



ESCUELA DE DOCTORADO
INTERNACIONAL DE LA USC

Manuel
Gómez López

Tesis doctoral

Desarrollo de productos
mínimamente procesados a
partir de patata gallega de
calidad

Lugo, 2021



TESIS DE DOCTORADO

DESARROLLO DE PRODUCTOS MÍNIMAMENTE PROCESADOS A PARTIR DE PATATA GALLEGA DE CALIDAD

Manuel Gómez López

ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL DE LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA



PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO RURAL Y CIVIL

LUGO

2021

D. Manuel Gómez López

Título de la tesis: **Desarrollo de productos mínimamente procesados a partir de patata gallega de calidad**

Presento mi tesis, siguiendo el procedimiento adecuado al Reglamento y declaro que:

- 1) La tesis abarca los resultados de la elaboración de mi trabajo.
- 2) De ser el caso, en la tesis se hace referencia a las colaboraciones que tuvo este trabajo.
- 3) Confirmando que la tesis no incurre en ningún tipo de plagio de otros autores ni de trabajos presentados por mí para la obtención de otros títulos.

Y me comprometo a presentar el Compromiso Documental de Supervisión en el caso que el original no esté depositado en la Escuela.

En Lugo, **01 de octubre de 2021.**

D. Enrique Rafael Arbones Maciñeira

En condición de: **Tutor/a y director/a**

Título de la tesis: **Desarrollo de productos mínimamente procesados a partir de patata gallega de calidad**

INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por D/Dña **Manuel Gómez López**, bajo mi dirección/tutorización, y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurre en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

En Lugo, **30 de septiembre de 2021**

AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mi agradecimiento a todas las personas que de algún modo han contribuido a que este trabajo sea presentado:

A Enrique, mi director de tesis, por todo el trabajo y las horas dedicadas, y por las innumerables enseñanzas que he recibido de él. A Julio y al Consejo Regulador de la I.G.P. Pataca de Galicia por toda la ayuda recibida para realizar los diferentes ensayos de este estudio. A Inés por todo el trabajo compartido durante estos años, y por su participación en los experimentos. Al resto de personas que han colaborado durante los procesados, en las sesiones de cata, o de cualquier otra manera en la realización de las diferentes pruebas realizadas en este proyecto.

A todos mis amigos, que de alguna forma han “sufrido” todos estos años de investigación, particularmente a todos los que me han ayudado, de una u otra forma, a conseguir este objetivo. De manera muy especial a Alejandra, por toda la ayuda, los ánimos y el apoyo que me ha dado durante esta última etapa del proceso.

Y un agradecimiento y una dedicatoria muy especial para mis padres, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
1 RESUMEN	1
2 INTRODUCCIÓN	3
2.1 Procesado de frutas y hortalizas	7
2.2 Procesado mínimo de Patata	13
2.3 Calidad y vida útil de la patata mínimamente procesada	13
2.3.1 Variables de calidad	14
2.3.2 Pérdida de calidad	17
2.4 Técnicas de conservación de la patata mínimamente procesada	20
2.4.1 Técnicas para reducir el O ₂ disponible	21
2.4.2 Soluciones antipardeamiento	22
2.4.3 Otras técnicas de inactivación de la polifenoloxidasa (PPO)	25
2.4.4 Almacenamiento del producto a baja temperatura	26
3 OBJETIVOS	27
3.1 Objetivos	27
3.2 Descripción de los trabajos realizados	28
4 METODOLOGÍA	30
4.1 Procesado de patata	30
4.1.1 Materiales	30
4.1.2 Equipos	31
4.1.3 Proceso de elaboración	32
4.2 Métodos y técnicas de análisis	34
4.2.1 Análisis químicos	34
4.2.1.1 Determinación de pH	34
4.2.1.2 Materia seca	35
4.2.1.3 Azúcares reductores	36
4.2.1.4 Vitamina C	39
4.2.1.5 Actividad de agua	43
4.2.1.6 Determinación de gases: %CO ₂	43
4.2.2 Análisis de color CIE _{L*a*b*}	44
4.2.3 Análisis de Textura	46

4.2.4	Análisis sensorial	47
4.2.4.1	Prueba triangular	48
4.2.4.2	Prueba de clasificación por ordenación	49
4.2.5	Análisis microbiológicos	49
4.3	Técnicas de análisis de datos	51
4.3.1	Análisis de la distribución de las variables	51
4.3.2	Análisis de correlaciones simple.	52
4.3.3	Análisis de la varianza.	52
4.3.4	Análisis de datos de las pruebas sensoriales	52
4.3.4.1	Análisis de datos en la prueba triangular:	52
4.3.4.2	Análisis de datos en las pruebas de clasificación por ordenación:	53
4.4	Ensayo 1	54
4.4.1	Diseño experimental	54
4.4.2	Variables estudiadas	58
4.4.3	Análisis de datos	61
4.5	Ensayo 2	62
4.5.1	Diseño experimental	62
4.5.2	Variables estudiadas	63
4.5.3	Análisis de datos	64
4.6	Ensayo 3	65
4.6.1	Diseño experimental	65
4.6.2	Variables estudiadas	68
4.6.3	Análisis de datos	71
5	RESULTADOS	72
5.1	Ensayo 1. Sulfitos, gases de envasado y tiempo.	72
5.1.1	Variables químicas	72
5.1.2	Variables de color	80
5.1.3	Variables de textura	91
5.1.4	Variables microbiológicas	94
5.1.5	Variables sensoriales	96
5.1.6	Resumen ensayo 1	97
5.2	Ensayo 2. Temperatura y cadena de frío.	99
5.2.1	Análisis de la distribución de las variables	99
5.2.2	Análisis de varianza	101
5.2.3	Análisis de correlación lineal	104
5.2.4	Resumen ensayo 2	106
5.3	Ensayo 3. Etiqueta limpia y temperatura.	107
5.3.1	Análisis de la distribución de las variables	107
5.3.1.1	Variables Químicas	107
5.3.1.2	Variables de Color	110

5.3.1.3	Variables de Textura	114
5.3.1.4	Variables Microbiológicas	115
5.3.2	Análisis de correlación lineal	117
5.3.3	Análisis de la varianza	121
5.3.4	Análisis sensorial	128
5.3.4.1	Prueba triangular	128
5.3.4.2	Prueba de clasificación por ordenación	129
5.3.5	Resumen ensayo 3	132
6	DISCUSIÓN	133
6.1	Tiempo de almacenamiento	133
6.2	Gases de envasado	134
6.3	Soluciones antipardeamiento	135
6.3.1	Soluciones antipardeamiento y propiedades químicas	135
6.3.2	Soluciones antipardeamiento y componentes del color	138
6.3.3	Soluciones antipardeamiento y textura	139
6.3.4	Soluciones antipardeamiento y propiedades sensoriales	140
6.3.5	Soluciones antipardeamiento y propiedades microbiológicas	142
6.4	Temperatura	143
6.4.1	Temperatura de almacenamiento y propiedades químicas	143
6.4.2	Temperatura de almacenamiento y componentes del color	144
6.4.3	Temperatura de almacenamiento y textura	144
6.4.4	Temperatura de almacenamiento y propiedades microbiológicas	144
6.4.5	Temperatura de almacenamiento y propiedades sensoriales	145
6.5	Resumen de efectos y decisiones	146
7	CONCLUSIONES	150
8	BIBLIOGRAFÍA	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la producción de patata en España entre el año 2009 y el año 2019 (Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación, 2021)	5
Figura 2. Evolución de la producción de patata en Galicia entre el año 2009 y el año 2019 (Consellería do Medio Rural, 2019)	5
Figura 3. Operaciones para el procesado mínimo de vegetales	11
Figura 4. Ejemplo de gráfica fuerza-deformación obtenida en un análisis de textura de una muestra de patata (Piñeiro-Iglesias, 2019).	17
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de envasado de patatas mínimamente procesadas, envasadas en atmósfera modificada.	33
Figura 6. Gráfico de dispersión para la variable materia seca (MS) frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).....	74
Figura 7. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable materia seca (MS) frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).....	75
Figura 8. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable azúcares reductores (AR), frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti) (izquierda) y frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti) (derecha).....	75
Figura 9. Gráfico de dispersiones para la variable vitamina C (VC) frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).....	76
Figura 10. Gráfico de dispersiones para la variable %CO ₂ frente al tiempo de almacenamiento (Ti).....	77
Figura 11. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable %CO ₂ frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de atmósfera modificada (G).	77
Figura 12. Gráfico de interacciones de los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti), para la variable %CO ₂	78
Figura 13. Gráfico de dispersión de la variable pH frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti), tipo de atmósfera modificada (G) y tipo de disolución antipardeante (A).....	79
Figura 14. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable actividad de agua (a _w) frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).....	79
Figura 15. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable L* del color medida en tiras de patatas en crudo (Lt(Cr)), frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).	82
Figura 16. Gráfico de intervalos de confianza de la media para el componente del color b* medido en titas de patatas fritas bt (f) frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A).	83

Figura 17. Gráficos de intervalos de confianza de la media para el parámetro del color L^* medido en el exterior de patatas crudas sin cortar ($Le(Cr)$) y en la superficie de patatas crudas cortadas en tiras ($Lt(Cr)$) frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).....	84
Figura 18. Gráficos de intervalos de confianza de la media para el parámetro del color a^* medido en patata en el exterior de la patata cruda sin cortar($ae(Cr)$) y en la superficie de patatas crudas cortadas en tiras ($at(Cr)$) frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).....	85
Figura 19. Gráfico de dispersión para las variables L^* y a^* (izquierda) y para las variables L^* y b^* (derecha), agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti) y por tipo de disolución antipardeante (A).....	86
Figura 20. Gráfico de dispersión para las variables L^* y a^* , para producto crudo, agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti) y por tipo de disolución antipardeante (A).	87
Figura 21. Gráfico de dispersión para las variables L^* y a^* , para producto frito, agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti) y por tipo de disolución antipardeante (A).	87
Figura 22. Gráfico de efectos principales para los factores tipo de atmósfera modificada (G), tipo de disolución antipardeamiento(A) y tiempo de almacenamiento (Ti) sobre la componente L^* del color, para patatas crudas (Cr) y cortadas en tiras (t).	88
Figura 23. Gráfico de interacciones de los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A), para la variable L^* , medidos en patatas crudas (Cr) y cortadas en tiras (t).....	89
Figura 24. Gráfico de interacciones de los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A), para la variable a^* , medidos en patatas crudas (Cr) y cortadas en tiras (t).	89
Figura 25. Gráfico de efectos principales para los factores tipo de atmosfera modificada, tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A) sobre la componente b^* para patatas fritas (f) y cortadas en tiras (t).....	90
Figura 26. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable fuerza máxima (F), frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A).....	92
Figura 27. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable longitud hasta la rotura (L), frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A).....	93
Figura 28. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable de textura trabajo bajo la curva hasta la rotura (W) frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A).....	93
Figura 29. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable F/L frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A).....	94
Figura 30. Gráficos de valores individuales para los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos (AM) y aerobios psicótrofos (AP), durante todo el periodo de almacenamiento.....	95

Figura 31. Gráficos de datos individuales para %CO ₂ y pH, para los distintos tiempos de almacenamiento. Los datos están agrupados por el factor temperatura de almacenamiento (T).....	102
Figura 32. Gráficos de datos individuales para <i>Bacillus cereus</i> (Bc).	103
Figura 33. Gráficos de datos individuales para mohos y levaduras (ML).	104
Figura 34. Gráfico de datos individuales de %CO ₂ para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).	109
Figura 35. Gráfico de datos individuales pH para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).	109
Figura 36. Gráficos de dispersión para las variables L* y a* agrupados por tipo de disolución antipardeamiento (A).	111
Figura 37. Gráficos de dispersión para las variables L* y a* agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti).	111
Figura 38. Gráficos de dispersión para las variables L* y b con respecto al tipo de disolución antipardeamiento (A).	112
Figura 39. Gráficos de dispersión para las variables L* y b* durante el tiempo de almacenamiento (Ti).....	112
Figura 40. Gráficos de datos individuales de L* para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).	113
Figura 41. Gráficos de datos individuales de a* para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).	113
Figura 42. Gráficos de datos individuales para los microorganismos aerobios psicrotrofos (AP), para distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).....	116
Figura 43. Gráficos de datos individuales de <i>Salmonella spp</i> (Ss), para los distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).	116
Figura 44. Gráficos de datos individuales de <i>Staphylococcus aureus</i> (Sa), para los distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).	117
Figura 45. Gráficos de dispersión de H* frente a a* y de C* con relación a b*, agrupando los puntos por el tipo de disolución antipardeamiento utilizada (A).	119
Figura 46. Gráficos de dispersión entre la variable %CO ₂ y el pH durante su periodo de almacenamiento (izquierda) y de estas mismas variables frente al efecto de los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y temperatura de almacenamiento (T) (derecha).	120
Figura 47. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de %CO ₂ para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.	123

Figura 48. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de color L* para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento	123
Figura 49. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de color H* para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.	124
Figura 50. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de textura F por niveles del factor presencia de disolución antioxidante (A), durante las 3 semanas de almacenamiento.	125
Figura 51. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de textura L por niveles del factor presencia de disolución antioxidante (A), durante las 3 semanas de almacenamiento	126
Figura 52. Gráfico de intervalos de confianza de la media y de datos individuales de la variable de textura W para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.	126
Figura 53. Gráfico de datos individuales de la variable de mohos y levaduras (ML) para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.	127
Figura 54. Gráficos de datos individuales de <i>Bacillus cereus</i> (Bc), para los distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de composición de la patata (Datos obtenidos en Moreiras et al. (2013)).	4
Tabla 2. Formas de presentación de las patatas para la determinación de color.	44
Tabla 3. Factores y niveles que se estudian en ensayo factorial del ensayo 1	55
Tabla 4. Descripción del experimento factorial del ensayo 1	57
Tabla 5. Diseño del experimento para realizar la prueba de análisis sensorial realizada en el ensayo 1.	58
Tabla 6. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 1, en función del tipo de corte y cocinado de la patata.	59
Tabla 7. Tipos de variables de calidad estudiadas en el ensayo 1, y niveles del factor tiempo de almacenamiento (Ti) asociadas a cada una de ellas.	60
Tabla 8. Cronología de los análisis sensoriales realizados en el ensayo 1. Tipo de corte y preparación de las muestras estudiadas.	61
Tabla 9. Factores y niveles que se emplean en el diseño experimental del ensayo factorial del ensayo 2.	62
Tabla 10. Descripción del experimento factorial del ensayo 2.	63
Tabla 11. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 2.	63
Tabla 12. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 2, y tiempo de almacenamiento al que se realizaron los análisis.	64
Tabla 13. Factores y niveles del experimento factorial del ensayo 3.	65
Tabla 14. Descripción del experimento factorial del ensayo 3.	66
Tabla 15. Diseño de experimento para realizar el análisis sensorial de clasificación por ordenación, en el ensayo 3.	67
Tabla 16. Diseño de experimento para realizar las pruebas sensoriales mediante prueba triangular, en el ensayo 3.	68
Tabla 17. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 3.	69
Tabla 18. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 3 y tiempos de almacenamiento en los que se realizaron análisis.	70
Tabla 19. Estadísticos descriptivos para las variables químicas del ensayo 1: materia seca (MS), azúcares reductores (AR), vitamina C (VC), %CO ₂ , pH y actividad de agua (a _w).	73
Tabla 20. Resumen del análisis de varianza para las variables químicas del ensayo 1: materia seca (MS), azúcares reductores (AR), vitamina C (VC), %CO ₂ , pH y actividad de agua (a _w), frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A), tipo de atmósfera modificada (G) y tiempo de almacenamiento (Ti).	73

Tabla 21. Estadísticos descriptivos de las variables de color (L^* , a^* y b^*) del ensayo 1, para patatas crudas (Cr), fritas (f) y cocidas (Cd). Las medidas se realizaron en la parte externa de patatas enteras (e), en la parte interior de patatas cortadas a la mitad (i) y en patatas cortadas en tiras (t).	80
Tabla 22. Resumen del análisis de varianza de las variables del color del ensayo 1 (L^* , a^* y b^*), para patatas crudas (Cr), fritas (f) y cocidas (Cd). Las medidas se realizaron en la parte externa de las patatas enteras (e), en la parte interior de patatas cortadas a la mitad (i) y en patatas cortadas en tiras (t).	81
Tabla 23. Estadísticos descriptivos para las variables de textura del ensayo 1: fuerza máxima (F), longitud de rotura (L), F/L y W.....	91
Tabla 24. Cuadro resumen del análisis de varianza para las variables de textura del ensayo 1: fuerza máxima (F), longitud de rotura (L), F/L y W, frente a los factores tipo de atmósfera modificada (G), tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).	91
Tabla 25. Resultados de las pruebas triangulares del ensayo 1. Se evalúan los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tipo de atmósfera modificada (G).....	96
Tabla 26. Estadísticos descriptivos de las variables del ensayo 2: %CO ₂ , pH, materia seca (MS), las componentes del color (L^* , a^* , b^* , C*, H*), Fuerza máxima de rotura (F), Longitud de rotura (L), F/L, W, <i>Bacillus cereus</i> (Bc) y mohos y levaduras (ML).	100
Tabla 27. Resultados del análisis de la varianza para las variables del ensayo 2: %CO ₂ , pH, materia seca (MS), las componentes del color (L^* , a^* , b^* , C*, H*), fuerza máxima de rotura (F), longitud a la rotura (L), F/L, W, <i>Bacillus cereus</i> (Bc) y mohos y levaduras (ML).	101
Tabla 28. Coeficientes de correlación lineal entre las variables del ensayo 2: %CO ₂ , pH, <i>Bacillus cereus</i> (Bc), mohos y levaduras (ML) en los tiempos de almacenamiento que mostraron efectos significativos de la temperatura de almacenamiento, y la significación de su diferencia a cero.	105
Tabla 29. Estadísticos descriptivos para las variables químicas del ensayo 3: materia seca (MS), %CO ₂ , pH y actividad de agua (a_w), medidas durante el tiempo de almacenamiento.....	108
Tabla 30. Estadísticos descriptivos de las variables de color (L^* , a^* y b^*) del ensayo 3, medidas durante el almacenamiento de 3 semanas.....	110
Tabla 31. Estadísticos descriptivos para las variables de textura del ensayo 3: fuerza máxima (F), Longitud a la rotura (L), F/L y W, medidas durante el tiempo de almacenamiento.	114
Tabla 32. Estadísticos descriptivos para las variables microbiológicas del ensayo 3: <i>Salmonella spp</i> (Ss), <i>Staphylococcus aureus</i> (Sa), aerobios psicrotrofos (AP), <i>Bacillus cereus</i> (Bc) y mohos/levaduras (ML), medidas en 4 puntos de su tiempo de almacenamiento.	115
Tabla 33. Análisis de correlación del ensayo 3, para las variables %CO ₂ , pH, actividad de agua (a_w), materia seca (MS), las componentes del color (L^* , a^* , b^* , C*, H*), fuerza máxima de rotura (F), longitud a la rotura (L), F/L, W, <i>Salmonella spp</i> (Ss), <i>Staphylococcus aureus</i> (Sa), aerobios psicrotrofos (AP), <i>Bacillus cereus</i> (Bc) y mohos/levaduras (ML).....	118

Tabla 34. Resultados del análisis de la varianza para las variables del ensayo 3: %CO ₂ , pH, actividad de agua (a _w), materia seca (MS), las componentes del color (L*, a*, b*, C*, H*), fuerza máxima de rotura (F), longitud a la rotura (L), F/L, W, <i>Salmonella spp</i> (Ss), <i>Staphylococcus aureus</i> (Sa), aerobios psicrotrofos (AP), <i>Bacillus cereus</i> (Bc) y mohos/levaduras (ML).	122
Tabla 35. Resultados de las pruebas triangulares realizadas en el ensayo 3.	129
Tabla 36. Sumatorio de las ordenaciones realizadas por los jueces en la prueba de clasificación por ordenación del ensayo 3 (La peor valorada por los jueces se le asigna orden 1 y la mejor orden 4).....	130
Tabla 37. Prueba de Friedman para determinar si había diferencias entre las muestras elaboradas para la prueba sensorial del ensayo 3.	130
Tabla 38. Niveles de significación según la prueba de Friedman, para las diferencias entre pares de tratamientos realizados a las muestras, en función de los factores tipo de tratamiento antipardeamiento (A) y temperatura de almacenamiento (T).....	131
Tabla 39. Resultados de significación para el test de Page, para los tratamientos realizados a las muestras, en función de los factores estudiados en el ensayo 3, tipo de tratamiento antipardeamiento (A) y temperatura de almacenamiento (T).	131

1 RESUMEN

La patata es uno de los cultivos de uso alimentario más importantes y extendidos a nivel mundial, manteniendo esta importancia tanto en España, como en Galicia. Parte de la producción gallega se cultiva, envasa y comercializa bajo el sello de la I.G.P. Pataca de Galicia. Esto garantiza altos estándares de calidad que se traducen en un valor añadido de este producto con respecto al no acogido a la indicación.

