumenta la tasa respiratoria del granel, incluida la del propio grano. La acción integrada de ambos parámetros reduce la calidad comercial del grano.

En relación a la calidad industrial, el incremento de la dureza de los granos cocidos es provocado por la interacción entre los efectos de los materias extrañas y los granos partidos. Dicha sinergia produce el endurecimiento de la testa del grano y su consecuente reducción de la permeabilidad. Esta situación conduce a la pérdida de la calidad industrial.

Con lo hasta aquí expuesto, se corrobora la hipótesis 3) La actividad microbiana, la respiración de los granos, el contenido de humedad de los mismos, la temperatura y el tiempo de almacenamiento determinan la gravedad del deterioro. Estos factores agregados provocan el incremento del manchado y de la dureza de los granos, es decir deterioro de la calidad tanto comercial, como industrial del poroto. Los cambios en la calidad comercial implican cambios en la calidad industrial.

Los parámetros de calidad más sensibles para determinar el tiempo de almacenamiento seguro son el contenido y composición del material extraño y la dureza de los granos cocidos.

Recomendaciones para futuros trabajos de investigación.

Es necesario conocer en mayor profundidad los mecanismos por los cuales el grano de poroto blanco alubia permite el desarrollo microbiano con bajos CH.

Es preciso estudiar con mayor detalle el comportamiento de la HR de la atmósfera intergranaria, la cual mostró una tendencia decreciente tanto en laboratorio como en condiciones de campo (intemperie).

BIBLIOGRAFÍA.

- Abadía B. & R. Bartosik** (2013) Manejo Eficiente del Grano en la Poscosecha. En: Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos. Ediciones INTA I.S.B.N.: 978-987-679-264-6 pp: 22 - 30
- Abalone R., A. Gastón, R. Bartosik, L. Cardoso & J. Rodríguez** (2011) Concentración de gas en la atmósfera intersticial de silobolsa de trigo. Parte I: Desarrollo y validación del modelo. Elsevier. Journal of Stored Products Research 47 pp: 268 – 275 (a)
- Abalone R., A. Gastón, R. Bartosik, L. Cardoso & J. Rodríguez** (2011) Concentración de gas en la atmósfera intersticial de silobolsa de trigo. Parte II: Sensibilidad del modelo y efecto de las condiciones de almacenamiento del grano. Elsevier. Journal of Stored Products Research 47 pp: 276 – 283 (b)
- Adler C., H. Corinth & C. Reichmuth** (2000) Modified atmospheres. In: Alternative to Pesticides in Stored-products IPM. Subramanyam Bh. & D. Hagstrum (Eds.) Kluwer Academic Publisher, Boston, USA pp: 106 - 146
- AOAC** (1990) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists (15th edition). Washington, DC.
- Arias C.** (1993) Manual de manejo: Poscosecha de granos a nivel rural FAO Roma (Italia). 392 pp.
- ASAE** (1979) Agricultural Engineers Yearbook. J.F. Baxter, ed. ASAE, St. Joseph, MI.
- ASAE** (1993) Norma ASAE S 352.2 – determinación de humedad de granos.
- ASAE** (1993) Norma ASAE D245.4 Humedad de equilibrio
- ASAE** (1996) Norma ASAE S352 1996 - determinación de humedad de granos.
- ASABE** (2006) Norma ASAE D245.5 OCT1995 (R2001) ASABE Standards. Equilibrium moisture content (EMC) and equilibrium relative humidity (ERH) data for high oil & protein materials. En: Moisture Relationships of Plant-based Agricultural Products 18 pp.
- Banks H. & P. Annis** (1990) Comparative ventajas de high CO₂ and low O₂ types of controlled atmospheres for grain storage. In: Food Preservation by Modified Atmospheres, Calderon M. & R. Borkai-Golan (Eds.) CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp: 93 -122
- Bartosik R., J. C. Rodríguez, H. Malinarich & L. Cardoso** (2009) Almacenaje de maíz, trigo, soja y girasol en bolsas plásticas herméticas. En: Almacenamiento de granos en bolsas plásticas. Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp: 2 – 14 (a)
- Bartosik R., L. Cardoso, D. Ochandio & D. Croce** (2009) Detección temprana de procesos de descomposición de granos almacenados en bolsas de plástico herméticas mediante la medición de CO₂. En: Almacenamiento de granos en bolsas plásticas. Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp: 15 – 21 (b)
- Bartosik, R., L. Cardoso, J. Albino & P. Busato** (2013). CO₂ Monitoring of Grain Stored in Silobag Through a Web Application. EFITA, WCCA, CIGR 2013 Conference: Sustainable agriculture through ICT Innovation. 23 al 27 de Junio de 2013, Torino, Italia.
- Belloso M. & O. Oliu** (2005) Efecto de la atmósfera modificada en las características físico – químicas y nutricionales de la fruta fresca cortada. Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad de Leida, España. Symposium: Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados. La Habana, Cuba.
- Cardoso L., R. Bartosik & J. C. Rodríguez** (2009) Estudio de la evolución de la humedad de los granos individuales en bolsas plásticas de maíz y soja. En: Almacenamiento de granos en bolsas plásticas. Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp: 23 – 33
- Chen C.** (2000) Factors which effect equilibrium relative humidity of agricultural products. Transactions of ASAE. Vol. 43 N° 3 pp: 673 – 683