El consumo de vegetales mínimamente procesados ha aumentado mucho en los últimos años, debido a este valor añadido que confiere a los vegetales frescos. Estos productos ofrecen al consumidor, por un lado, un producto con atributos similares a los del producto fresco, y por otro, beneficios en cuanto al tiempo de preparación y al espacio de almacenamiento. Uno de estos vegetales que se están procesando mínimamente en los últimos años es la patata. El principal problema de estas presentaciones de derivados de patata es que una vez pelados y cortados, estos productos tienen un tiempo de vida corto. Sus alteraciones más notables son el pardeamiento y las originadas por contaminaciones microbiológicas.

Teniendo en cuenta esto, en este trabajo se realizó la optimización del proceso de elaboración, con el propósito de reducir estas alteraciones, ensayando el uso de atmósferas modificadas, el tratamiento con sustancias antipardeamiento y el almacenamiento a distintas temperaturas. Además, se determinó el tiempo de vida útil para este producto en las condiciones optimizadas. Para conseguir esto se realizaron una serie de tres ensayos factoriales y pruebas sensoriales paralelas a cada ensayo, siguiendo una estrategia de investigación secuencial. En ellos se evaluaron los efectos de los factores tiempo de almacenamiento, tipo de atmósfera modificada, tipo de disolución antipardeamiento y temperatura de almacenamiento. El estudio se llevó a cabo siguiendo la evolución de las propiedades químicas, de color, de textura, microbiológicas y sensoriales de la patata así procesada.

Se probaron dos de los gases de envasado que más se utilizan en atmósferas modificadas usadas en vegetales: N₂ puro y mezcla de N₂ y CO₂ (88%/12%). Los resultados obtenidos muestran que la más adecuada para este tipo de producto es la que utiliza N₂, sobre todo por

cuestiones económicas y de manejo, ya que las diferencias mostradas en los análisis de las variables de calidad con respecto al otro tipo de atmósfera utilizada son pequeñas.

Por otro lado, se estudiaron tres de los aditivos que más se usan en el tratamiento de la patata mínimamente procesada como agentes antipardecimiento: ácido ascórbico, ácido cítrico y metabisulfito potásico. La aplicación del tratamiento se realizó por inmersión de las patatas durante 3 minutos a temperatura ambiente en 3 tipos de disoluciones: con los tres productos (0,5% / 0,5% / 0,5%), con ácido ascórbico y ácido cítrico (0,5% / 0,5%), y también sin ningún aditivo. Con este planteamiento, se estudió inicialmente la posibilidad de prescindir de los sulfitos como aditivos, debido a los problemas de salud que pueden provocar cuando se usan en productos que se consumen crudos. Además, se analizó la posibilidad de no usar ningún tipo de aditivo, pudiendo así obtener una etiqueta limpia para el producto. Los resultados nos muestran que no se aconseja la utilización del metabisulfito potásico como aditivo antipardecimiento, debido a la pérdida de calidad del producto, sobre todo durante almacenamientos largos. En cambio, sí se considera necesaria la utilización de la solución antipardeciente de ácido ascórbico y ácido cítrico, ya que en su ausencia se compromete la seguridad alimentaria y la calidad del producto durante el almacenamiento.

Además, se probaron dos temperaturas de almacenamiento 2 °C y 8 °C, junto a un almacenamiento alternando estas dos temperaturas para incluir en el estudio la problemática de la pérdida de la cadena de frío. Los resultados muestran la importancia de almacenar el producto a bajas temperaturas, próximas a los 2 °C, y la necesidad de cuidar el mantenimiento de la cadena de frío hasta el momento del consumo.

El último factor estudiado fue el tiempo de almacenamiento, lo que permitió establecer la vida útil de la patata procesada y almacenada en las condiciones indicadas: procesado mínimo con envasado en atmósfera modificada de nitrógeno, tratamiento antipardecimiento con disolución de ácido ascórbico + ácido cítrico (0,5%/0,5%), almacenamiento a 2 °C y conservación en frío hasta su consumo. Se realizaron determinaciones de las variables de calidad con una frecuencia semanal y una duración máxima, en los diferentes ensayos, de 4 semanas. Se estableció en 2 semanas el tiempo de vida útil aconsejado para que este producto sea comercializarlo manteniendo altos estándares de calidad, remarcando también la importancia de mantener unas condiciones adecuadas de higiene durante el proceso.

2 INTRODUCCIÓN

La patata (*Solanum tuberosum* L.) a lo largo de la historia, este tubérculo se ha utilizado para diversos usos como en agricultura de subsistencia, como alimento de animales, en consumo directo o en forma de producto procesado por parte de la industria alimentaria (López et al., 2013; Piñeiro-Iglesias, 2019). Es una dicotiledónea herbácea anual que pertenece a la familia de las Solanáceas. Potencialmente es una planta perenne debido a que es capaz de reproducirse por tubérculos, desarrollando nuevas plantas idénticas a la planta madre desde el punto de vista genético. Estos tubérculos se forman por el hinchamiento de los tallos subterráneos modificados, llamados estolones, en los que se acumulan sustancias de reserva (Alonso Arce, 2002).

Es un alimento que contiene gran cantidad de hidratos de carbono, mayoritariamente en forma de almidón. Su parte proteica presenta un alto contenido en aminoácidos y proteínas de alto valor biológico. Tienen cantidades significativas de vitaminas, principalmente la vitamina C, aunque también presenta una proporción importante de vitaminas del complejo B (B1, B3 y B6). Además, es rica en fibras vegetales. Estas vitaminas se concentran en la piel de la patata, pero en esta parte también se presentan la mayor parte de los elementos tóxicos presentes en la misma, por ello hay que almacenarlas en la oscuridad para evitar el reverdecimiento de la misma, que puede provocar la acumulación de elementos de este tipo como la solanina (Bobo, 2014). La patata también aporta minerales como fósforo, hierro y magnesio, aunque las cantidades más importantes son las de potasio. Otras sustancias presentes en este alimento son los carotenoides, siendo la violaxantina, anteraxantina, luteína, los más abundantes, mientras que la neoxantina, betacriptoxantina, zeaxantina y b-carotenos se encuentran en cantidades menores (Valero et al., 2018).

Tabla 1. Tabla de composición de la patata (Datos obtenidos en Moreiras et al. (2013)).

	Por 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	88
Proteínas (g)	2,5
Lípidos totales (g)	0,2
Hidratos de carbono (g)	18
Fibra (g)	2
Agua (g)	77,3
Calcio (mg)	9
Hierro (mg)	0,6
Yodo (μg)	3
Magnesio (mg)	25
Zinc (mg)	0,3
Sodio (mg)	7
Potasio (mg)	570
Fósforo (mg)	50
Selenio (μg)	1
Tiamina (mg)	0,1
Riboflavina (mg)	0,04
Equivalente niacina (mg)	1,5
Vitamina B ₆ (mg)	0,25
Folatos (μg)	12
Vitamina B ₁₂ (μg)	0
Vitamina C (mg)	18
Vitamina A: Eq. Retinol (μg)	0
Vitamina D (μg)	0
Vitamina E (mg)	0,1

Es uno de los cultivos de uso alimentario más importantes y extendidos a nivel mundial solo por detrás de la caña de azúcar, maíz, arroz y trigo, con una producción en 2019 de 370.436.581 toneladas (FAOSTAT, 2019) y también muy importante en España donde se han producido 2.259.320 toneladas en el año 2019. Como se muestra en la figura 1, en los datos de producción de los últimos 10 años en España, se ve una tendencia a reducir la producción

de patata, pasando de tener 2.719.300 toneladas en el año 2009 a los valores que se han comentado para el año 2019, a pesar de que en el año 2019 la producción a sufrido un aumento (Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación, 2021).

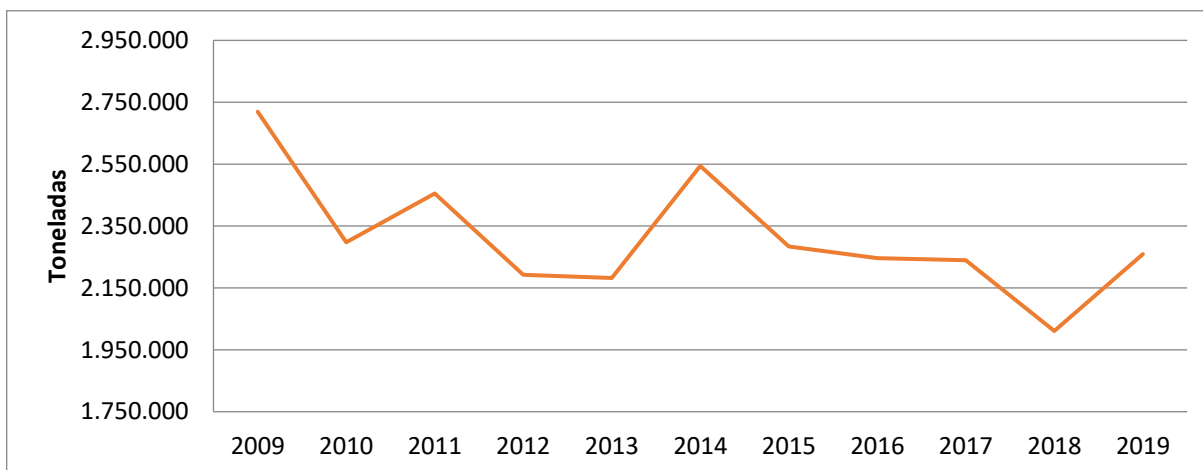


Figura 1. Evolución de la producción de patata en España entre el año 2009 y el año 2019 (Ministerio de Agricultura, pesca y Alimentación, 2021)

En Galicia también se presenta como un cultivo importante, con una producción en ese mismo año 2019 de 371.983 toneladas, siendo la provincia de Ourense la que tiene la mayor producción con 204.393 toneladas. La evolución en los últimos 10 años es parecida a la española, presentando un descenso en la producción desde las 537.084 toneladas del año 2009 hasta los últimos datos disponibles del año 2019 (figura 2).

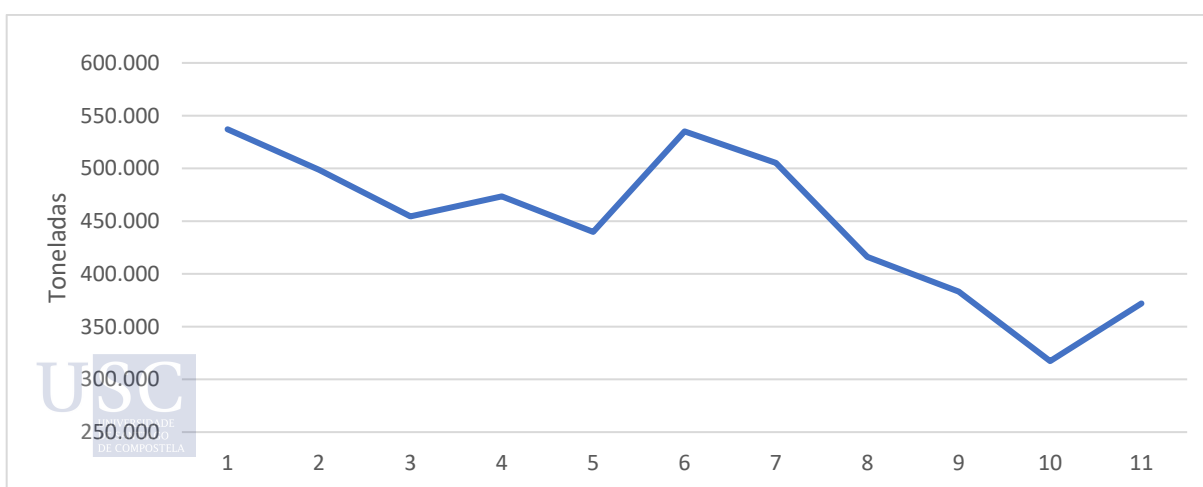


Figura 2. Evolución de la producción de patata en Galicia entre el año 2009 y el año 2019 (Consellería do Medio Rural, 2019)

Las patatas producidas en Galicia muestran una serie de características que las diferencian de las patatas producidas en otras zonas de España, influenciadas por las condiciones climáticas particulares y las características del suelo. Teniendo en cuenta esto, se ha creado la Denominación específica “Patata de Galicia” (Comisión Europea, 2007), aplicable a las patatas de las variedades Kennebec, Agria y Fina de Carballo.

La variedad Kennebec es la que se cultiva mayoritariamente desde hace más de 6 décadas y goza de gran prestigio en el mercado gallego y español (Piñeiro-Iglesias, 2019). Presenta forma redondeada u ovalada, presencia de ojos superficiales piel de apariencia fina y lisa, color de la piel amarillo claro, y carne color blanco (Xunta de Galicia, 2021).

Las patatas susceptibles de ser amparadas deberán tener un calibre mínimo de 35mm. No obstante, se admitirá la comercialización de patatas con un calibre comprendido entre 18mm y el mínimo citado, bajo la denominación “patata menuda fuera de calibre”, u otra designación de venta equivalente. Además, en el apartado referente a sus características analíticas, éstas deben cumplir el tener un contenido en materia seca superior al 18% y un contenido en azúcares reductores inferior al 0,4%. La zona de producción de esta patata se extiende a toda Galicia (Xunta de Galicia, 2021).

La imagen de calidad de determinados productos puede contribuir a mejorar la posición competitiva e, incluso, al éxito comercial de las empresas agroalimentarias en Europa (Juste and Gómez, 2002; Cambra, 2008). Las condiciones y diversidad del medio natural tanto de Europa como de España son favorables para desarrollar una oferta de productos alimentarios de calidad vinculada al origen de estos, sirviendo éste como elemento esencial de diferenciación (Cambra, 2008). Desde el punto de vista del mercado, esta calidad deberá estar contrastada y garantizada, ya sea por la imagen de marca del productor (Clarke et al., 2000) como por organismos específicos (Henson and Caswell, 2001). Esta garantía de calidad de estos productos repercutirá positivamente en la comercialización del producto, tanto desde un punto de vista de volumen de ventas, como en el precio del producto, que permitirá repercutir un mayor beneficio al productor y al comercializador del producto.

El número de D.O.P., I.G.P. y E.T.G. en España se ha ido incrementando paulatinamente con el paso de los años teniendo 196 productos agroalimentarios amparados en alguna de estas categorías en el año 2019 (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2019).

En cuanto al consumo de patata en España, en el año 2020 se rompe la tendencia detectada a largo plazo hasta 2019 con evolución decreciente en nuestro país. Desde el año 2008 se había producido una tendencia constante de reducción de consumo. Si nos centramos en el medio plazo, la compra de patatas comparando el 2020 con el año 2013 se incrementa el 6,7 %. Todos los tipos de patata evolucionan en positivo, aunque el mayor volumen lo aportan las patatas frescas. La mayor proporción de los kilos comprados son para el consumo en el hogar ya que suponen el 71,9 % del volumen, con una evolución muy positiva en el último año, incrementándose un 15,9 %. En valor económico también es el tipo de patata con mayor cuota, aunque con un porcentaje menor que en el caso del volumen de mercado, representando un 66,7 % de la facturación total. Esta diferencia es debida al precio medio menor que en el caso de patatas procesadas. En importancia le siguen las patatas procesadas que acaparan un 24,9 % del volumen, y en valor económico representan el 28,9 % de la facturación y con una evolución muy positiva del 25 % con respecto al año anterior en gasto. Con menor cuota de mercado se encuentran las patatas congeladas, no llegan a ser el 5 % del mercado, pero también consigue evoluciones positivas tanto en volumen como en valor económico de 14,1 % y 16,1 % respectivamente. En cuanto a los canales de distribución de la patata, el supermercado y autoservicio son el canal con mayor cuota de mercado seguido por la tienda tradicional. A cierre del año 2020, los supermercados acumulan la mayor cuota en volumen con el 37,7 % y la tienda tradicional la segunda con el 22,7 %. En ambos casos con crecimientos superiores a la media del mercado, destacando el incremento de la tienda tradicional del 19,6 % (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2021).

2.1 PROCESADO DE FRUTAS Y HORTALIZAS

En la actualidad, los diferentes modelos de producción de alimentos se adecuan a los gustos y exigencias del mercado. Este a su vez recoge, por un lado, las demandas de la industria procesadora, y por otro de los consumidores de patata sin procesar (Piñeiro-Iglesias, 2019). Mientras los consumidores demandan una mayor calidad organoléptica y nutricional, las industrias exigen tubérculos uniformes y en correcto estado sanitario, de maduración y conservación.

La calidad de los tubérculos es una característica, que depende de una serie de parámetros físicos y químicos, que pueden ser medidos objetivamente. Por tanto, quien determina que se

entiende por calidad de un producto es el destinatario del mismo (Bourne, 2002). De esta manera, los parámetros deseables en cuanto a la calidad no son los mismos para el consumidor final de un producto en fresco, que para la industria transformadora de ese producto para su venta como producto procesado (Piñeiro-Iglesias, 2019).

El consumidor presta atención a propiedades organolépticas como la apariencia externa (color, forma, tamaño, brillo, estado sanitario, etc.), el sabor (asociado a la composición en determinadas sustancias) o el olor (partículas volátiles). La industria procesadora a su vez intenta suministrar productos con esos mismos estándares, pero para ello tiene que partir de un producto que le permita hacerlo al ser transformado, por lo que establece sus propios parámetros de calidad en la recepción del producto (Taylor et al., 2007). Así, por ejemplo en la industria de la transformación de patata en barritas, desde un punto de vista de características de composición, entre otras, buscan que: el contenido de azúcares reductores sean menos de 2,5 g/Kg en materia fresca, ya que contenidos superiores dan productos con colores y sabores no aceptables por los consumidores; y contenidos en materia seca de entre 220 y 240 g/Kg, dado que influye en la textura y la capacidad de absorber aceite durante la fritura (Gallego et al., 2006).

La variabilidad de los precios de producción de frutas y hortalizas, y los cambios en las tendencias de consumo en los países desarrollados durante las últimas décadas, han inducido a que los productores tradicionales de este tipo de cultivos, hayan enfocado su producción hacia la industria procesadora, dado que este tipo de comercialización proporciona valor añadido al producto y diversifica sus posibles usos (McGregor, 2007).

Unos de los productos que más auge están teniendo son los denominados de "IV gama". Esta denominación tiene un gran abanico de términos, donde resaltan algunos como: mínimamente procesados, parcialmente procesados, frescos cortados, precortados, preparados para consumir, preparados para cocinar o prepreparados. Estos productos, fundamentalmente, son frutas y hortalizas frescas que son sometidas al menor número de operaciones de procesado, evitando así una gran transformación del producto, lo que les permite mantener las características del producto fresco y su máxima calidad. (Bobo, 2014).

Las frutas y hortalizas recién cortadas se están desarrollando rápidamente en la industria mundial de procesamiento de alimentos (Saltveit, 2018). El mercado de vegetales

mínimamente procesados está creciendo sostenidamente desde los años 80 y 90, marcado por una continua innovación en los productos y por la mejora de los canales de distribución. Se inició con una pequeña gama de productos dirigida sobre todo al sector de la hostelería, particularmente a la venta de comida rápida, convirtiéndose actualmente en una gran industria con una amplia variedad de productos que son comercializados en el sector de la hostelería y la restauración y especialmente para su venta directa en supermercados y grandes superficies (Aguerri Esparza, 2014; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2021).

Los productos mínimamente procesados aportan un valor añadido a los vegetales frescos. Estos productos ofrecen al consumidor, por un lado, un producto con atributos similares a los del producto fresco, y por otro, beneficios en cuanto al tiempo de preparación y al espacio de almacenamiento (Gunes and Lee, 1997). En la actualidad, el consumidor es más consciente de la importancia de una buena alimentación, con lo que reconoce la importancia de la incorporación de las frutas y hortalizas frescas en la dieta diaria, por su alto contenido de vitaminas, antioxidantes, minerales, fibra, hidratos de carbono y agua, así como de otras sustancias fitoquímicas que pueden ayudar tener esta alimentación. Debido a esto, busca nuevas alternativas que sean saludables, según se ve reflejado en la gran cantidad de nuevos productos enriquecidos con vitaminas y otros nutrientes, que se encuentran actualmente en el mercado. Pero estilo de vida también ha cambiado, y cada vez cuenta con menos tiempo para preparar y comer los alimentos que cumplan con estas características, por lo que busca productos alternativos nutritivos, sabrosos, variados y fáciles de cocinar, procesar o consumir (Cavauiolo et al., 2015). Debido a esta combinación de frescura y comodidad, en los últimos años, las ventas de productos vegetales pelados y precortados, por tanto, listos para consumir o cocinar, han aumentado (Thybo et al., 2006).

Pero estos productos vegetales recién cortados tienen el problema de que son muy perecederos, debido a los daños causados por el procesado mínimo. Debido a esto, el período de comercialización está limitado a aproximadamente 7 a 20 días. El uso de tratamientos químicos para preservar la calidad de estos productos mediante la inmersión en soluciones que contienen agentes antipardeantes, la exposición a sustancias volátiles activas o la aplicación de revestimientos comestibles son algunas de las estrategias para la distribución comercial exitosa de dichos productos. La calidad y la vida útil de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas depende de las características fisiológicas, bioquímicas y

microbiológicas de la materia prima vegetal o de la fruta y del efecto del procesamiento y posterior conservación (Oms-Oliu et al., 2010). El proceso de deterioro de estos productos se acelera fundamentalmente por alteraciones de cambios físico-mecánicos (deshidratación, golpes, etc.), microbiológicos (mohos, levaduras y bacterias) y bioquímicos (pardeamiento enzimático, oxidaciones, alteraciones de aroma y sabor, etc.). Las alteraciones producidas aumentan con un mayor grado de procesamiento (Artes et al., 2007; Ohlsson, 1994) junto con mayores temperaturas de proceso y almacenamiento (Bobo, 2014).

Estos productos mínimamente procesados son sometidos a diversas operaciones de procesado (figura 3), tales como pelado, cortado, lavado, tratamiento con aditivos, envasado y almacenamiento en frío, que persiguen la conservación mediante una combinación de tratamientos parciales minimizando el impacto de dichas operaciones. Estos productos no son sometidos a ningún tratamiento térmico para la destrucción de microorganismos, sino que sus tejidos mantienen sus funciones metabólicas activas hasta que llegan al consumidor final. La conveniencia que ofrecen estos productos, en términos de calidad, disponibilidad, facilidad de preparación, valor nutritivo, sabor y seguridad, responde a las necesidades y preferencias del consumidor. Son alimentos que mantienen las características de los productos frescos recién cortados (Montero-Calderón et al., 2009). Las operaciones básicas que componen el procesado mínimo de diferentes vegetales se resumen a continuación (figura 3):

- Recepción y selección de la materia prima.

La calidad inicial de los productos frescos cortados depende principalmente de las variedades que se utilicen, las prácticas antes y después de la cosecha, factores climáticos, índices y método de cosecha, el tiempo que transcurre entre la cosecha y el procesado, y la forma y los equipos con que éstos son preparados (Kader, 2002; Lamikanra et al., 2005; Varoquaux and Wiley, 2017). Por tanto, es de vital importancia para tener un producto mínimamente procesado de calidad, seleccionar una materia prima adecuada.

- Pelado.

El pelado es una de las operaciones que es necesario realizar en el procesado mínimo de muchas frutas y hortalizas ya que para preparar este tipo de productos es necesario eliminar el material no comestible. Existen varios métodos de pelado de vegetales, de los cuales se pueden destacar los pelados al vapor, a cuchillo, por abrasión, cáustico y a la llama.

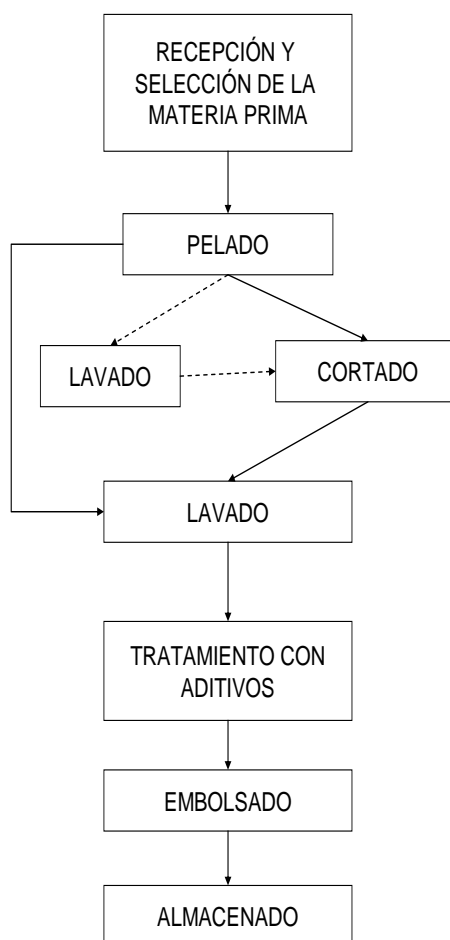


Figura 3. Operaciones para el procesado mínimo de vegetales

- Lavado.

El lavado es aquella operación unitaria en la que el alimento se libera de sustancias diversas que lo contaminan, dejando su superficie en condiciones adecuadas para su elaboración posterior (Wiley and Fernandez-Salguero, 1997)

- Cortado.

El cortado es una operación unitaria que se usa para obtener el producto en formas y tamaños prefijados. Es una de las operaciones que causas más daños a la patata y que puede propiciar la degradación del mismo. Los tejidos de las frutas y hortalizas frescas cortadas están vivos y por ello, responden a los cortes realizados durante su preparación con un aumento en su actividad fisiológica y una mayor susceptibilidad al deterioro, pues al quitar la piel y disminuir su tamaño se rompen tejidos y se expone una mayor área a las condiciones

ambientales externas, favoreciendo la pérdida de humedad, el ablandamiento de los tejidos, la pérdida de aromas, los cambios de color y la entrada de microorganismos indeseables (Rojas-Graü et al., 2006).

- Tratamiento con aditivos.

Algunos tratamientos estabilizantes ayudan a conservar la calidad de estos productos, tales como la inmersión en soluciones de sales de calcio para conservar la firmeza del producto, agentes antioxidantes para controlar los cambios de color, el uso de sustancias antimicrobianas para controlar el crecimiento de microorganismos indeseables, y otros tratamientos coadyuvantes dirigidos a retardar su deterioro y prolongar su vida comercial, sin afectar sus atributos sensoriales (Rojas-Graü et al., 2006).

- Envasado.

Por otro lado, es necesario el uso de un envase apropiado con el fin de proteger al producto contra daños físicos a la vez de ofrecer una barrera a la entrada de microorganismos indeseables y la salida de compuestos volátiles aromáticos. Actualmente, existe en el mercado una gran variedad de materiales poliméricos con distintas características de permeabilidad al oxígeno y al dióxido de carbono, con los cuales puede alcanzarse una correcta modificación de la composición de los gases dentro del envase (Oliveira et al., 2015).

El uso de atmósferas modificadas ayuda a retardar la aparición de síntomas de deterioro como la pérdida de firmeza, cambios en el color y apariencia del producto y reducción de la tasa de respiración, con lo cual la vida útil puede prolongarse significativamente. Sin embargo, el efecto difiere según el tipo de producto, la composición de los gases y las características de los envases (Montero-Calderón et al., 2009).

Las atmósferas más utilizadas en la industria alimentaria son las que están formadas por alguno o por varios de los siguientes gases: nitrógeno, anhídrido carbónico y oxígeno.

- Almacenaje.

El almacenaje de este tipo de productos mínimamente procesados debe de realizarse en refrigeración.

2.2 PROCESADO MÍNIMO DE PATATA

El uso de la patata por parte de la industria alimentaria se remonta a finales del siglo XIX en E.E.U.U. Pero, en este país, esta gama de productos industriales no se desarrolló de forma comercial hasta finalizada la Segunda Guerra Mundial, propiciados por los grandes avances tecnológicos derivados del conflicto y las modas culinarias que sobre todo había en Europa (McGregor, 2007). Esto hizo que el sector comenzara a expandirse, inicialmente dentro del propio país y posteriormente en el resto de los países desarrollados, sobre todo con productos produciendo productos como patatas chips, patatas congeladas, cremas, sémolas o como ingrediente en la elaboración de otros alimentos (Piñeiro-Iglesias, 2019).

Con los datos actuales, se calcula que más de mil millones de personas en el mundo consumen patata diariamente. El 60% de esta patata se procesa comercialmente y el resto se usa en el sector de servicios alimentarios y en los hogares (Furrer et al., 2018).

La forma de consumo de la patata más habitual es cocida, hervida o frita, pero la composición inicial de la patata, el tratamiento realizado y la intensidad del mismo pueden tener diferente repercusión sobre la calidad final de la patata, y, por lo tanto, sobre su aceptación a la hora del consumo (Piñeiro-Iglesias, 2019).

Las patatas peladas, crudas y envasadas constituyen alternativas mínimamente procesadas y listas para cocinar a otro tipo de patatas procesadas (Thybo et al., 2006). Generalmente, estas patatas, tienen un procesado similar al del resto de vegetales mínimamente procesados. Teniendo en cuenta esto, las patatas se lavan, pelan, cortan y se tratan con aditivos alimentarios, se envasan en material de empaquetado y luego se almacenan a temperatura de refrigeración (Rashid et al., 2021).

2.3 CALIDAD Y VIDA ÚTIL DE LA PATATA MÍNIMAMENTE PROCESADA

Los factores que principalmente afectan a los procesos de deterioro que sufre la patata mínimamente procesada y que por tanto disminuyen la calidad y la vida útil de esta son: Las características iniciales de la materia prima, las condiciones del procesado y las condiciones de conservación.

- Características de la materia prima.

La calidad y la vida útil de los alimentos mínimamente procesados dependen parte de las características fisiológicas, las microbiológicas y las bioquímicas de la patata. De ellas dependerá lo afectada que se muestren la patata a los diferentes procesos de deterioro (Bobo, 2014). Así factores de los que depende la fisiología y las características bioquímicas de la patata, como pueden ser el manejo del cultivo, la presencia de enfermedades y la variedad tienen influencia sobre la calidad de esta. También la carga microbiana inicial afecta al deterioro que sufrirá la patata durante el almacenamiento.

- Condiciones de procesado.

El procesado mínimo de la patata acelera el deterioro normal de la patata, provocando en la patata deterioros físicos o mecánicos, microbiológicos y bioquímicos, que provocan un impacto fisiológico, que es mayor, cuanto más grande es el grado de procesado. El pelado y el corte son las partes del procesado que más afectan a la calidad del producto, debido a que tejidos son dañados y quedan expuestos debido a la falta de piel protectora. Estos daños provocan pardeamiento enzimático, una vida útil más corta y una pérdida de la calidad nutricional del producto a menos que se inhiba la acción de la polifenol oxidasa (PPO) (Rocculi et al., 2007; Sapers and Miller, 1995; Beltrán et al., 2005; Limbo and Piergiovanni, 2006).

- Condiciones de conservación.

Influyen de forma determinante en los procesos de deterioro. El envasado, que evite el contacto directo de la patata con el ambiente, y la conservación de la cadena de frío son factores importantes para tener en cuenta a la hora de prolongar la vida útil de estos alimentos.

2.3.1 Variables de calidad

El valor de la calidad de los productos vegetales recién cortadas la establece el consumidor y es una combinación de parámetros que incluyen apariencia, textura, sabor y valor nutricional (Kader, 2002; Rico et al., 2007). Son muchas las variables empleadas para describir la calidad de la patata y otros vegetales mínimamente procesados. Las propiedades físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas en su conjunto influyen en muchos aspectos

del producto, como su seguridad, su valor nutricional, su aceptación por parte del consumidor, o su aptitud para ser conservado, procesado o cocinado. Las distintas operaciones de proceso afectan a dichas variables, por lo que es interesante seguir su evolución a lo largo del proceso y del almacenamiento del producto, especialmente en estudios de desarrollo de procesos. Algunas variables pueden ser determinadas por métodos analíticos o instrumentales, pero para otras hay que acudir a pruebas sensoriales (Piñeiro-Iglesias, 2019).

La calidad microbiológica de estos productos, por razones obvias de seguridad en un producto envasado no asépticamente y en anaerobiosis, ha sido investigada ampliamente en relación con los agentes químicos de conservación, encontrando diferentes autores que han escrito sobre ella (Beltrán et al., 2005; Tsikrika et al., 2021; Mcconnell et al., 2005).

Las frutas y hortalizas recién cortadas albergan una amplia variedad de microorganismos, como bacterias, levaduras y mohos que causan deterioro (Abadias et al., 2008). El 80-90% de las bacterias son gran-negativas, predominantemente especies de *Pseudomonas* y *Enterobacterias*. Las levaduras y los mohos están presentes en menor cantidad que las bacterias, pero, cuando están presentes en grandes cantidades, pueden contribuir al deterioro de los productos fermentados y al desarrollo de podredumbre blanda (Oliveira et al., 2015). Otro microorganismo alterante que puede aparecer en vegetales envasados en atmósfera modificada, sobre todo si tiene presencia de oxígeno, es el *Bacillus cereus* (Valero, M. et al., 2002).

Los vegetales recién cortados también podrían albergar bacterias patógenas capaces de causar infecciones humanas, como *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* y coliformes (Oliveira et al., 2015). En algunos casos, en este tipo de productos, puede detectarse también, si la temperatura de refrigeración no es adecuada, *Staphylococcus aureus*, que es capaz de producir una toxina proteica muy estable al calor (Castro del Campo et al., 2004).

Por otro lado, en muchos casos se estudia microorganismos indicadores. El recuento de aerobios mesófilos y psicrotrofos se utiliza en este tipo de alimentos como indicador del nivel de microorganismos totales, y por tanto de la calidad sanitaria y de la higiene de la manipulación del alimento (Abadias et al., 2008; Laurila et al., 1998; Gunes and Lee, 1997). El *Clostridium perfringens* es una bacteria anaerobia que, en el caso de vegetales

mínimamente procesados, puede actuar como indicador de posibles reacciones anaeróbicas dentro de los envases (Beltrán et al., 2005).

Entre los parámetros químicos, en el caso de la patata, destacan como parámetros importantes para medir la calidad del producto la materia seca y el contenido de azúcares reductores. El estudio del contenido en azúcares reductores en las patatas es complejo y los niveles de concentración aumentan con el grado de madurez del producto (Miller et al., 1975) y las condiciones de almacenamiento (Weaver and Timm, 1983). La vitamina C también es una variable interesante, dado que las patatas son una fuente comprobada de esta vitamina y otros compuestos antioxidantes con efectos beneficiosos para la salud (Ierna et al., 2016). Otro de los parámetros importantes para este producto, y en alimentos en general, es la actividad de agua (a_w), dado que tiene relación directa con la posibilidad de contaminación microbiológica de un alimento (Endo et al., 2008).

En cuanto a las variables físicas, las dos más importantes para patatas mínimamente procesadas son el color y la textura. Numerosos estudios hablan de estas variables e intentan relacionar las medidas objetivas de parámetros como el color y la textura, obtenidos con diferentes aparatos como colorímetros y texturómetros, con resultados obtenidos mediante análisis de tipo sensorial. Otros parámetros como el sabor y el aroma son mucho más difíciles de evaluar objetivamente. El consumidor integra todas las entradas sensoriales (aspecto, textura, olor y aroma) en un juicio final de aceptación de un producto (Rico et al., 2007). Dentro de los métodos de determinación del color en alimentos se ha generalizado el sistema CIEL*a*b (AENOR, 2020) y se ha utilizado en varios estudios para estudiar la evolución de la calidad de patata mínimamente procesada mantenida en atmósferas modificadas con distinta composición (Ma et al., 2010; Angos et al., 2008). La textura es reconocida como un atributo de calidad que contribuye a la aceptación de los alimentos (Nisha et al., 2006; Adhikari et al., 2010). Se cree que la versatilidad de las patatas para usos variados se debe a que distintas variedades poseen diferentes propiedades texturales, por lo que se prefieren algunas variedades frente a otras para algunos productos o cocinados específicos, en parte debido a estas propiedades (Singh et al., 2005). Las medidas se realizan con texturómetros, que proporcionan las curvas de fuerza-deformación (figura 4), que son las utilizadas para calcular los distintos parámetros texturales.

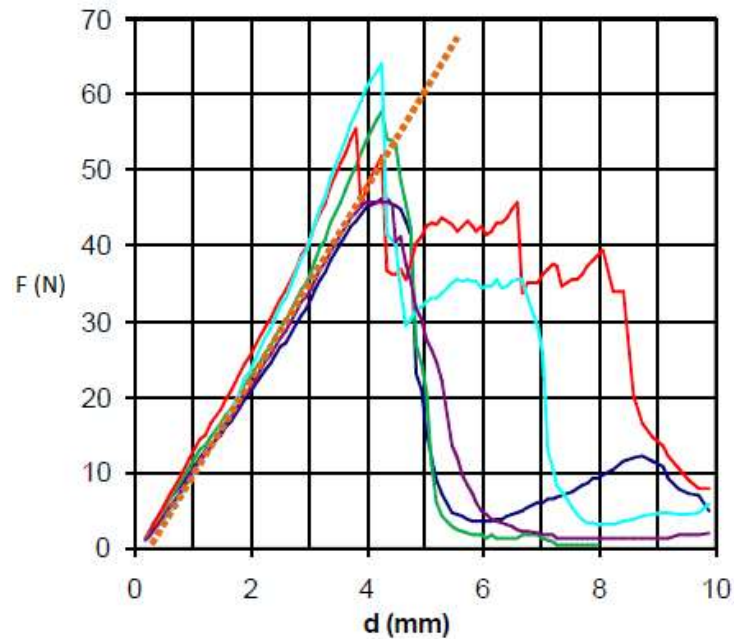


Figura 4. Ejemplo de gráfica fuerza-deformación obtenida en un análisis de textura de una muestra de patata (Piñeiro-Iglesias, 2019).

2.3.2 Pérdida de calidad

Las patatas mínimamente procesadas pueden sufrir diferentes reacciones que pueden provocar la pérdida de calidad del producto. Estas pueden tener origen microbiológico, enzimático, químico o físico y son las causantes de los cambios de color, textura, aroma y valor nutricional del alimento. Los procesos responsables de esta pérdida de la calidad, y por tanto de la reducción de la vida útil, de estos productos más importantes son el pardeamiento enzimático y el desarrollo de microorganismos (Varoquaux and Wiley, 2017; Bobo, 2014).

- Deterioro microbiológico.

La cantidad de microorganismos que van a estar presentes en patata mínimamente procesada va a estar condicionado por varios factores como pueden ser la cantidad de nutrientes en el producto, el estado sanitario de la patata que se va a utilizar, la higiene de las instalaciones y de las propias operaciones del procesado, los efectos que el propio proceso de elaboración puede producir sobre la patata (rotura de tejidos) y las condiciones del almacenamiento (Bobo, 2014; Alzamora et al., 1998).

Debido a sus consecuencias que puede tener para el consumidor la presencia de microorganismos, la seguridad alimentaria es un aspecto fundamental en la industria agroalimentaria. Por tanto, el control de esta flora microbiana es de vital importancia. Para conseguirlo, es necesario realizar recuentos de microorganismos, especialmente de los patógenos, que pueden causar efectos graves sobre la salud de las personas (Perez Cabrera, 2003).

Para el garantizar la seguridad alimentaria de estos productos se deberán seguir los criterios descritos en el Reglamento (CE) n.º 2073/2005 (Comisión Europea, 2005).