- Chen C. & R. Morey** (1989) comparison of four EMC/ERH equations. Transactions of the ASAE 32 (3) pp: 983 - 990.
- Chirife J., S. Resnik & C. Suarez** (1985) Fundamentos del secado y almacenaje de granos. Curso de Postgrado, Departamento de Industrias, UBA, Bs. As., Argentina.
- Darby J. & L. Caddick** (2007) Review of the harvest bag technology under Australian conditions. CSIRO Entomology Technical report N° 105.
- De Simone M.E.** (1998) Humedad de equilibrio en porotos (*Phaseolus vulgaris L.*) Disponible en: <http://www.cosechaypostcosecha.org>. Ultimo acceso: Diciembre 2011.
- De Simone M.E. & A.I. Godoy** (2006) Sistema de recolección directa. En: Poroto: Eficiencia de cosecha y postcosecha, PRECOP, manual técnico N°4 Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp: 23, 48, 50
- De Simone M. E. & A. I. Godoy** (2009) Evaluación del efecto de media sombra en la calidad del poroto almacenado en bolsas plásticas con sistema de embolsado por gravedad. En: Almacenamiento de granos en bolsas plásticas Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp: 169 – 180
- De Simone M.E., M.J. Fili & A.I. Godoy** (2009) Almacenamiento de poroto (*Phaseolus vulgaris L.*) en bolsas plásticas con relación al contenido de humedad inicial, deterioro de los granos y el tiempo. En: Almacenamiento de granos en bolsas plásticas. Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp: 162 – 168
- Dinkov K., D. Gelyazkov & N. Menkov** (2000) Moisture Sorption Isotherms of Common Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) at several temperatures. Bulgarian Journal of Agricultural Science, Vol 6. National Centre for Agrarian Sciences pp: 59 - 63
- Fili, M.J.** (1996) Desarrollo de técnicas para determinar la calidad de cocción de porotos (*Phaseolus vulgaris L.*) – Programa de fitomejoramiento – Informe de beca de perfeccionamiento E.E.A. Salta – inédito.3.
- García Medina S.** (2002) Mejoramiento y elección de cultivares. En: El cultivo de poroto en la República Argentina. Ediciones INTA I.S.B.N. 987-521-067-6 pp: 189 - 199
- Giménez Monge J.L., J. Arias, N. Casalderrey, M.E. Maggio, G. Laguna, P. Rodríguez Pardina, G. Truol, J. Arneodo & M. Nieves** (2002) Descripción y manejo de plagas, enfermedades y malezas. En: El cultivo de poroto en la República Argentina. Ediciones INTA I.S.B.N. 987-521-067-6 pp: 133 - 138 y pp: 140 – 143
- Giner S.A.** (1994) Temas de post-cosecha de granos oleaginosos. Parte I. Aceites y Grasas. pp: 71 – 83
- Giner S.A.** (2011) comunicación personal.
- Godoy A.I.** (2010) Informe técnico de resultados obtenidos en ensayos experimentales ALIMAR SA, Gral. Güemes, Salta, Argentina – inédito.
- Godoy A.I. & M.E. De Simone** (2010) Almacenamiento de poroto en bolsas plásticas. Actualización técnica N° 53. Ediciones INTA pp: 12
- Godoy A.I., M.E. De Simone & F. Mónico** (2006) Manejo de la cosecha. En: Poroto: eficiencia de cosecha y postcosecha. PRECOP, manual técnico N°4, PRECOP. Ediciones INTA I.S.S.N. 1667-9199 pp: 59 - 65
- González Bueza J., A. Ferrer, R. Oria & M. Salvador** (2009) A mathematical model for packaging with microperforated films of fresh-cut fruits and vegetables. J. Food Eng. 95 pp: 158 - 165.
- Hutchinson D. & L. Otten** (1984) Equilibrium Moisture of White Beans. American Association of Cereal Chemists. Vol. 61, N° 2 pp: 155 - 158
- Jobber & Jamieson** (1974) Manejo de los alimentos. Ecología del almacenamiento Centro Regional de ayuda técnica. México. pp: 185

- Landers K., N. Davis & U. Diener** (1986) Influence of atmospheric gases on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* in peanuts. *Phytopathology* 57: 1967
- Méndez M.** (2010) comunicación personal, exportador de poroto.
- Pacheco, C.** (1989). Importancia de la patología de semillas, para los programas de semillas. *Fitopatología Colombiana* 13(1) pp: 20 - 31.
- Pacin A., D. Taglieri., G. Cano & S. Resnik** (2003) Reducción de la contaminación por fumonisinas durante la limpieza del maíz. Mesa redonda sobre métodos de descontaminación de micotoxinas en alimentos. IV Congreso Latinoamericano de Micotoxicología. Seminario Anual Animal. La Habana, 24 y 26 de Setiembre.
- Paoli H., J. Volante, Y. Noé & L. Vale Laura** (2013) Cultivos extensivos de verano, Salta y Jujuy. En: Monitoreo de cultivos del Noroeste Argentino a partir de sensores remotos. ProReNOA. Campaña agrícola 2011- 2012. Ediciones INTA I.S.S.N. Edición Impresa N° 1851-8109. I.S.S.N. Edición en Línea N° 1851-8230
- Pastor Corrales M. & H. Schwartz** (1994) Problemas de producción del frijol en los Trópicos. Publicación CIAT N° 230 I.S.B.N. 958-9183-78-6 pp: 303 - 317
- Primavesi A.** (2004) Manejo ecológico del suelo – La agricultura en regiones tropicales I.S.B.N. 950-02-3035-6 I.S.B.N 85-213-0004-2 Livraria Nobel S.A. São Paulo, edición original pp: 146 – 148
- Rennie T. & S. Tavoularis** (2009) Perforation-mediated modified atmosphere packaging. Part II. Implementation and numerical solution of mathematical model. *Postharvest Biol. Technol.* 51 pp: 10 - 20.
- SAGPyA** (1994) Norma de Poroto Blanco Seleccionado Oval y Alubia (Norma XVI – anexo A) Resolución 1075/94.
- Sharma, R.K. & W.K. Bilanski** (1971) Coefficient of restitution of grains - *Trans. Of the ASAE* (14) 2 pp: 216 - 218.
- Shatadal P. & D. Jayas** (1990) Moisture sorption isotherms of grains and oilseeds. *Postharvest News and Information* 1 pp: 447 - 451
- Spiess, W.E.L. & Wolf, W.R.** (1983) "The Results of the Cost 90 Project on Water Activity" in *Physical Properties of Foods* (Jowitt, R; Escher, F; Hallström, B; Spiess, W; Vos, G, Eds), Applied Science Publishers, London and New York
- Tubello D. & A. Picollo** (2002) Producción, comercialización y mercados. En: *El cultivo de poroto en la República Argentina*. Ediciones INTA I.S.B.N. 987-521-067-6 pp: 255 – 265
- Vargas Gil J. & I. Nieva** (2002) Áreas de producción. En: *El cultivo de poroto en la República Argentina*. Ediciones INTA I.S.B.N. 987-521-067-6 pp: 61 – 71
- Vega-Gálvez, A.; R. Lemus-Mondaca, C. Bilbao-Sáinz, F. Yagnam & A. Rojas** (2008) Mass transfer kinetics during convective drying of red pepper var. Hungarian (*capsicum annuum L.*): Mathematical modeling and evaluation of kinetic parameters. *J. Food Proc. Eng.*, 31, 120–137.
- Voysest Voysest O.** (2000) Mejoramiento Genético del Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) Legado de variedades de América Latina 1939 – 1999. I.S.B.N. 958-694-032-2 pp: 177 – 188.
- Walstra P.** (2003) *Physical Chemistry of Foods*. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. SSBN: 0-8247-9355-2 pp: 250 – 281
- Weller D. & A. Saettler** (1980) Colonization and distribution of *Xanthomonas phaseoli* and var. *fuscans* in field-grown navy beans. *Phytopathology* 70 (6) pp: 500 - 506
- Weston W. & H. Morris** (1954) Hygroscopic equilibria of dry beans. *Food Technology* 8:353
- White, N., R. Sinha & W. Muir** (1982) Intergranular carbone dioxide as an indicator of biological activity associated with the spoilage of stored wheat. *Can. Agric. Eng.* 24 pp: 35 - 42.