Además de estos problemas de seguridad alimentaria, pueden surgir otros problemas en el alimento debido a la presencia de microorganismos que, si bien no van a producir efectos graves sobre la salud de las personas, sí que puede causar ciertas alteraciones no deseadas en sus características sensoriales. Esto va a provocar en dicho producto una pérdida de calidad, que puede llegar al punto de que el alimento no sea válido para ser consumido. Algunos de estos microorganismos alterantes de la calidad importantes en este tipo de alimentos son mohos, levaduras y *Pseudomonas* (Perez Cabrera, 2003). El *Bacillus cereus* también es alterante de la calidad, pero en caso de recuentos mayores de 10^5 - 10^8 UFC/g de alimento tiene la capacidad de producir toxinas que afectan a la salud humana (Sánchez et al., 2016).

Se considera que los productos vegetales que han alcanzado recuentos de microorganismos aerobios totales mayores de 10^7 - 10^9 CFU/g o recuentos de levaduras superiores a 10^5 han alcanzado microbiológicamente hablando el final de su vida útil (Mcconnell et al., 2005).

- Pardeamiento enzimático.

Entre las causas de las alteraciones de las patatas mínimamente procesadas, el pardeamiento enzimático tiene el mayor impacto en su calidad. La apariencia visual, debido a que es un índice de calidad determinante para la aceptación del consumidor, es una de las principales preocupaciones ya que no puede haber un pardeamiento visible en la superficie de la patata, que está normalmente cortadas en tiras, cubos o rodajas. Este pardeamiento enzimático va en detrimento de los principales atributos responsables de las características de calidad organoléptica y nutricionales, y por lo tanto, la calidad comercial de patata mínimamente procesada se ve influenciada por este proceso (Buta and Moline, 2001; Cantos

et al., 2002; Hwang et al., 2002; Bobo-García et al., 2020). Las causas de este fenómeno dependen de muchos factores, algunos de los cuales no están directamente relacionados con la reacción de pardeamiento enzimático sino con otros factores como el clima, fertilización, época en la que se realiza la recolección, manipulación de los tubérculos, almacenamiento, variedad o características externas e internas del tubérculo (Pineli et al., 2006; Cabezas-Serrano et al., 2009; Pardo et al., 2000). A pesar de que estas pueden ser causa de este pardeamiento, la principal causa del pardeamiento en patata mínimamente procesada es la reacción enzimática de la polifenoloxidasas (PPO). Es esencial conocer los fundamentos de esta reacción para ser capaces de incidir en aspectos que se pueden controlar durante las distintas etapas del procesamiento (Bobo-García et al., 2020).

La producción de melanina es la principal causa del pardeamiento enzimático de frutas y hortalizas. El proceso de pardeamiento comienza con la ruptura de las membranas en el tejido vegetal debido a los procesos de procesado mínimo de la patata (Toivonen and Brummell, 2008). Con este estrés físico o con un proceso de deterioro, la estructura de las células comienza a fallar. Como resultado, se forma una mezcla con sustratos fenólicos (polifenoles y catequinas) y enzimas, como la polifenoloxidasas (PPO) y/o fenol peroxidasa (Jiménez and García-Carmona, 1999). La enzima PPO pertenece a las oxidoreductasas y actúan sobre fenoles en presencia de oxígeno (Vamos-Vigyázó, 1981). El pardeamiento consiste en la transformación de sustratos fenólicos en o-quinonas por oxidación. Estas enzimas pueden catalizar dos tipos diferentes de reacciones: la ortohidroxilación de monofenoles, que producen o-difenoles, y la oxidación de o-difenoles que producen o-quinonas. Estas últimas son moléculas muy reactivas que pueden combinarse con grupos amino o sulfhidrilo de proteínas y azúcares a través de una reacción no enzimática que da como resultado polímeros marrones, rojos y negros de alto peso molecular y estructuras desconocidas llamada melanina. La forma en que los sustratos fenólicos naturales contribuyen al pardeamiento enzimático depende de su ubicación y concentración; la intensidad del color de los pigmentos macromoleculares está influenciada por las diferentes formas de quinonas. Aunque ambas reacciones ocurren en el caso de las patatas, predomina la reacción de la o-difenolasa (Yoruk and Marshall, 2003). La formación de o-quinonas es reversible en presencia de agentes reductores, mientras que la polimerización posterior es irreversible. Esta polimerización ocurre a través de reacciones no enzimáticas conocidas como reacciones de Maillard (Bobo-García et al., 2020). Estas reacciones son complejas e implican la condensación entre un grupo

carbonilo de un azúcar reductor y un grupo amino de un aminoácido, un péptido o una proteína. Es una reacción de varias etapas que da como resultado la formación de melanoidinas (do Nascimento et al., 2020).

La prevención del pardeamiento enzimático se produce principalmente mediante el control de algunos de los factores implicados en la reacción de la enzima PPO. Existen diversas formas de reducir el pardeamiento, que son principalmente estos tres: inhibir la actividad de la enzima, eliminar alguno de los dos sustratos en la reacción (oxígeno o polifenoles) o actuar sobre los productos de la reacción enzimática (quinonas). Con esto se busca evitar la formación de pigmentos coloreados a partir de ellos, mediante la reacción no enzimática. (Bobo-García et al., 2020).

Por tanto, se pueden clasificar las técnicas para inhibir la PPO de la siguiente forma:

- Técnicas para reducir el O₂ disponible para la reacción. Mediante el uso de atmósferas modificadas o la aplicación de vacío, así como el control directo y superficial del tejido (usando ciclodextrina o revestimientos comestibles).
- Utilización de agentes conservantes (antipardeamiento). Pueden tener dos tipos de acciones:
 - Inhibición de las reacciones enzimáticas. Usando acidulantes, quelantes compuestos, inhibidores competitivos o inhibidores específicos.
 - Acciones sobre los productos de reacción. Utilizando agentes reductores y agentes quelantes de quinonas.
- Otro tipo de métodos: tratamientos térmicos, altas presiones, ultrasonidos, etc.

Normalmente se emplean métodos en los que se combinan varias de estas técnicas para conseguir sinergias entre ellas y por tanto conseguir mejores resultados, es lo que se denomina tecnología de obstáculos (Bobo-García et al., 2020).

2.4 TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN DE LA PATATA MÍNIMAMENTE PROCESADA

Los métodos de conservación que se emplean de forma habitual en patata mínimamente procesada buscan reducir los dos problemas principales con los que se encuentra este producto, que son el deterioro microbiológico y el pardeamiento enzimático.

Para conseguir esto, actualmente se emplean habitualmente métodos combinados (tecnología barrera o de obstáculos), en los que se produce la aplicación de agentes antipardecimiento, el envasado sin presencia de oxígeno, mediante el empleo de atmósferas modificadas o envasados al vacío y almacenamiento refrigerado, buscando mantener la cadena de frío desde el procesado hasta el consumidor final (Ahvenainen et al., 1998). Para controlar la eficacia de estos métodos será necesario controlar el efecto que tienen sobre las variables de calidad del producto, especialmente sobre el color y la textura (Bobo, 2014).

2.4.1 Técnicas para reducir el O₂ disponible

Las atmósferas modificadas y el envasado al vacío son muy usadas para extender la vida media de un gran número de frutas y hortalizas, debido a que pueden reducir la tasa respiratoria del alimento, los pardecimientos enzimáticos y el crecimiento de algunos microorganismos.

Las atmósferas modificadas, por tanto, son un método efectivo para reducir la degradación de los productos vegetales debido a que pueden inhibir las reacciones catalizadas por PPO y reducen la presencia de oxígeno. (Angos et al., 2008).

El envasado en atmósfera modificada de productos frescos consiste en alterar la atmósfera dentro del envase, eliminando el oxígeno e introduciendo un gas de relleno. Esto tiene como consecuencia que se modifique la interacción natural entre la tasa de respiración del producto y la transferencia de gases a través del material de envasado que, si se logra que esté en equilibrio, repercutirá en un aumento de la vida útil del producto (Oliveira et al., 2015).

Los gases más utilizados en alimentos vegetales son el O₂, CO₂ y N₂. Esto es así porque son los gases que hay presentes de forma natural en el envase, dado que, durante el almacenamiento del producto, se consume O₂ y se genera CO₂ por la respiración del producto. El nitrógeno es un gas inerte que se utiliza como gas de "relleno" para equilibrar la disminución de volumen debido a la absorción de CO₂ y evitar el colapso del paquete (Oliveira et al., 2015).

En la patata la concentración de oxígeno dentro del envase debe descender rápidamente a niveles mínimos para evitar reacciones de pardeamiento (Gunes and Lee, 1997). La composición de la atmósfera protectora es importante para este tipo de productos, debido a que la presencia de oxígeno provoca pardeamientos en la patata. El enfoque tradicional de la modificación de las atmósferas reduce los niveles de oxígeno e incrementa los niveles de dióxido de carbono y de nitrógeno (Gunes and Lee, 1997). Normalmente se usan niveles reducidos de O₂ (desde la presión parcial normal de 21 KPa a niveles entre 2–10 kPa), aunque se ha observado que altos niveles de O₂ y CO₂ (hasta 80 y 20 kPa, respectivamente) también podría aumentar la vida útil de la patata, reduciendo su respiración y pérdida de agua. (Angos et al., 2008).

La utilización de atmósferas protectoras no es suficiente para evitar el pardeamiento de las patatas, sino que es necesario combinarlas con disoluciones antipardeamiento (Gunes and Lee, 1997) o con desinfectantes. A este respecto varios autores han obtenido resultados interesantes, así la reducción de la presión de O₂ a 10 kPa combinada con altas concentraciones de ácido cítrico produjo una vida útil de 10 días en patatas mínimamente procesadas con cambios sensoriales mínimos (Limbo and Piergiovanni, 2006), mientras que la atmósfera modificada con bisulfito de sodio o ácido ascórbico y ácido cítrico puede producir una conservación de 9 días a 4 °C sin cambios en la apariencia de las rodajas de patata (Ierna et al., 2017). El ozono por sí solo no puede detener el pardeamiento y el crecimiento microbiano, pero combinado con sulfato ácido de sodio (Calder et al., 2011) o ácido peroxiacético envasado al vacío (Beltrán et al., 2005) es capaz de mantener las características de las patatas durante un mínimo de 14 días.

2.4.2 Soluciones antipardeamiento

Tradicionalmente, los aditivos alimentarios químicos o sintéticos que incluyen cloruro de calcio, lactato de calcio, fosfato de calcio, ácido ascórbico, ácido cítrico, L-cisteína y dióxido de azufre son utilizados para mantener la estabilidad y aumentar la vida útil de las patatas recién cortadas (De Corato, 2020).

Actualmente en la industria de procesado mínimo de patata se están usando distintas combinaciones de ácido ascórbico, ácido cítrico y metabisulfito potásico (Petri et al., 2008;

Limbo and Piergiovanni, 2006). Diferentes autores han empleado distintas combinaciones de estos tres aditivos, que tienen como acción principal minimizar el pardeamiento enzimático, aunque también presentan acción antimicrobiana (De la Cruz and Roncal, 2014).

Los tiempos y las temperaturas de inmersión del producto dentro de la disolución y la relación entre volumen de disolución con aditivos y producto son variables dependiendo de los estudios, aunque normalmente se utilizan tiempos de entre 3 y 5 minutos e inmersión a temperatura ambiente (Gunes and Lee, 1997; Limbo and Piergiovanni, 2006; Petri et al., 2008).

Los sulfitos son unos aditivos que la industria alimentaria usa como blanqueante, antioxidante, conservante y agentes reductores (do Nascimento et al., 2020). En patata mínimamente procesada son usados desde hace muchos años para prevenir el pardeamiento enzimático. Su mecanismo de acción es complejo, actuando de forma que eliminan el pardeamiento al reaccionar de forma no reversible con las quinonas, formando compuestos incoloros, y al mismo tiempo, reducen la actividad de la enzima PPO hacia mono y dihidroxifenoles. En este tipo de productos normalmente la forma en que se añade es en forma de bisulfitos y metabisulfitos sódicos o potásicos (Bobo, 2014).

Aunque el empleo de los sulfitos en patata mínimamente procesada está muy extendido y su eficacia como conservante para este producto está comprobada, estos aditivos tienen varios efectos adversos en humanos relacionados con su ingestión, particularmente en personas más sensibles o vulnerables a estos compuestos (Beltrán et al., 2005), motivo por el cual la industria alimentaria esté intentando reducir o incluso eliminar su uso. Los sulfitos se han relacionado como dolores de cabeza, diarrea, confusión mental, hipotensión, dolor abdominal y dermatitis (Guha-Niyogi et al., 2018; García-Gavín et al., 2012; Aerts et al., 2014; Vitaliti et al., 2015).

Esto ha provocado que en algún país se haya prohibido o restringido su uso en productos que se consumen crudos, aunque en el caso de las patatas, el uso de este agente ha no han sido prohibidos porque se cocinan antes del consumo y, por lo tanto, el dióxido de azufre se pierde por evaporación. En Europa, para patatas peladas, según el Reglamento UE 1129/2011 (Comisión Europea, 2011), se permite el uso de este aditivo con una dosis máxima de 50 mg/kg de producto.

Debido a esta preocupación, han sido reemplazados en gran medida como conservantes de estos productos por otros inhibidores de PPO, como acidulantes, agentes reductores, agentes quelantes, inhibidores de enzimas, agentes complejantes y otros como extractos naturales o productos de reacción de Maillard, que han sido evaluados para diferentes tipos de frutas y hortalizas desde hace mucho tiempo. En el caso concreto del control del pardeamiento en patatas mínimamente procesadas, existen varios estudios de los últimos 30 años que muestran resultados prometedores relacionados con el efecto de diferentes agentes antipardeamiento en patata mínimamente procesada. Algunos de estos productos son ácidos orgánicos como el ácido cítrico o el ácido ascórbico, que se usan individualmente o en combinación para controlar este pardeamiento enzimático.

El ácido cítrico, es un acidulante que se usa ampliamente en la industria alimentaria y que inhibe el efecto de la PPO por reducción del pH y también por mediante mecanismos de quelación del cobre en el sitio activo de la enzima (McEvily and Iyengar, 1992; Sapers and Miller, 1995; Buta and Moline, 2001; Limbo and Piergiorganni, 2006; Limbo and Piergiorganni, 2007; Rocculi et al., 2007; Laurila et al., 1998).

En general, el ácido cítrico tiene un efecto limitado sobre el pardeamiento, por esta razón, se utiliza principalmente en combinación con otros aditivos (Ierna et al., 2017; Molnar-Perl and Friedman, 1990) y en ocasiones también con atmósferas modificadas, aprovechando sus sinergias para lograr resultados adecuados (Petri et al., 2008; Ma et al., 2010; Laurila et al., 1998), aunque en algunos trabajos sí que se muestra cierto efecto de este aditivo en solitario sobre el pardeamiento (Tsouvaltzis and Brecht, 2017).

El ácido ascórbico es uno de los agentes reductores más estudiados y utilizados como aditivo antipardeamiento, que tiene como acción principal reducir los compuestos fenólicos a quinonas antes de que puedan formar pigmentos. Además, es un ácido orgánico y por tanto también es acidulante. Se ha utilizado solo en algunos alimentos para reducir esta actividad de la PPO (Sikora and Świeca, 2018). Su acción sobre el sistema de polifenoles es compleja, porque no solo es un reductor de quinonas, sino que también un agente quelante del cobre. Además, puede ser oxidado directamente por la PPO, lo cual hace que actúe también como inhibidor competitivo. El ácido ascórbico se oxida irreversiblemente a ácido deshidroascórbico durante el proceso de reducción. La capacidad que tiene la quinona de oxidación del ácido ascórbico está relacionada con la concentración de esta y, dado que el AA

aplicado se consume, su efecto antipardeamiento podría ser limitado en el tiempo. Debido a esto, fue necesaria la combinación del ácido ascórbico con diferentes métodos conservantes (otros agentes antipardeamiento, tecnologías ultrasónicas o atmósferas protectoras) para lograr reducciones más efectivas de la actividad de la PPO durante el almacenamiento (Cacace et al., 2002; Li et al., 2017; Bobo-García et al., 2020).

Otros agentes antipardeamiento, que se han utilizado en diferentes estudios, que no tienen sulfitos son el hipoclorito de sodio, el ácido peroxiacético, el ozono, el 4-hexilresorcinol, la N-acetilcisteína, el ácido dietilentriaminopentaacético, la L-cisteína o ácido eritórbico (Buta and Moline, 2001; Cacace et al., 2002; Beltrán et al., 2005; Rocculi et al., 2007).

2.4.3 Otras técnicas de inactivación de la polifenoloxidasa (PPO)

Se pueden utilizar otras técnicas distintas de las de reducción de O₂ y del empleo aditivos antipardeantes para inactivar la acción de la PPO. Se han estudiado técnicas como los tratamientos térmicos (Park et al., 2020), los ultrasonidos (Amaral et al., 2015; Li et al., 2017), las altas presiones (Alexandre et al., 2015), la luz ultravioleta (Xie et al., 2017), el plasma frío (Kang et al., 2019) o los campos eléctricos pulsados (Liu, C. et al., 2018). Las aplicaciones de tratamientos térmicos de esterilización/pasteurización a productos recién cortados se consideran no muy adecuados para estos productos por el impacto negativo en la frescura y características organolépticas (Morales-de la Peña et al., 2019). El resto de las técnicas no térmicas se han vuelto populares, y se están estudiando como una alternativa prometedora para reemplazar los métodos químicos y/o físicos utilizándolas solas o en combinación con otros tratamientos para prolongar la vida útil de vegetales recién cortados (Rashid et al., 2021). Además de en patata, se han realizado estudios en otros productos mínimamente procesados, con estas tecnologías. Por ejemplo, tratamiento de plasma frío en peras (Chen et al., 2019), tratamiento con ultrasonidos en mango (Yildiz and Aadil, 2021), en membrillo (Yildiz et al., 2020), en lechuga (Yu et al., 2021), en pepino (Fan et al., 2019) y en col china (Alenyorege et al., 2020), o tratamiento de luz pulsada en tomates (Valdivia-Nájar et al., 2018).



2.4.4 Almacenamiento del producto a baja temperatura

Otras de las técnicas de conservación que se usan ampliamente en patata mínimamente procesada es el almacenamiento en frío. Se emplea de forma combinada con tratamientos contra el pardeamiento y técnicas de reducción de oxígeno, para prolongar la vida útil de estos productos. La temperatura afecta fuertemente a la tasa de respiración y la permeabilidad de los gases a través de las películas de envase. Además, la temperatura de almacenamiento es uno de los factores más importantes en la supervivencia y el crecimiento de patógenos y otros microorganismos en vegetales recién cortadas. Mantener la temperatura del producto a 4 °C o menos a lo largo del almacenamiento y procurar que no se rompa la cadena de frío es esencial para la seguridad microbiana (Oliveira et al., 2015). Las temperaturas que se utilizaron en los distintos estudios de patata mínimamente procesada se sitúan en el intervalo de 2 °C y 4 °C (Langdon, 1987; Juneja et al., 1998; Limbo and Piergiovanni, 2007; Rocculi et al., 2007; Angos et al., 2008; Amaral et al., 2018).

3 OBJETIVOS

Este trabajo se encuentra integrado en el proyecto de investigación que lleva por título “Desarrollo de productos envasados al vacío, en atmosfera modificada y esterilizados a partir de patata gallega de calidad”. El proyecto fue financiado por el Consejo Regulador de la Indicación Geográfica Protegida “Pataca de Galicia” (Comisión Europea, 2007; Xunta de Galicia, 2021), el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) y la Consellería do Medio Rural de la Xunta de Galicia.

3.1 OBJETIVOS

Los **objetivos generales** buscados en este trabajo fueron:

- ♣ Diseñar y optimizar un proceso de envasado para patata cruda mínimamente procesada, para una patata de calidad de la variedad Kennebec, amparada por el Consejo Regulador de la I.G.P. Pataca de Galicia.
- ♣ Dar unas recomendaciones de buenas prácticas de fabricación adaptadas a las condiciones de productores y envasadores acogidos a la Indicación, incluyendo a las pequeñas industrias artesanales.

Para conseguir estos objetivos generales, se establecieron los siguientes **objetivos particulares**:

- Lograr un tiempo de vida útil para este producto lo suficientemente largo como para comercializarlo y almacenarlo en frío hasta su consumo, en función de la evolución de variables de calidad físicas, químicas, sensoriales y microbiológicas.
- Estudiar la utilización de aditivos antipardeamiento, intentando reducir su aplicación, y a ser posible producir con etiquetas limpias. Tratar de reducir especialmente el uso de sulfitos, ya que pueden provocar ciertas reacciones alérgicas y además está mal considerado comercialmente.
- Estudiar la utilización de atmósfera modificada para el envasado de patata mínimamente procesada, ensayando dos de las mezclas de gases más utilizadas en el envasado de productos vegetales.

- Determinar condiciones de almacenamiento adecuadas para este producto teniendo en cuenta los tratamientos recibidos y el tipo de envasado del producto.
- Asegurar la seguridad alimentaria cumpliendo los requisitos de calidad microbiológica establecidos en Reglamento (CE) n.º 2073/2005 (Comisión Europea, 2005).

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Para conseguir estos objetivos se realizó una serie de tres experimentos factoriales siguiendo una estrategia de investigación secuencial, donde los objetivos de cada uno se obtienen a partir de los resultados de los anteriores.

Inicialmente se realizó un experimento amplio para determinar las condiciones de proceso más adecuadas ensayando los factores más comúnmente utilizados en el procesado mínimo de patata, la reducción del oxígeno presente en el envasado y la aplicación de agentes que prevengan el pardeamiento de la patata, durante su almacenamiento.

Se añadieron a este, dos experimentos más cortos para comprobar los resultados, optimizar el diseño del proceso y establecer el tiempo de vida útil recomendable para el producto obtenido. En ellos se estudió la temperatura de almacenamiento y la posibilidad de no utilizar aditivos antipardeamiento, obteniendo así una etiqueta limpia.

En el ensayo 1 tuvo como objetivos estudiar durante un tiempo de almacenamiento de cuatro semanas los efectos del tipo de gas de envasado más adecuado para utilizarlo en la atmósfera modificada y analizar la utilización de sulfitos como agentes antipardeamiento. Para ello se diseñó un experimento factorial con un diseño en split-split plot organizado en bloques, con cuatro repeticiones. En él se estudiaron los efectos de estos dos factores de proceso, junto con el efecto del tiempo asociado a la parcela dividida de menor orden. Se estudiaron dos tipos de atmósfera modificada: una con envasado con N₂ y otra con una mezcla de N₂ y CO₂. Además, se probaron dos tipos de tratamiento con disoluciones antipardeamiento: una con ácido ascórbico + ácido cítrico y otra disolución con ácido ascórbico + ácido cítrico + metabisulfito potásico). Se estudió el efecto del tiempo incluido como factor en el ensayo, durante las 4 semanas de almacenamiento.

A partir de los resultados del experimento anterior se realizó un segundo ensayo, que tuvo como objetivos optimizar almacenamiento durante 3 semanas del producto tratado con agentes antipardecimiento sin sulfitos y N₂ como gas de atmósfera modificada. En él se estudió el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre este producto, incluyendo el de la rotura de la cadena de frío. Para ello se diseñó un experimento factorial de un solo factor (temperatura de almacenamiento) con tres niveles (dos temperaturas constantes distintas, 2 °C y 8 °C y una alternando la temperatura alta de almacenamiento con la baja).

Los objetivos del ensayo 3 fueron confirmar los resultados obtenidos en el experimento 2 relativos a la temperatura de almacenamiento y estudiar la posibilidad de utilizar etiqueta limpia en el producto (producto sin aditivos). Para ello se diseñó un experimento factorial en bloques en el que se estudiaron dos factores: la temperatura de almacenamiento a dos niveles (2 °C y 8 °C), y la presencia o no de aditivos antipardecimiento. El estudio se realizó manteniendo el producto durante 3 semanas en almacenamiento.

4 METODOLOGÍA

4.1 PROCESADO DE PATATA

4.1.1 Materiales

- Material vegetal.

Para hacer este estudio se ha trabajado con patatas (*Solanum tuberosum*, variedad Kennebec) recogidas en la misma zona de producción (Xinzo de Limia, Ourense). Las muestras utilizadas están amparadas por el Consejo Regulador de la I.G.P. Pataca de Galicia y fueron suministradas por la empresa Droguería agrícola. Se conservaron en cámara frigorífica a una temperatura de 8 °C hasta su utilización.

- Aditivos.

Para hacer la disolución antipardecimiento se utilizaron ácido cítrico comercial (E-330), ácido ascórbico comercial (E-300) y metabisulfito potásico comercial (E-224). Todos ellos suministrados por la empresa Productos Agrovin S.A.

- Gases de envasado.

Se utilizó nitrógeno, con denominación comercial nitrógeno técnico X50S y una mezcla de gases compuesta por nitrógeno (88%) y anhídrido carbónico (12%). Ambos pertenecientes a la gama de productos Freshline, y suministrados en forma de botella a presión por la empresa Carbueros Metálicos.

- Bolsas de envasado.

Se utilizaron bolsas, con denominación comercial ARIPLEX-2 suministradas por Industrias plásticas Arias. Estas bolsas están elaboradas partiendo de un material laminado de poliamida biorientada y polietileno, con una permeabilidad para el oxígeno de 25 cm³/m² x 24h y una permeabilidad para el nitrógeno de 12 cm³/m² x 24h. Estos valores han sido obtenidos a 25° C y con un 0% de humedad relativa.

Se utilizaron bolsas de tres tamaños distintos:

- Bolsas de 140x240 mm de lado.
- Bolsas de 160x140 mm de lado.
- Bolsa de 295x175 mm de lado.

4.1.2 Equipos

- Balanzas.

Balanza electrónica (*Adam Equipament*. Modelo ADP 3100/L), con un margen de error de 5g. Se utilizó para pesar las patatas.

Balanza de precisión (*Gram Precision* modelo ST-1200), con un margen de error de 0,01g. Se utilizó para la pesada de los aditivos.

- Cortadora de patatas.

La cortadora manual patatas (*Sammic* modelo CF-5) se usó para picar las patatas en tiras. Disponía de tres accesorios distintos, que permite hacer el cortado de las patatas con tres diferentes tamaños. Con ella se pueden cortar tiras de patata con lados de 8x8 mm, 10x10 mm y 12x12 mm.

En estos estudios se utilizó el accesorio que permite el cortado de patatas en tiras de 10x10mm de lado.

- Cortadora de vegetales.

La cortadora de vegetales (*Robot Coupe*, modelo CL50 Ultra) se utilizó para picar la patata en dados de 10 mm de lado. Este equipo está construido en acero inoxidable, equipado con una rejilla y disco cortador y alimentado por un motor eléctrico trifásico de 400 V/50 Hz.

- Equipo de envasado en atmósfera modificada.

Se trata de una envasadora (*Tecnotrip*, modelo EVT-7-CD) que consta de una bomba de vacío con una potencia de 0,75 kW.



- Cámaras frigoríficas.

Se utilizaron dos cámaras de refrigeración con consignas reguladas a 2 °C y a 8 °C.

Las cámaras tenían unas dimensiones interiores de 2,0 x 2,4 x 2,5 m. Estaban constituidas por paneles prefabricados tipo sándwich formados por una capa de 12 cm, de poliuretano inyectado de 40 Kg/m³ situado entre dos chapas de acero galvanizado y lacado en las caras vistas.

- Otros materiales utilizados.

Se utilizaron materiales auxiliares de diferentes tipos como, por ejemplo: cuchillos de acero inoxidable, recipientes de vidrio y plástico o escurridores de plástico.

4.1.3 Proceso de elaboración

A continuación, se describen los pasos que se siguieron para realizar el envasado en atmósfera modificada de patatas mínimamente procesadas, que están resumidos en el diagrama de flujo de la figura 5.

Inicialmente se realizó una selección manual de las patatas en la que se desecharon los productos que se encontraban en malas condiciones para su procesado. El pelado de la patata se llevó a cabo de forma manual. Una vez realizado fueron inmediatamente introducidas en agua, a la espera de realizar el lavado y cortado de las mismas, para evitar su pardeamiento. El siguiente paso, fue el lavado con agua. Durante este lavado se eliminaron los restos de piel e imperfecciones que quedaban en la superficie de la patata.

La siguiente fase del proceso fue la de cortado de la patata. Durante estos ensayos se utilizaron dos tipos de corte: en tiras con una medida de los lados cortos de 10x10 mm y en dados de 10 mm de lado. También se utilizó la patata entera, sin cortar. En el caso de las patatas enteras no se realiza esta operación de cortado.

Una vez cortadas las patatas se depositaron en un recipiente con agua para evitar el contacto de estas con el aire y seguidamente se hizo la eliminación de la fécula que queda en la superficie debido a la rotura de los tejidos provocado por el cortado de las mismas, lavando los restos de almidón con agua. Este paso tampoco se les efectuó a las patatas sin cortar.

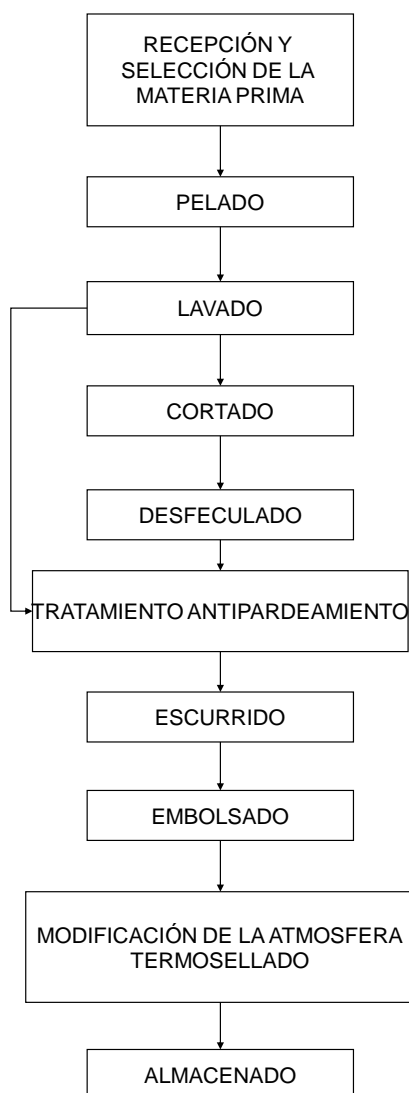


Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de envasado de patatas mínimamente procesadas, envasadas en atmósfera modificada.

El siguiente paso del proceso fue poner en contacto las patatas con los agentes antipardeamiento. Para estos ensayos se utilizaron tres preparaciones distintas:

- Disolución de ácido cítrico, ácido ascórbico y metabisulfito potásico en proporciones 0,5% / 0,5% / 0,5% (Petri et al., 2008).
- Disolución de ácido cítrico y ácido ascórbico 0,5% / 0,5%.
- Agua de red, sin ningún aditivo.

Las patatas fueron introducidas en un recipiente en el que estaba el líquido antipardeamiento. La ratio entre el peso de la patata y el líquido antipardeamiento fue aproximadamente 1/3, y la inmersión se realizó durante 3 minutos con agitación manual y a temperatura ambiente (aproximadamente 15-18 °C) (Limbo and Piergiovanni, 2007; Rocculi et al., 2007; Petri et al., 2008).

A continuación, las patatas fueron escurridas para eliminar el exceso de humedad que les pueda quedar en la superficie y se procedió al embolsado de las mismas. En el caso de las patatas cortadas en tiras se envasó una cantidad aproximada de 200 g en bolsas de 140x240 mm de lado, en las cortadas en dados 100 g en bolsas de 160x140 mm de lado y en las enteras se envasaron tres patatas en bolsas de 295x175 mm de lado.

El último paso fue la modificación de la atmósfera y el termosellado. En estos ensayos se realizaron envasados con dos tipos de atmósfera modificada.

- Atmósfera de nitrógeno.
- Atmósfera con mezcla de nitrógeno (88%) y anhídrido carbónico (12%).

Finalmente, las muestras obtenidas fueron almacenadas en las cámaras frigoríficas a temperaturas de 2 °C u 8 °C, en función de la temperatura planificada en cada uno de los ensayos.

4.2 MÉTODOS Y TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Las diferentes técnicas de análisis empleadas durante la realización de este estudio se describen a continuación.

4.2.1 Análisis químicos

4.2.1.1 Determinación de pH

Toma como referencia el método oficial 981.12 (AOAC, 2007). El pH es una medida de la actividad de los iones H⁺. Se puede medir determinando la diferencia de potencial entre dos electrodos utilizando un aparato comercial calibrado con patrones primarios.

El material y aparatos utilizados fueron:

- Electrodo de vidrio Hamilton.
- Medidor automático de pH *CiberScan* pH/ION 510.
- Picadora *Palson* 600 W.
- Material de vidrio de uso en laboratorio.

Se calibró el medidor automático de pH con las soluciones patrón de pH 7,0 a 25 °C (*Labprocess*, Cod. 238313) y de pH 4,01 a 25 °C (*Labprocess*, Cod. 238312), siguiendo las instrucciones del equipo.

La preparación de la muestra se llevó a cabo triturando las patatas, con la picadora, hasta que queda un producto homogéneo.

Para la medición de las muestras los electrodos del medidor de pH fueron introducidos directamente en la muestra previamente homogenizada y se realizó la lectura. Se repitió el procedimiento 2 veces por cada muestra.

4.2.1.2 *Materia seca*

Esta determinación se ejecutó siguiendo el método oficial 984.25 (AOAC, 2007).

La determinación de la materia seca se realizó por deshidratación de una muestra en una estufa de secado calentada mediante placas eléctricas a 103 ± 2 °C, a presión atmosférica durante un periodo mínimo de 16 h, hasta llegar a peso constante.

Para ellos se utilizaron los siguientes equipos:

- Picadora *Palson* 600 W.
- Balanza analítica, *Denver Instrument Summit* modelo SI 64 (0,1 mg/60g).
- Recipientes cerámicos de entre 60-80 cm de diámetro.
- Estufa isotérmica de calefacción eléctrica, *P-Selecta*.
- Desecador de vidrio con gel de sílice (3-6 mm, *Panreac*, Cod. 211335) como desecante.

Las determinaciones se realizaron sobre muestras de patata trituradas con la picadora, hasta su homogenización.

Se pesaron aproximadamente 5 g de esta muestra, usando una balanza con precisión 0,1 mg., en recipientes que previamente fueron secados en la estufa a una temperatura de 103 ± 2 °C durante aproximadamente 45 minutos y enfriados en el desecador. Estos recipientes, con la muestra, se pusieron destapados en la estufa a 103 ± 2 °C durante 16 horas. Una vez pasado este tiempo se llevó el recipiente al desecador y se mantuvo allí hasta que enfrió. Una vez frío, se pesó en la balanza con precisión de 0,1 mg.

A continuación, se puso el recipiente otra vez en la estufa durante otras 2 horas y se repitió el proceso anterior. Se repitió este paso sucesivamente hasta que la variación de peso fue inferior a 0,5 mg o hasta que se producía un incremento en la masa. Es decir, hasta que se llegó a peso constante.

Se hizo esta determinación por triplicado para cada muestra y el contenido en materia seca, en tanto por ciento, se calculó por la fórmula siguiente:

$$MS(\%) = 100 \times \left(\frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \right)$$

Donde:

- m_0 = peso cápsula
- m_1 = peso de la muestra húmeda + cápsula
- m_2 = peso de la muestra seca + cápsula

4.2.1.3 Azúcares reductores

La determinación de azúcares reductores se realizó por colorimetría, siguiendo el método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS), propuesto por (Lindsay, 1973). Este método se basa en la reducción del DNS (de color amarillo) por la glucosa u otro azúcar reductor al ácido 3-amino-5-nitrosalicílico (de color rojo ladrillo), cuya presencia puede detectarse por lectura de la Absorbancia en la zona de 540-570 nm.

Se aplicó el método DNS a una gama de soluciones patrón de glucosa, al objeto de obtener la correspondiente curva de calibrado que, posteriormente, se utilizará para determinar los equivalentes de glucosa formados.

Para esta determinación se usaron los siguientes equipos:

- Balanza electrónica, *Gram Precisión*, modelo MM-1200, precisión 0,01g.
- Balanza analítica, *Denver Instrument Summit*, modelo SI 64 (0,1 mg/60g).
- Picadora *Palson 600 W*.
- Baño seco digital, *Labnet*, modelo Accublock y bloque para baño seco, *Labnet*.
- Tubos de ensayo de 8mL.
- Pipeta automática de 1mL, *Labmate*.
- Espectrofotómetro, *Jenway 6305 UV/Vis*.
- Cubetas de plástico para espectrofotómetro.
- Embudo Büchner.
- Matraz Kitasato de 250mL.
- Papel de filtro, 73g/m².

Los reactivos que se utilizaron fueron:

- D (+)-Glucosa anhidra, *Panreac*, Cod. 14134112.
- Ácido 3,5 dinitrosalicílico 98%, *Panreac*, Cod. 162837.
- Hidróxido Sódico, *Panreac*, Cod 141687.
- Sal de Rochete (Potasio Sodio Tartrato 4-hidrato), *Panreac*, Cod 141729.

Para realizar estos análisis se procedió a la preparación de varias disoluciones, necesarias para llevar a cabo dicha determinación. Se hizo de la siguiente forma.

- Solución de ácido dinitrosalicílico:

Se disuelven a temperatura ambiente en 1,6 g de NaOH en 20 mL de agua destilada.

Se añade 1 g de ácido 3,5 dinitrosalicílico y 50 mL de agua. Se añaden 30 g de Sal de Rochelle y una vez disuelto se aforan a 100 mL con agua destilada. Se protege esta disolución de CO₂ en botes bien llenos.

- Patrón de trabajo de 2.000 mg/L de glucosa:

Se seca la glucosa o fructosa una noche en el desecador. Se pesan con precisión de 0,5 mg los 2000 mg de glucosa y se disuelven en agua destilada. Se llevan a volumen en un matraz aforado de 1 L. Se almacena en botella de topacio en nevera y permanece estable 6 meses.

El primer paso para realizar esta determinación fue preparar las muestras para hacer la curva de Calibrado a partir de la solución patrón de glucosa. Se prepararon una serie de disoluciones con unas concentraciones de 0,4, 0,8, 1,2, 1,6 y 2,0 mg de glucosa/mL de disolución.

Una vez hechas las disoluciones para la curva de calibrado se inició la preparación de las muestras de patata. Para ello, se trituraron las patatas, con la picadora, hasta su homogenización.

Del puré formado por la muestra, se tomaron 15 g y se diluyeron en 50 mL de agua destilada. Se mezclaron bien durante 5 minutos y se dejaron reposar durante otros 5 minutos. Una vez hecho esto se decantó el sobrenadante y se filtró la disolución.

Una vez preparadas tanto los patrones como las muestras se cogieron alícuotas de 1 mL de cada una de estas disoluciones (tanto de las disoluciones patrón, como de las disoluciones con muestra de patata) y fueron introducidas en tubos de ensayo. Se les añadieron 2 mL de disolución de ácido dinitrosalicílico. También se hizo un blanco con 1 mL de agua destilada y 2 mL de ácido dinitrosalicílico. Para las muestras de patata se prepararon réplicas de cada muestra por triplicado.

Los tubos fueron calentados durante 10 minutos en un baño seco a 100 °C y enfriados a temperatura ambiente. A continuación, se les añadieron 2 mL de agua, se agitaron y se procedió a la medición de la absorbancia de cada uno de ellos a 570nm, utilizando cubetas de plástico de 1 cm de paso de luz.

Con los valores de las absorbancias de los patrones y las concentraciones de estos, se construyó la recta de regresión. El valor obtenido para cada muestra de patata se interpoló en la recta de calibrado y se obtuvo el valor de la concentración de azúcares reductores en g/L de la disolución preparada para realizar el análisis. Realizando los cálculos, teniendo en cuenta

las diluciones preparadas, se obtiene la cantidad de azúcares reductores en la muestra inicial, que se convierten en porcentaje de azúcares reductores realizando el siguiente cálculo:

$$\% \text{ azúcares reductores} = \frac{\text{masa de glucosa (mg)}}{\text{masa de muestra (mg)}} \times 100$$

4.2.1.4 Vitamina C

Esta determinación se realizó siguiendo el método oficial 967.21 (AOAC, 2007). Consiste en una titulación de oxidación-reducción, donde se permite la oxidación del ácido ascórbico presente en la materia evaluada mediante un tinte orgánico conocido como 2,6-dicloroindofenol (DI). Las reacciones de oxidación y de reducción ocurren simultáneamente, por lo que según la vitamina C es oxidada, el DI es reducido, ganando los dos átomos de hidrógeno que pierde cada molécula del ácido ascórbico presente. Según el DI es reducido el color en el tinte vira de rojo a incoloro. Debido a que la reacción entre el DI y el ácido ascórbico es sumamente rápida, este cambio en color puede ser utilizado como índice del punto de equivalencia en la titulación; donde todo el DI ha sido consumido o reducido por la vitamina disponible. Mientras haya vitamina C sin ser oxidada la solución será incolora, una vez se concluyan las reacciones de óxido-reducción, la solución presentará un color rosado translúcido. Con el volumen utilizado en la titulación se calcula la cantidad de vitamina C.

Para esta determinación se utilizaron los siguientes equipos:

- Picadora *Palson* 600 W.
- Balanza analítica, *Denver Instrument Summit*, modelo SI 64 (0,1 mg/60g).
- Balanza electrónica de precisión, *Gram Precisión*, modelo MM-1200, precisión 0.01g.
- Matraces aforados.
- Matraces Erlenmeyer 50mL.
- Pipeta aforada de 2mL.
- Pipeta aforada de 5mL.
- Pipeta aforada de 10mL.
- Pipeta graduada de 10mL.
- Matraz *Kitasato* 250mL.

- Embudo Büchner.
- Bureta de 50mL.
- Bureta de 10mL.

Además, se utilizaron los siguientes reactivos:

- Ácido L (+)-ascórbico, *Panreac*, Cod 131013).
- Ácido metafosfórico $\text{HPO}_3\text{CH}_3\text{COOH}$, *Panreac*, Cod 135324.
- Ácido Acético 96%, *Panreac*, Cod 122703.
- Bicarbonato sódico, *Panreac*, Cod 141638.
- 2,6-diclorofenol indofenol sal sódica 2-hidrato, *Panreac*, Cod 132056.
- Ácido Sulfúrico, *Panreac*, Cod 141058.

A partir de estos reactivos se prepararon las siguientes disoluciones, necesarias para el posterior análisis:

- Ácido metafosfórico-acético:
Para 500mL, se pesó 15 g de ácido metafosfórico y se añadieron 40 mL de ácido acético y 200 mL de agua destilada para disolver con agitación, luego se llevó a volumen de 500 mL y se filtró la solución (el HPO_3 sufre cambios lentos a H_3PO_4 , pero si se almacena en refrigeración, la solución se conserva satisfactoriamente entre 7 y 10 días).
- Ácido metafosfórico-acético-sulfúrico:
Para 500mL, se pesaron 15 g de ácido metafosfórico y se le añadieron 40 mL de ácido acético, 4,2 mL de H_2SO_4 y 200 mL de agua destilada para disolver con agitación, luego se llevó a volumen de 500 mL. Se filtró la solución (el HPO_3 sufre cambios lentos a H_3PO_4 , pero si se almacena en refrigeración, la solución se conserva satisfactoriamente entre 7 y 10 días).
- Solución de ácido Ascórbico (1 mg/mL):
Se pesó con precisión 100 mg de patrón de referencia de ácido ascórbico que había sido conservado en un lugar seco y protegido la luz solar. Se diluyó con disolución de ácido metafosfórico en un matraz aforado de 100 mL inmediatamente antes de ser usado.

- Solución de ácido Ascórbico (0,1 mg/mL):
Se pesó con precisión 100 mg de patrón de referencia de ácido ascórbico que había sido conservado en un lugar seco y protegido la luz solar. Se diluyó con disolución de ácido metafosfórico en un matraz aforado de 1000 mL inmediatamente antes de ser usado.
- Solución de Indofenol (concentrada):
Para 200ml, se pesaron 50 mg de 2,6-diclorofenol indofenol sal sódica 2-hidrato y se disolvieron en 50 mL de agua destilada a la que se le añadieron 42 mg de bicarbonato de sodio. Se agitó vigorosamente y después de disolverse se llevó a volumen de 200mL. Finalmente se filtró la solución. La solución se conservó en refrigeración evitando que le diera la luz directa del sol. Los productos presentes en la disolución se pueden descomponer, para comprobar que estaban bien, se añadieron 5,0 mL de solución extractora conteniendo exceso de ácido ascórbico madre a 15 mL de solución de indofenol. Si la solución reducida no era prácticamente transparente, se descartaba y se preparaba una nueva solución.
- Solución de Indofenol (diluida):
Se cogieron 100 mL de la solución de indofenol que se describe anteriormente y se llevaron a 1000 mL.
- Estandarización de las disoluciones de indofenol:
Se colocaron 2 mL de solución de ácido ascórbico estándar (1 mg/mL) en tres matraces de 50 mL cada uno, conteniendo 5 mL de solución de ácido metafosfórico-acético. Se realizó la titulación de cada uno de ellos con la solución de indofenol concentrada hasta obtener un color rosado que persistía más de 5 segundos (Cada valoración se chequeó cada 0,1 mL). Simultáneamente se titularon 3 blancos, constituidos por 7 mL de la solución de ácido metafosfórico-acético más la misma cantidad de agua destilada que de volumen de la solución de indofenol que se utilizó en la valoración directa. Se calculó la concentración de la disolución de indofenol como mg de ácido ascórbico equivalente a 1,0 mL de reactivo.



$$F(\text{mg AA/mL DI}) = \frac{\text{mg AA presente en la disolución}}{\text{mL DI utilizado en la titulación(AA - blanco)}}$$

- Se repitió lo mismo con la disolución estándar de ácido ascórbico de 0,1 mg/mL y la solución de indofenol diluida.

La preparación de muestra para realizar los análisis se hizo, en primer lugar, triturando todas las patatas de esa muestra, con la picadora, hasta su homogenización. Se pesó una porción de este homogenizado (20 g en el caso de muestras que no llevan metabisulfito y 10 g en el caso de muestras que llevan metabisulfito), se diluyó con disolución de ácido metafosfórico-acético-sulfúrico, hasta ajustar pH a 1,2 y se mezcló bien. Una vez mezclada se diluyó con ácido metafosfórico-acético hasta llegar al volumen de 200 mL). Finalmente se filtró la disolución.

Una vez preparada la muestra, se cogieron 3 alícuotas de esta disolución (50 mL en el caso de muestra sin metabisulfito potásico y 20 mL en muestras que sí que lo tiene) y se valoraron con la solución de indofenol hasta obtener un color rosado que persista más de 5 segundos. Simultáneamente se titularon 3 blancos, los cuales estaban formados por un volumen de la solución de ácido metafosfórico-acético (50 mL para el caso de muestras sin metabisulfito sódico y 20 mL en las muestras sin él).

Los cálculos que se realizaron para determinar la cantidad de ácido ascórbico a partir de este análisis fueron:

$$\text{mg ácido ascórbico/g patata} = (X-B) \times (F/Y) \times (V/E)$$

Donde:

- F= mg de AA/mL disolución de indofenol. Se obtiene mediante la titulación del tinte con patrón de AA.
- X= mL de tinte (disolución de indofenol) para titular muestra.
- B= mL de tinte para titular el blanco.
- E= g de patata utilizados para preparar la muestra.
- V= Volumen inicial de la disolución de muestra.
- Y= Volumen de disolución utilizado para la titulación.

4.2.1.5 Actividad de agua

Se realizó esta determinación con referencia al método 978.18 (AOAC, 2007).

La actividad de agua (a_w) se define como la relación existente entre la presión de vapor del agua en un producto y la presión de vapor del agua pura, a la misma temperatura. La a_w es numéricamente equivalente a 1/100 de humedad relativa (HR) generada por un producto en un sistema cerrado. La HR puede ser calculada a partir de la medición directa de la presión de vapor parcial o punto de rocío, o medido indirectamente por sensores, cuyas características físicas o eléctricas son alteradas por la HR a la cual son expuestos. Para realizar esta determinación se usaron los siguientes equipos y materiales:

- Cubetas de plástico de 4 cm de diámetro.
- Picadora *Palson* 600 W.
- Sistema medidor de a_w , *Decagon*, modelo Pawkit.

Las patatas pertenecientes a una misma muestra fueron trituradas en una picadora, hasta su completa homogenización. Esta muestra triturada fue introducida en la cubeta de medición con ayuda de una espátula hasta lograr una capa uniforme que cubra el fondo, sin sobrepasar la mitad de su altura. La cubeta con la muestra fue colocada en la cámara de medida durante el tiempo necesario para que el equipo proporcionara los valores de a_w y temperatura. Se repitió la medida 2 veces, para cada muestra.

4.2.1.6 Determinación de gases: %CO₂

La medición de O₂ se basa en un sensor electroquímico. El sensor funciona como un tipo de batería que produce una corriente correspondiente a la concentración del gas que pasa por el mismo. El valor de la corriente se convierte en un valor de concentración. La medición de CO₂ se basa en una medición de infrarrojos (IR) no dispersiva con fuente de IR y filtro de longitud de onda sencillo. Para realizar esta medición se utiliza un Analizador de gases O₂/CO₂, *PBI Dansensor*.

Antes de realizar la medida se hizo el calibrado del aparato, con aire atmosférico. Seguidamente se pincharon las bolsas con la aguja tomamuestras y se procedió a realizar la medida, que fue realizada por triplicado.



4.2.2 Análisis de color CIE_{L*a*b*}

Para la medida del color CIE_{L*a*b*} se utiliza como referencia el método propuesto en la norma UNE. EN ISO/CIE 11664-4 (AENOR, 2020) . Se obtuvieron datos de color midiendo directamente sobre la superficie de la patata, con un espectrofotómetro de reflexión (*Color Measurement Instruments X-RITE 948/698*), que realiza medidas de reflectancia espectral entre 400 y 770 nm (iluminante D₆₅, observador 10°), en intervalos de 20 nm, proporcionando datos colorimétricos en el espacio de color CIE_{L*a*b*}.

Como paso previo a las mediciones se calibró el espectrofotómetro con un blanco de referencia para lo cual se emplea una placa estándar de cerámica que presenta los valores 94,70 para L*, -1,15 para a* y +1,28 para b*.

Se hicieron diferentes medidas de color a muestras de patata que fueron presentadas en las formas que se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Formas de presentación de las patatas para la determinación de color.

Tipo de corte	Tipo de preparación
Cortadas en tiras	Crudas y fritas
Enteras	Crudas y cocidas
Enteras cortadas por la mitad	Crudas y cocidas

A las patatas cortadas en tiras, se le tomaron medidas en crudo y después de ser sometidas a un proceso de fritura. Para ello se cogieron al azar dos tiras de patata que se colocaron paralelamente, para así cubrir toda la superficie del medidor del colorímetro. Se realizaron 5 medidas, en distintos sitios de la superficie de estas dos tiras.

A las patatas enteras, se les tomaron medidas en crudo y después de ser cocidas. Se realizaron 5 medidas en distintos sitios de la superficie exterior de la patata (Piñeiro-Iglesias, 2019).

Para las determinaciones de las patatas cortadas a la mitad, tanto en el caso de las crudas como de las cocidas, se utilizó la misma patata que se había utilizado para hacer las medidas de las patatas enteras. Se cortó la patata por la mitad y se hicieron 5 medidas a lo largo de la superficie interior.

Todas las muestras se cubrieron con film de plástico transparente, para que el colorímetro no entrara en contacto directo con la patata y así evitar su deterioro. Siempre se utiliza el mismo tipo de film, para evitar interferencias en las medidas.

Para el cocinado de las muestras se usaron, dependiendo del tipo de preparación, materiales como freidora (*Ufesa*, modelo FR1515), olla de acero inoxidable y hornillos eléctricos (*Jata*, modelo 393). El procedimiento seguido fue el que se indica a continuación.

- Muestras Crudas. Estas muestras no necesitan ningún tipo de preparación.
- Muestras cocidas. Se cocieron las patatas enteras durante 20 minutos que eran contados a partir de que el agua hervía. El proceso se llevó a cabo en una olla de acero inoxidable calentada con un hornillo eléctrico. Las patatas fueron introducidas en la olla con el agua fría. El hornillo eléctrico se colocó a máxima potencia. Una vez que pasa el tiempo de cocido se sacaron las patatas con un utensilio adecuado y se eliminó el agua del recipiente utilizado para la cocción. Una vez vacía, las patatas se volvieron a meter en la olla, que fue puesta en el fuego durante un periodo de tiempo suficiente para eliminar el vapor de agua que queda en el interior de la patata.
- Muestras fritas. Las tiras de patata fueron introducidas en la freidora con el aceite a la temperatura de cocinado. Se realiza la fritura a 180 °C con una tolerancia de 5 °C, durante 3 min.

Una vez cocinadas las muestras se dejaron enfriar, para evitar condensaciones tanto en el film que cubre las muestras como en el sensor del equipo.

Con las medidas realizadas se obtienen datos de los diferentes componentes del color $CIE_{L^*a^*b^*}$, que son:

- L^* : represente el grado de claridad o luminosidad.
 - $L^* = 0 \rightarrow$ negro
 - $L^* = 100 \rightarrow$ blanco
- a^* : componente rojo-verde
 - a^* : valores positivos (hasta +120) contribuyen al rojo.
 - a^* : valores negativos (hasta -120) contribuyen al verde.



- b^* : componente amarillo-azul
 - b^* : valores positivos (hasta +120) contribuyen al amarillo.
 - b^* : valores negativos (hasta -120) contribuyen al azul.

A partir de ellas se calculó el tono (H^*) y la cromaticidad (C^*).

- H^* : es el ángulo de matiz expresado en grados sexagesimales, obtenido como:

$$H^* = \arctg \left(\frac{b^*}{a^*} \right)$$

- C^* : croma o saturación. Valores altos y bajos de cromaticidad se corresponden con una alta y baja saturación respectivamente. Se calculó como:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

4.2.3 Análisis de Textura

Se utilizó un ensayo de penetración con el que se estudió la firmeza de las patatas (Piñeiro-Iglesias, 2019). Este ensayo consiste en introducir una longitud dada un punzón, de forma y tamaños conocidos, en el producto a analizar. El ensayo mide la fuerza necesaria para realizar esta penetración. Se trata de uno de los ensayos más utilizados en el campo de los sólidos, pues es el que más se acerca a la penetración de los dientes en un alimento (Roudot, 2004). Para hacer esto se usaron los siguientes materiales y aparatos:

- Texturómetro *Hounsfield*.
- Célula de carga *Tinius-Olsen*, con fuerza máxima de 1000 N.
- Punzón cilíndrico de 1,6 mm de diámetro.

Los parámetros utilizados para la ejecución de las pruebas fueron los siguientes:

- Punzón: 1.6 mm



- Fuerza

- $F_{\text{celda}} = 50 \text{ N}$

- $F_{\text{máxima}} = 49 \text{ N}$

- Extensión
 - Escala: 10 mm
 - Máxima: 6 mm
- Velocidad de ensayo: 10 mm/min

El análisis se repitió tres veces para cada muestra (tres unidades distintas), tomándose como representativa la curva intermedia (ver figura 4).

Del análisis efectuado por el aparato se obtuvo una curva de esfuerzo-deformación (ver figura 4). De esta curva se sacaron los siguientes parámetros:

- Fuerza máxima de ruptura (F (N)): Es la fuerza que se alcanza en el momento en que se rompe la superficie de la patata (Liu, E. Z. and Scanlon, 2007). Delimita el tramo aproximadamente lineal de la curva fuerza-deformación (parte inicial de la curva, hasta el momento en que se produce un descenso pronunciado de la fuerza de ruptura). Este parámetro está relacionado con la flexibilidad de la superficie de la patata y se denomina firmeza (Amaral et al., 2015).
- Longitud a la que se produce la ruptura (L (mm)): Mide el desplazamiento del punzón hasta el momento en que se produce la rotura de la superficie de la patata (Roudot, 2004).
- F/L (N/mm): Relación entre la fuerza máxima de rotura y la longitud a la que se produce la rotura.
- Trabajo de compresión hasta rotura (W (N·mm)): Es el área bajo la curva desde el origen de coordenadas hasta el punto en donde se produce la ruptura del material (Rosenthal, 2001). Representa el trabajo realizado hasta que se produce esta rotura.

4.2.4 Análisis sensorial

Se realizaron dos tipos de pruebas de análisis sensorial: prueba triangular y prueba de clasificación por ordenación.



4.2.4.1 Prueba triangular

Se realizó siguiendo la metodología recogida en la norma UNE-EN ISO 4120:2008 (AENOR, 2008). En esta prueba se comparan dos muestras que son iguales con una que es diferente y los jueces tienen que detectar cuál es la diferente. Este tipo de prueba es de elección forzada, es decir, los jueces siempre tienen que elegir una de las muestras como diferente.

Se utilizaron 24 jueces con el mismo nivel de cualificación, que realizaron la prueba en tandas de 6. Para este tipo de pruebas se utilizaron jueces iniciados en el análisis de este tipo de productos.

Se le presentaron a cada uno de los jueces 3 muestras, de tal forma que dos de las muestras eran del mismo producto, realizando distintas combinaciones de forma aleatoria. Las muestras se identificaron con códigos, distintos para cada una de las muestras y jueces, elegidos al azar, para evitar que la elección del juez estuviera condicionada. Se contabilizó el número de jueces que acertaron cuál era la muestra diferente. De esta forma se obtuvo el valor de la variable N (número de respuestas correctas).

Las catas se realizaron con productos fritos (patata cortada en tiras) y cocidos (patata entera). El cocinado de las muestras se realizó por muestra, es decir, que cada muestra tuvo un cocinado independiente. La preparación de estas se realizó de la siguiente forma

- Patata cocida.

El cocinado se hizo en 2 ollas, en una se cocieron las patatas que iban a ser usadas como producto y en la otra las que se utilizaron como testigo.

El tiempo de cocinado de las patatas fue de 20 minutos a partir de que el agua hierve. Se metieron las patatas con el agua fría y se cocieron tapadas, y con el hornillo a máxima potencia.

Una vez que pasó el tiempo establecido, se eliminó el agua de la olla con la ayuda de un escurridor. Las patatas se volvieron a meter en ella y se puso otra vez al fuego durante un periodo de tiempo suficiente para eliminar el vapor de agua que queda en el interior de la patata. Una vez hecho esto las patatas se cortaron en cuartos y se almacenaron en termos para

evitar que enfriasen. En este punto las muestras estaban listas para su presentación a los jueces.

- Patata frita.

Se utilizaron 4 freidoras ya que se necesitaba tener un número alto de muestras a la vez. Se realizó la fritura a 180 °C con una tolerancia de 5 °C, durante 10 minutos.

Una vez transcurrido este tiempo se retiraron las patatas y se almacenaron en termos hasta que les fueron presentadas a los jueces.

4.2.4.2 Prueba de clasificación por ordenación

En este trabajo se realizaron pruebas de ordenación visual, siguiendo las indicaciones de la norma UNE-ISO 8587:2010/Amd 1 (AENOR, 2017). En este tipo de ensayo se evalúa el aspecto de patata mínimamente procesada envasada en atmósfera modificada. Se realizaron sesiones de análisis sensorial en las que participaron un mínimo de 13 jueces por prueba, que valoraron 6 series de muestras cada uno. Los jueces elegidos eran jueces legos en la materia.

En cada tanda de análisis, a los jueces se les presentaron 4 muestras, colocadas de forma aleatoria. Las tenían que ordenar según su aspecto, teniendo en cuenta que el mejor aspecto era aquel en el que la patata se parecía más a una patata sin procesar. Los jueces no podían darles el mismo orden a dos muestras.

Para esta ordenación las muestras se les presentaron directamente dentro de las bolsas de envasado, sin abrir.

La ordenación se realiza desde la que tiene peor aspecto, que se le da el orden 1, hasta la que tiene el mejor aspecto que se le da el orden 4. Se realiza el sumatorio de los valores de ordenamiento asignados a cada muestra por todos los jueces, y se obtiene el valor de la variable R_n (Suma de las ordenaciones de los jueces para cada una de las muestras).



4.2.5 Análisis microbiológicos

Las determinaciones microbiológicas se llevan a cabo usando los medios de cultivo y las condiciones de incubación adecuadas para cada microorganismo.

Todos los trabajos se realizaron en el interior de la cabina de flujo laminar (*Cruma*, 670FL) o/y en las proximidades de una llama.

Se preparó una suspensión inicial a partir 25 g de una cantidad de patata y 225 mL del diluyente agua de peptona. La mezcla fue realizada en un stomacher (*IUL instruments*, modelo classics) durante 45 segundos. A partir de esta suspensión inicial se llevaron a cabo las diluciones decimales necesarias en cada caso. Las determinaciones de los distintos microorganismos se realizaron por duplicado y en presencia de un blanco (muestra sin presencia de producto). Se llevaron a cabo de la siguiente forma:

- Aerobios mesófilos y psicrotrofos: Para los recuentos de microorganismos se inocularon placas con la muestra y con el medio de cultivo PCA, atemperado a 40-45 °C. Se incubaron posteriormente a 30 °C±1 °C durante 72 horas y 6 °C±1 °C durante 7 días, respectivamente.
- *Salmonella spp.*: Las detecciones se realizaron sembrando las muestras sobre placas Petri con medios cromogénicos comercialmente preparados (*Liofilchem Chromatic Salmonella*). Se incuban a 35±1 °C durante 48 horas.
- *Staphylococcus aureus*: Las detecciones se hicieron sembrando sobre placas Petri con medios cromogénicos comercialmente preparados (*Liofilchem Chromatic MRSA*). Se incubaron a 36±1 °C durante 24 horas.
- *Listeria monocytogenes*: Las detecciones llevaron a cabo sembrando sobre en placas Petri con medios cromogénicos comercialmente preparados (*Liofilchem O.A. Listeria agar*). Se incubaron a 36±1 °C durante 48 horas.
- Enterobacterias y coliformes: Se utilizó un método basado en la norma 983.25 (AOAC, 2007). Para el recuento de Enterobacterias se inoculó la muestra en el medio bilis-rojo neutro-violeta cristal con glucosa (VRBG) atemperado a 45-48 °C, en placas de Petri. Después de que solidificó esta primera capa se añadió una segunda capa de medio de cultivo para que cubra lo añadido inicialmente y se creen condiciones de anaerobiosis. Se incubó a 37 °C ± 1 °C durante 24 horas. Posteriormente todas las colonias sospechosas fueron introducidas en tubos con caldo lactosado de bilis verde brillante al 2%. Estos tubos se incubaron a 35 °C durante 24-48 horas para ver si había producción de gas. En caso de ser positivo, era confirmada la identificación de coliformes.

- *Clostridium perfringens*: Según la norma UNE-EN ISO 7937:2005 (AENOR, 2005). Para la detección y recuento se emplearon los medios de cultivo Agar sulfito cisteína (SC) y disolución de D-cicloserina, y medio líquido de tioglicolato. Se introdujeron las placas en la estufa y se incubó en condiciones anaeróbicas a 37 °C durante 20±2 h.
- *Bacillus cereus*: Se utilizó el método basado en la norma 980.31 (AOAC, 2007). Para el aislamiento y recuento se usaron placas con base de agar selectivo para este microorganismo, previamente solidificado. Se incubaron a 30 °C 24 horas.
- Mohos y levaduras. Para el recuento se utilizó la Glucosa Sabouraud Agar para el cultivo de mohos y levaduras. Las muestras fueron incubadas a 25 °C durante 5 días.

En los casos en que se hicieron recuentos de las colonias resultantes, los cálculos se dan en unidades formadoras de colonias/g de la muestra original (UFC/g).

Las incubaciones se llevaron a cabo en estufas de incubación (*Raypa*, mod. Incuterm) reguladas a las temperaturas adecuadas para cada microorganismo.

4.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DATOS

El tratamiento de los datos se realizó empleando el programa Minitab® Statistical Software Release 16 (Minitab, 2010).

Tras analizar la distribución de los datos y un análisis de correlación simple se estudió la significación del efecto de los términos de los distintos modelos (factores e interacciones) mediante análisis de varianza adecuado a cada modelo empleado.

4.3.1 Análisis de la distribución de las variables

Los datos se sometieron a un primer análisis empleando estadísticos descriptivos (media, desviación estándar (DT), coeficiente de variación (CV), máximo, mínimo, coeficiente de apuntamiento y coeficiente de simetría) y representaciones gráficas usuales, comparando las distribuciones observadas con la normal. La media y la desviación típica se usaron para estudiar su centrado y dispersión, usando el coeficiente de variación para comparar el rango de variación de las distintas variables del producto en las condiciones de industrialización ensayadas.

El coeficiente de asimetría (Asi) y coeficiente de apuntamiento o de Curtosis (Apu) se usaron para detectar desviaciones de la normalidad, pues posiblemente se relacione con la magnitud de los efectos de alguno de los factores ensayados. Este análisis previo se completó con representaciones gráficas de observaciones individuales y de dispersión.

4.3.2 Análisis de correlaciones simple.

Las tendencias entre variables se estudiaron mediante análisis de correlación simple. Es importante detectar patrones de variación conjunta en el diseño de productos y procesos alimentarios para evitar mejorar determinadas características a costa de otras que pueden ser bien valoradas por el consumidor y llegar así a situaciones de compromiso.

4.3.3 Análisis de la varianza.

En las secciones 4.4, 4.5 y 4.6 se describen los ensayos factoriales que se realizaron en cada uno de los ensayos diseñados en este estudio. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis de varianza convencional empleando el modelo adecuado a cada caso. Para ilustrar la magnitud de los efectos principales se usaron gráficos de efectos principales e intervalos de confianza de la media para distintas combinaciones de niveles. La magnitud de las interacciones se estudió mediante gráficos de interacción.

4.3.4 Análisis de datos de las pruebas sensoriales

Se realizaron dos tipos de pruebas de análisis sensorial: prueba triangular y prueba de clasificación por ordenación.

4.3.4.1 Análisis de datos en la prueba triangular:

Los datos de las pruebas se analizaron usando las tablas de distribución binomial proporcionadas en el anexo A de la norma UNE-EN ISO 4120 (AENOR, 2008). Dependiendo del nivel de riesgo requerido estas tablas nos muestran los valores críticos a partir de los cuales la diferencia entre las muestras se considera significativamente perceptible. Esto permitió estudiar si el número de respuestas correctas (N) de los jueces en la prueba superaba

el valor mínimo de aciertos para que la diferencia entre las muestras fuera significativa. En cada caso este valor depende del número de jueces (n) que participen en la prueba y del nivel de riesgo (α) establecido.

4.3.4.2 *Análisis de datos en las pruebas de clasificación por ordenación:*

Para la interpretación estadística de los datos se han utilizados dos pruebas: Prueba de Friedman y Prueba de Page.

- La prueba de Friedman.

Es una prueba aplicable para establecer la significación de las diferencias detectadas por los jueces entre las muestras. Se usó para comparar todas las muestras entre sí y ver si había diferencias entre ellas

Se calculó el estadístico F de Friedman de la siguiente forma:

$$F = \frac{12}{JP(P+1)} (R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_p^2) - 3J(P+1)$$

En donde:

- J - número de jueces.
- P - número de productos
- $R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_p^2$ - Suma de las ordenaciones de los jueces.

Los valores de F se compararon con los valores críticos aproximados obtenidos utilizando la distribución χ^2 con P-1 grados de libertad. Teniendo en cuenta esto y que el número de productos estudiados fue de 4, se obtuvieron los siguientes valores críticos:

- 7,81 para niveles de significación $\alpha=0,05$
- 11,34 para niveles de significación $\alpha=0,01$

Si F era igual o mayor que este valor crítico se podía concluir que había una diferencia significativa entre las muestras, con un determinado nivel de significación (α).

Una vez que se detectaron diferencias entre las muestras, se identificaron los pares de muestras que difieren entre sí, usando un análogo de la prueba de diferencias mínimas de Fisher, utilizando una aproximación normal. Dos muestras eran diferentes si:

$$|R_i - R_j| \geq 1,960 \sqrt{\frac{JP(P+1)}{6}} \text{ para nivel de significación } \alpha = 0,05$$

$$|R_i - R_j| \geq 2,576 \sqrt{\frac{JP(P+1)}{6}} \text{ para nivel de significación } \alpha = 0,01$$

En donde:

- i y j son dos muestras
- R_i y R_j son las sumas de las ordenaciones de los jueces
- Prueba de Page.

Se usó para establecer si la ordenación de las muestras coincide con un orden teórico determinado. Para ello se utiliza el valor L' , que sigue aproximadamente una distribución normal estándar. Se calcula de la siguiente forma:

$$L' = \frac{12L - 3JP(P-1)^2}{P(P+1)\sqrt{J(P-1)}}$$

Siendo:

$$L = R_1 + 2R_2 + 3R_3 + 4R_4$$

La ordenación planteada será aceptada si:

- $L' \geq 1,645$ (probabilidad 0,05).
- $L' \geq 2,326$ (probabilidad 0,01).

4.4 ENSAYO 1



4.4.1 Diseño experimental

En este experimento se estudió el efecto de tres factores como son el tipo de disolución antipardeamiento utilizada (2 tipos de disolución antipardeamiento), la composición de la

atmósfera protectora empleada en el envasado (dos tipos de gas) y del tiempo de almacenamiento (cuatro o cinco tiempos de almacenamiento, dependiendo de la variable estudiada) (tabla 3). Para ello, se plantea un experimento factorial en bloques, con un diseño en split-split plot, con cuatro repeticiones. Cada bloque se corresponde con una de las repeticiones del proceso. Se introducen los bloques, que son un tipo de restricción a la aleatorización completa, para controlar posibles efectos impuestos externamente al experimento, como pueden ser la heterogeneidad de las muestras, estado físico y psíquico de las personas que realizan el procesado y otros posibles imprevistos.

Tabla 3. Factores y niveles que se estudian en ensayo factorial del ensayo 1

Factor		Nivel	
G	Tipo de atmósfera modificada	1	N ₂
		2	Mezcla N ₂ / CO ₂ (88% / 12%)
A	Tipo de disolución antipardeamiento	1	Disolución sin sulfitos Ácido cítrico/ácido ascórbico (0,5%/0,5%)
		2	Disolución con sulfitos Ácido cítrico/ácido ascórbico/metabisulfito potásico (0,5%/0,5%/0,5%)
Ti	Tiempo de almacenamiento	0	Tiempo 0
		1	Tiempo 1
		2	Tiempo 2
		3	Tiempo 3
		4	Tiempo 4

Se utilizó un diseño en parcela dividida porque uno de los factores que se quería introducir era un factor difícil de cambiar y por tanto no era operativo hacer un diseño completamente aleatorizado o aleatorizado por bloques. Por tanto, era conveniente introducir otra restricción a la aleatorización. En este caso el factor difícil de cambiar fue el tipo de gas de atmósfera modificada, y era difícil de cambiar porque para alternar el tipo de gas había que cambiar la bombona que lo contenía, que estaba conectada a la máquina envasadora y era

necesario eliminar los restos de gas que quedaban en los conductos. Debido a esto, un diseño en split-plot, era adecuado para este tipo de restricción a la aleatorización, con el factor tipo de gas de envasado como la parcela completa del diseño. Esto implica que se aleatorice el factor tipo de gas dentro del bloque, es decir, que se aleatorizó el tipo de gas, pero todos los tratamientos que tenían este tipo de gas dentro de un bloque se realizaron seguidos. Después se aleatorizó el factor tipo de disolución antipardeamiento dentro del bloque.

Por otro lado, una aleatorización completa del tiempo dentro del bloque supondría tener que repetir cada uno de los tratamientos (combinación de tipo de gas y tipo de disolución antipardeamiento) para cada nivel del factor tiempo, y esto era inviable a nivel operativo. Por tanto, fue necesario introducir otra restricción a la aleatorización que supuso un diseño en parcela subdividida. Teniendo en cuenta esto, se planteó el experimento factorial en bloques con un diseño en split-split plot, en el que:

- Parcela completa: Tipo de gas (G)
- Parcela dividida: Tipo de disolución antipardeamiento (A)
- Parcela subdividida: Tiempo de almacenamiento (Ti)

De esta forma las muestras para evaluar el factor tiempo eran las divisiones de la parcela dividida, es decir, para este experimento son bolsas de producto que fueron envasadas bajo el mismo tratamiento (mismo tipo de disolución antipardeamiento y mismo gas de envasado).

Por tanto, el procesado de este ensayo factorial (ver sección 4.1.3), siguiendo este diseño, se realizó como se muestra en la tabla 4. Teniendo en cuenta que dentro de cada tratamiento (bloque x tipo de atmósfera x tipo de disolución antipardeamiento) se procesaron las muestras necesarias para evaluar el factor tiempo. En este procesado se envasaron patatas enteras, cortadas en forma de tiras y cortadas en forma de cubos. El almacenamiento de las muestras se realizó a 2 °C.

Tabla 4. Descripción del experimento factorial del ensayo 1

Orden de procesado	Lote	Tratamiento	Repetición (Bloque)	Tipo de Atmósfera Modificada (G)	Tipo de disolución antipardeamiento (A)
1	1	1	1	1	1
2	2	2	1	1	2
3	4	4	1	2	2
4	3	3	1	2	1
5	7	3	2	2	1
6	8	4	2	2	2
7	6	2	2	1	2
8	5	1	2	1	1
9	9	1	3	1	1
10	10	2	3	1	2
11	12	4	3	2	2
12	11	3	3	2	1
13	16	4	4	2	2
14	15	3	4	2	1
15	13	1	4	1	1
16	14	2	4	1	2

Para realizar el análisis sensorial se planteó un experimento en el que se estudiaron los mismos factores, pero con un diseño diferente. En este experimento se estudió si existen diferencias entre patatas mínimamente procesadas con diferente tiempo de almacenamiento. Es decir, que compararon patatas procesadas con un mismo tipo de tratamiento, pero con un tiempo distinto de almacenaje. Para ello, elaboraron patatas con cuatro tipos distintos de tratamiento (ver tabla 5), realizando combinaciones de los 2 tipos de gas y los dos tipos de antioxidante. El procesado se realiza por tratamientos (todas las patatas de un tratamiento se envasan juntas).

Tabla 5. Diseño del experimento para realizar la prueba de análisis sensorial realizada en el ensayo 1.

Tratamiento	Tipo de gas (G)		Tipo de disolución antipardeamiento (A)	
	1	1	N ₂	1
2	1	N ₂	2	Con metabisulfito
3	2	N ₂ + CO ₂	1	Sin metabisulfito
4	2	N ₂ + CO ₂	2	Con metabisulfito

Dado que la prueba sensorial que se realizó era una prueba triangular, las patatas que se procesaron inicialmente y que estaban almacenadas en las cámaras frigoríficas (productos) era necesario compararlas con otras muestras (testigos) que se preparaban de la misma forma que los productos, el día anterior al análisis sensorial (también se conservaban en la cámara frigorífica hasta el momento de realizar la preparación de la prueba sensorial). En la prueba sensorial inicial (tiempo 0), el testigo era patata sin procesar.

Para este experimento se procesaron patatas cortadas enteras y cortadas en tiras, y el almacenamiento se realizó a 2 °C.

4.4.2 Variables estudiadas

Teniendo en cuenta que se realizaron análisis sobre distintos tipos de muestras, ya que había muestras con diferentes formas de corte y también que, dependiendo del análisis que se vaya a realizar, se aplica a las muestras distintos tipos de preparación y cocinado, se estudian las variables que se muestran en la tabla 6.

Para evaluar estas distintas variables del ensayo factorial con diseño Split-split-plot que se estudiaron en esta prueba se realizaron determinaciones analíticas a cada uno de los tratamientos estudiados para cada nivel del factor tiempo. Dependiendo del tipo de variable estudiada se presentaban distintos niveles del factor tiempo. Todo esto se puede observar en la tabla 7.

La preparación de las muestras para realizar los distintos análisis se describe en el apartado 4.2.



Tabla 6. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 1, en función del tipo de corte y cocinado de la patata.

Tipo de variable	Tipo de corte	Tipo de cocinado	Variable de calidad estudiada
Químicas	Tiras	Crudas	pH % Materia seca (%MS) Vitamina C (VC) % CO ₂ Azúcares reductores (AR) Actividad de agua (aw)
Color	Tiras (t)	Crudas (Cr)	Lt(Cr), at(Cr) y bt(Cr)
	Tiras (t)	Fritas (f)	Lt (f), at (f) y bt (f)
	Entera (e)	Cruda (Cr)	Le(Cr), ae(Cr) y be(Cr)
	Entera (e)	Cocida (cd)	Le(Cd), ae(Cd) y be(Cd).
	Mitades (i)	Cruda (Cr)	Li(Cr), ai(Cr) y bi(Cr)
	Mitades (i)	Cocidas (cd)	Li(Cd), ai(Cd) y bi(Cd)
Textura	Dados	Crudas	Fuerza máxima de ruptura (F) Longitud a la ruptura (L) F/L W
Microbiológicas	Tiras	Crudas	Aerobios mesófilos (AM) Aerobios psicrotrofos (AP) <i>Salmonella spp.</i> (Ss) <i>Staphylococcus aureus</i> (Sa) <i>Listeria monocytogenes</i> (Lm) Enterobacterias (EN) Coliformes (CO) <i>Clostridium perfringens</i> (Cp) <i>Bacillus cereus</i> (Bc)
Sensoriales	Tiras (t)	Fritas (f)	Número de respuestas correctas (Nt(f))
	Enteras (e)	Cocidas (Cd)	Número de respuestas correctas (Ne(Cd))

Tabla 7. Tipos de variables de calidad estudiadas en el ensayo 1, y niveles del factor tiempo de almacenamiento (Ti) asociadas a cada una de ellas.

Niveles del factor tiempo de almacenamiento (Ti) (Semanas de almacenamiento)		Variables
0	Misma semana	Color
		Textura
1	1 semana	Químicas
		Color
		Textura
		Microbiológicas
2	2 semanas	Químicas
		Color
		Textura
		Microbiológicas
3	3 semanas	Químicas
		Color
		Textura
		Microbiológicas
4	4 semanas	Químicas
		Color
		Textura
		Microbiológicas

En cuanto al experimento para realizar los análisis sensoriales, en la tabla 8 se puede ver el resumen de la cronología de los análisis triangulares que se realizaron para evaluar sensorialmente los factores estudiados. En la tabla también se pueden observar todos los tipos de muestras que se estudiaron, que serán distintas dependiendo del tipo de corte y del tipo de preparación necesaria para realizar los análisis.

Tabla 8. Cronología de los análisis sensoriales realizados en el ensayo 1. Tipo de corte y preparación de las muestras estudiadas.

Tiempo de almacenamiento		Tipo de corte	Tipo de preparación
0	Día siguiente	Tiras	Fritas
		Enteras	Cocidas
1	1 semana	Tiras	Fritas
		Enteras	Cocidas
2	2 semanas	Tiras	Fritas
		Enteras	Cocidas

4.4.3 Análisis de datos

En este ensayo se realizaron las siguientes pruebas estadísticas, según como se muestra en la sección 4.3:

- Mediante los estadísticos descriptivos: media, desviación estándar (DT), coeficiente de variación (CV), máximo y mínimo
- Representaciones gráficas más usuales (gráfico de dispersión, gráfico de intervalos de confianza de la media, gráfico de efectos principales y gráfico de interacciones.
- Análisis de la varianza: Se aplicó un tratamiento rutinario para datos que obedecen al diseño experimental previo mediante análisis de varianza siguiendo el siguiente modelo matemático, derivado de este diseño experimental, que se muestra a continuación (Hicks and Turner, 1999):

$$\begin{aligned}
 Y = & \underbrace{R + G + RxG}_{\text{Parcela completa}} + \underbrace{A + RxA + GxA + RxGxA}_{\text{Parcela dividida}} + \\
 & + \underbrace{Ti + RxTi + GxTi + AxTi + RxGxTi + RxAxTi + GxAxTi}_{\text{Parcela subdividida}} + \text{error}
 \end{aligned}$$

El análisis de significación de los efectos se ha realizado mediante los procedimientos ANOVA en los casos en que el modelo era equilibrado y GLM cuando no lo es.

En el análisis de varianza utilizando este modelo con Minitab, todos los términos que tengan el factor R deben ser ignorados (Hicks and Turner, 1999).

- Análisis de datos mediante tablas de distribución binomial para la prueba triangular, siguiendo la norma UNE-EN ISO 4140 (AENOR, 2008).

4.5 ENSAYO 2

4.5.1 Diseño experimental

En este experimento se estudió la influencia de la temperatura de almacenamiento en la conservación de la patata mínimamente procesada.

Para ello, se planteó un experimento factorial de un factor a tres niveles (ver la tabla 9) con tres repeticiones organizado en bloques. De forma que cada repetición se correspondía con un bloque, y que dentro de cada bloque el diseño era aleatorizado. El factor estudiado fue la temperatura de almacenamiento. Y los niveles de este factor se corresponden con las temperaturas a las que el producto procesado se almacenó, que son 2 °C, 8 °C, y una combinación de ambos, en la que se simuló la pérdida de la cadena de frío. Para este último nivel, los productos se cambiaron de cámara de almacenamiento una vez a la semana, de modo que permanecieron 5 días en la cámara de 2 °C y 2 días en la de 8 °C.

Tabla 9. Factores y niveles que se emplean en el diseño experimental del ensayo factorial del ensayo 2.

Factor	Nivel	
Temperatura de almacenamiento	1	2 °C
	2	5 días a 2 °C-2 días a 8 °C
	3	8 °C

El procesado de la patata para este ensayo factorial (ver sección 4.1.3), siguiendo este diseño, se realizó como se muestra en la tabla 10. Teniendo en cuenta que dentro de cada tratamiento (bloque x temperatura de almacenamiento) se procesaron las muestras necesarias para evaluar el factor estudiado realizando varias tandas de análisis para evaluar las variables estudiadas durante el tiempo de almacenamiento. En este procesado, el tipo de gas empleado en la atmósfera modificada fue el N₂, el tipo de corte empleado fue el de patatas en tiras y el tipo de disolución antipardeamiento fue la que contiene ácido ascórbico y ácido cítrico (0,5%/0,5%).


Tabla 10. Descripción del experimento factorial del ensayo 2.

Orden	Lote	Tratamiento	Repetición/Bloque (R)	Tipo de disolución Antipardeamiento (A)
1	2	2	1	2
2	1	1	1	1
3	3	3	1	3
4	9	3	3	3
5	7	1	3	1
6	8	2	3	2
7	4	1	2	1
8	6	3	2	3
9	5	2	2	2

4.5.2 Variables estudiadas

Para evaluar las distintas variables de calidad que se estudiaron en este ensayo, se realizaron determinaciones analíticas a cada uno de los lotes anteriores durante varias semanas de almacenamiento del producto. Se estudiaron distintos tipos de variables de calidad que se detallan en la tabla 11.

Tabla 11. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 2.

Tipo de variable	Variable
Químicas	pH % CO ₂ % Materia seca (%MS)
Color	L*, a*, b* H*, C*
Textura	Fuerza máxima de ruptura (F) Longitud a la ruptura (L) F/L W
 Microbiológicas	Mohos y levaduras (ML) <i>Bacillus cereus</i> (Bc)

El número de semanas en las que se realiza el estudio fue distinto dependiendo de la variable estudiada. Dado que el tiempo no era un factor como tal, había una variable de las

estudiadas en este ensayo para cada una de las mediciones realizadas a lo largo del tiempo de almacenamiento (tabla 12). Es decir, que en cada tiempo en el que se realiza una tanda de análisis, había variables distintas a las de los otros tiempos.

Tabla 12. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 2, y tiempo de almacenamiento al que se realizaron los análisis.

Tiempo de almacenamiento		Tipo de variable	Variables de calidad estudiada
0	Misma semana	Químicas	pH0, %CO ₂ 0, %MS0
		Color	L*0, a*0, b*0, H*0, C*0
		Textura	F0, L0, F/L0, W0
		Microbiológicas	ML0, Pa0, Bc0
1	1 semana	Químicas	pH1, %CO ₂ 1, %MS1
		Color	L*1, a*1, b*1, H*1, C*1
		Textura	F1, L1, F/L1, W1
		Microbiológicas	ML1, Pa1, Bc1
2	2 semanas	Químicas	%CO ₂ 2
		Microbiológicas	ML2, Pa2, Bc2
3	3 semanas	Químicas	%CO ₂ 3
		Microbiológicas	ML3, Pa3, Bc3

En este ensayo los análisis se han realizado en su totalidad sobre patatas crudas cortadas en tiras.

A la vista de los resultados obtenidos en el ensayo 1, se decidió determinar solo los microorganismos alterantes. La variable Vitamina C (VC) no se determinó en este ensayo debido a que se vio en el ensayo 1 que solo refleja la adición o no disolución antipardeamiento, que no era una variable que influyera en el aspecto sensorial del producto y que tampoco era un factor importante a la hora de que el consumidor lo adquiriera.

4.5.3 Análisis de datos

En este ensayo se llevó a cabo el siguiente tratamiento de los datos obtenidos, que se realizaron según se muestra en la sección 4.3:

- Estadísticos descriptivos: media, desviación típica (DT), coeficiente de variación (CV), máximo y mínimo.
- Representaciones gráficas: Gráficos de datos individuales y gráficos de dispersión.
- Análisis de correlaciones simple.
- Análisis de la varianza: Se realizó un tratamiento de los datos que obedecen al diseño experimental empleado en este ensayo, con el procedimiento ANOVA, al tratarse de un ensayo equilibrado. El modelo matemático utilizado es el que se muestra a continuación:

$$Y = R + T + \text{error}$$

4.6 ENSAYO 3

4.6.1 Diseño experimental

Se hizo un estudio de la influencia de la temperatura de almacenamiento, y de la presencia o no de aditivos en la disolución antipardeamiento adicionada, en la conservación de la patata mínimamente procesada durante su periodo de vida útil.

Para ello, se diseñó un ensayo factorial en bloques, en el que se estudiaron el efecto de dos factores (temperatura de almacenamiento y tipo de disolución antipardeamiento), con dos niveles para cada uno de los factores. Se sometió a los productos estudiados a un tratamiento con dos disoluciones antipardeantes distintas (disolución sin aditivos y disolución con ácido ascórbico/ácido cítrico (0,5%/0,5%). Se almacenaron las muestras a dos temperaturas distintas (2 °C y 8 °C) tres semanas (tabla 13), durante las cuales se realizaron 4 tandas de análisis.

Tabla 13. Factores y niveles del experimento factorial del ensayo 3.

Factores	Niveles	
Temperatura de almacenamiento (T)	1	2 °C
	2	8 °C
Tipo de disolución antipardeante (A)	1	Con aditivos ácido ascórbico/ácido cítrico (0,5%/0,5%)
	2	Sin aditivos

Para cada tratamiento (combinación de factores y niveles) se realizaron 4 repeticiones. Por tanto, había un total de 4 tratamientos con 4 repeticiones, es decir, 16 lotes de producto distintos. Cada repetición se correspondía con uno de los bloques estudiados, y el orden dentro de cada bloque era aleatorio.

Se realizó el procesado de la patata para este ensayo siguiendo el diseño factorial descrito, según el procedimiento que se muestra en la sección 4.1.3. El tipo de corte elegido fue el de patatas cortadas en forma de tiras y el envasado en atmósfera modificada de N₂. Dicho procesado se llevó a cabo, tal como se muestra en la tabla 14, teniendo en cuenta que dentro de cada lote se procesaron las muestras necesarias para evaluar los factores estudiados, durante el tiempo de almacenamiento programado, para lo cual fue necesario realizar distintas tandas de análisis.

Tabla 14. Descripción del experimento factorial del ensayo 3.

Orden	Lote	Tratamiento	Temperatura de almacenamiento (T)	Tipo de disolución antipardeamiento (A)	Repetición/bloque (RB)
1	3	3	2	1	1
2	4	4	2	2	1
3	1	1	1	1	1
4	2	2	1	2	1
5	8	4	2	2	2
6	5	1	1	1	2
7	7	3	2	1	2
8	6	2	1	2	2
9	11	3	2	1	3
10	9	1	1	1	3
11	12	4	2	2	3
12	10	2	1	2	3
13	14	2	1	2	4
14	16	4	2	2	4
15	13	1	1	1	4
16	15	3	2	1	4

Para llevar a cabo las diferentes pruebas sensoriales se diseñaron ensayos independientes a este ensayo factorial. Se diseñó uno distinto para cada uno de los análisis sensoriales que se realizaron, es decir, un diseño de experimento para la prueba de clasificación por ordenación y otro para la prueba triangular.

En el caso de la prueba de clasificación por ordenación se hizo un diseño completamente aleatorizado sin repeticiones, en el que también se evaluaron el efecto de estos dos factores (temperatura de almacenamiento (T) y tipo de disolución antipardeamiento (A)), con los mismos niveles que en el experimento anterior. Se estudiaron, por tanto 4 tratamientos distintos. El diseño se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. Diseño de experimento para realizar el análisis sensorial de clasificación por ordenación, en el ensayo 3.

Orden	Tratamiento	Temperatura de almacenamiento (T)		Tipo de disolución antipardeamiento (A)	
		Nivel	Valor	Nivel	Valor
1	C	2	8 °C	1	con aditivos
2	D	2	8 °C	2	sin aditivos
3	A	1	2 °C	1	con aditivos
4	B	1	2 °C	2	sin aditivos

El procesado de las muestras para esta prueba sensorial se realizó siguiendo el proceso indicado en el apartado 4.1.3, envasando las patatas cortadas en forma de tiras y embolsadas en atmosfera modificada de N₂.

Por otro lado, el análisis discriminativo de las muestras se llevó a cabo mediante la realización de tres pruebas triangulares distintas. Dos de las pruebas se hicieron para evaluar la influencia de la presencia de aditivos en la disolución antipardeamiento y de la temperatura de almacenamiento de las muestras. Para estos análisis las muestras que tienen un mismo tiempo de almacenamiento de 2 semanas. En la tercera prueba se evalúa la influencia del tiempo de almacenamiento (1 y 3 semanas) en muestras que han sido envasadas con un tratamiento antipardeamiento con aditivos y conservadas a 2 °C. El diseño de estas pruebas se resume en la tabla 16.

El procesado de las muestras para realizar este análisis se hizo siguiendo el proceso indicado en el apartado 4.1.3, envasando patatas cortadas en tiras y con atmósfera modificada de N₂. Se realiza un procesado distinto para cada prueba. Las muestras serán almacenadas de la manera indicada en cada caso. Para la prueba 3 se realizan dos procesados, para que el tiempo de almacenamiento coincida con la fecha de realización del análisis, uno para el producto 1 y otro para el producto 2.

Tabla 16. Diseño de experimento para realizar las pruebas sensoriales mediante prueba triangular, en el ensayo 3.

Prueba	Producto	Disolución antipardeamiento (A)	Temperatura de almacenamiento (T)	Tiempo almacenamiento (Ti)
1	1	Con aditivos	2 °C	2 semanas
	2		8 °C	
2	1	Sin aditivos	2 °C	2 semanas
	2		8 °C	
3	1	Con aditivos	2 °C	1 semanas
	2			3 semanas

4.6.2 Variables estudiadas

Para evaluar las distintas variables que se estudiaron en el ensayo factorial por bloques que se realizó en este ensayo, se hicieron determinaciones analíticas a cada uno de los tratamientos anteriores. Se estudiaron distintos tipos de variables de calidad: químicas, microbiológicas, de textura y de color (tabla 17).

El número de tandas de análisis realizados en este estudio fue de cuatro, empezando en la misma semana en que se realiza el envasado. Esto es así para todas las variables, excepto para las variables sensoriales que en el caso de la prueba triangular se evaluaron en los tiempos 2 y 3, y para la prueba de ordenación que se evaluó en los tiempos 0,1 y 2. Dado que el tiempo no era un factor como tal, había una variable de las estudiadas para cada una de las tandas de análisis realizadas a lo largo del tiempo de almacenamiento. En la tabla 18 se muestra el plan de análisis completo para este ensayo.

En este ensayo los análisis se han realizado sobre patatas crudas cortadas en tiras, excepto en las pruebas sensoriales en las que se ha desarrollado de la siguiente forma:

- Pruebas triangulares. Se utilizaron muestras en tiras y fritas que se preparan según se describe en la sección 4.2.4.
- Pruebas de clasificación por ordenación. Se utilizaron patatas crudas cortadas en tiras, y se evaluaron dentro del propio envase, sin abrirlo.

Tabla 17. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 3.

Tipo de variable	Variable
Químicas	pH Actividad de agua (aw) % CO ₂ % Materia seca (%MS)
Color	L*, a*, b* H*, C*
Textura	Fuerza máxima de ruptura (F) Longitud a la ruptura (L) F/L W
Microbiológicas (Patógenos)	Staphylococcus aureus (Sa) Salmonella spp (Ss) Listeria monocytogenes (Lm) Clostridium perfringens (Cp) Coliformes (CO)
Microbiológicas (Alterantes de la calidad)	Aerobios Psicrotrofos (AP) Mohos y levaduras (ML) Bacillus cereus (Bc)
Sensoriales	Número de respuestas correctas (N) Suma de las ordenaciones de los jueces (Rn)

Tabla 18. Variables de calidad estudiadas en el ensayo 3 y tiempos de almacenamiento en los que se realizaron análisis.

Tiempo de almacenamiento		Tipo de variable	Variable de calidad estudiada
0	Misma semana	Químicas	pH0, a _w 0, %CO ₂ 0, %MS0
		Color	L*0, a*0, b*0, H*0, C*0
		Textura	F0, L0, F/L0, W0
		Microbiológicas	Sa0, Ss0, Lm0, Cp0, CO0 AP0, ML0, Pa0, Bc0
		Sensoriales	R _n 0
1	1 semana	Químicas	pH1, a _w 1, %CO ₂ 1, %MS1
		Color	L*1, a*1, b*1, H*1, C*1
		Textura	F1, L1, F/L1, W1
		Microbiológicas	Sa1, Ss1, Lm1, Cp1, CO1 AP1, ML1, Pa1, Bc1
		Sensoriales	R _n 1
2	2 semanas	Químicas	pH2, a _w 2, %CO ₂ 2, %MS2
		Color	L*2, a*2, b*2, H*2, C*2
		Textura	F2, L2, F/L2, W2
		Microbiológicas	Sa2, Ss2, Lm2, Cp2, CO ₂ AP2, ML2, Pa2, Bc2
		Sensoriales	R _n 2 N2(1) (Prueba 1) N2(2) (Prueba 2)
3	3 semanas	Químicas	pH3, a _w 3, %CO ₂ 3, %MS3
		Color	L*3, a*3, b*3, H*3, C*3
		Textura	F3, L3, F/L3, W3
		Microbiológicas	Sa3, Ss3, Lm3, Cp3, CO3 AP3, ML3, Pa3, Bc3
		Sensoriales	N3(3) (Prueba 3)

4.6.3 Análisis de datos

El tratamiento de los datos que se realizó en este ensayo está compuesto por las siguientes pruebas estadísticas que se llevaron a cabo según se muestra en la sección 4.3:

- Estadísticos descriptivos: media (M), desviación estándar (DT), coeficiente de variación (CV), máximo, mínimo, coeficiente de asimetría (Asi) y coeficiente de apuntamiento (Apu).
- Representaciones gráficas: gráficos de dispersión, gráficos de datos individuales, gráficos de dispersión, gráficos de intervalos de confianza de la media.
- Análisis de correlación lineal simple
- Análisis de la varianza.

Se realizó un tratamiento de los datos que obedecen al diseño experimental empleado en este ensayo mediante el procedimiento ANOVA, ya que se trata de un ensayo equilibrado. El modelo matemático utilizado es el que se muestra a continuación:

$$Y = A + T + B + AxT + error$$

- Análisis de datos para la Prueba triangular: Según las tablas de distribución binomial de la norma UNE-EN ISO 4140 (AENOR, 2008).
- Análisis de datos para las pruebas de clasificación por ordenación, según la norma UNE-ISO 8587:2010/Amd 1 (AENOR, 2017):
 - Prueba de Friedman.
 - Prueba de Page.

5 RESULTADOS

5.1 ENSAYO 1. SULFITOS, GASES DE ENVASADO Y TIEMPO.

En el ensayo 1 se estudiaron los efectos de tres factores del proceso de elaboración de patata mínimamente procesada. Por un lado, se estudian dos tipos de atmósfera modificada, (envasado con N₂ y con una mezcla de N₂ y CO₂). Por otro, los efectos de dos tipos de tratamiento antipardecimiento, en el que se analiza el efecto de los sulfitos como aditivos antipardecimiento (disolución de ácido ascórbico + ácido cítrico y disolución de ácido ascórbico + ácido cítrico + metabisulfito potásico). Finalmente se estudia el efecto del tiempo de almacenamiento, durante 4 semanas. Para realizar este estudio se realizan análisis de distintas variables químicas, microbiológicas, de textura, de color y sensoriales.

El tratamiento de los datos en este ensayo se realizó según se indica en la sección 4.4.3. Para todas las variables químicas, de color y textura incluidas en este estudio se calcularon distintos estadísticos descriptivos y se realizó un análisis de varianza mediante procedimientos ANOVA excepto para la variable de actividad de agua (a_w), en la que debido a que había datos perdidos se emplearon procedimientos GLM. Para las variables microbiológicas no fue posible hacerlo debido a que el escaso número de datos impedía tratarlas como continuas, siendo algunas de ellas degeneradas. Los resultados se ilustraron con gráficos de distintos tipos. Además, se completó el estudio realizando el tratamiento de los datos de las variables sensoriales de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 4120 (AENOR, 2008).

5.1.1 Variables químicas

Las variables químicas estudiadas en esta sección fueron materia seca, azúcares reductores, vitamina C, % CO₂, pH y actividad de agua. En la tabla 19 se muestran los estadísticos descriptivos para estas variables. Se observa que la actividad de agua y el pH son los que presenta un coeficiente de variación menor, lo que nos indica que para estas dos variables las observaciones en el ensayo están menos dispersas, mientras que los datos de

vitamina C son los que presentan una mayor dispersión. Esto da indicios de que puede haber diferencias significativas entre los distintos lotes elaborados.

Tabla 19. Estadísticos descriptivos para las variables químicas del ensayo 1: materia seca (MS), azúcares reductores (AR), vitamina C (VC), %CO₂, pH y actividad de agua (a_w).

Variable	Media	DT	CV	Mínimo	Máximo
% MS	21,69	1,838	8,47	18,523	25,75
% AR	0,14	0,03049	22,32	0,07	0,20
VC (mg/g)	0,33	0,2872	87,32	0,004	0,731
% CO ₂	9,3	4,337	46,62	3,2	17,8
pH	5,56	0,1046	1,88	5,355	5,91
a _w	0,94	0,01362	1,45	0,91	0,97

Se muestra un resumen de los resultados del análisis de varianza para estas variables en la tabla 20.

Tabla 20. Resumen del análisis de varianza para las variables químicas del ensayo 1: materia seca (MS), azúcares reductores (AR), vitamina C (VC), %CO₂, pH y actividad de agua (a_w), frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A), tipo de atmósfera modificada (G) y tiempo de almacenamiento (Ti).

	G	A	Ti	GxA	GxTi	AxTi	GxAxTi
MS	ns	**	***	ns	ns	**	ns
AR	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
VC	ns	***	ns	ns	ns	ns	ns
%CO ₂	***	***	***	**	ns	***	ns
pH	*	*	***	ns	ns	ns	ns
a _w	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
G: Tipo de atmósfera modificada A: Tipo de disolución antipardeamiento Ti: Tiempo de almacenamiento				* p≤0,05 ** p≤ 0,01 *** p≤ 0,001 ns: No significativo			

De forma general se observó que el factor G (tipo de atmósfera modificada) solo tiene efectos significativos para las variables %CO₂ y pH, mientras que los factores A (tipo de disolución antipardeante) y Ti (tiempo de almacenamiento) afectaron a más variables, y

además presentaron efectos aditivos entre ellas, presentando interacciones para las variables MS y %CO₂. Se puede ver que para la variable materia seca (MS) hubo una influencia significativa del tipo de disolución antipardeamiento y del tiempo de almacenamiento. La influencia de estos dos factores se puede ver en el gráfico de dispersión que se muestra en la figura 6. El grupo de muestras que fueron tratadas con la disolución que no contenía metabisulfito potásico no aumentaron su contenido en materia seca a medida que transcurrió el tiempo que las patatas estuvieron almacenadas, mientras que en las que sí lo tenían mostraron un aumento en su tanto por ciento de materia seca. Es decir, que las muestras que llevaban metabisulfito potásico perdieron más agua a medida que aumentaba su tiempo de almacenamiento y por tanto evolucionaron a medida que fue pasando el tiempo, mientras que en las que no llevan metabisulfito potásico no se ve esta evolución. Esto se observa también en el gráfico de intervalos de confianza de la media que se muestra en la figura 7.

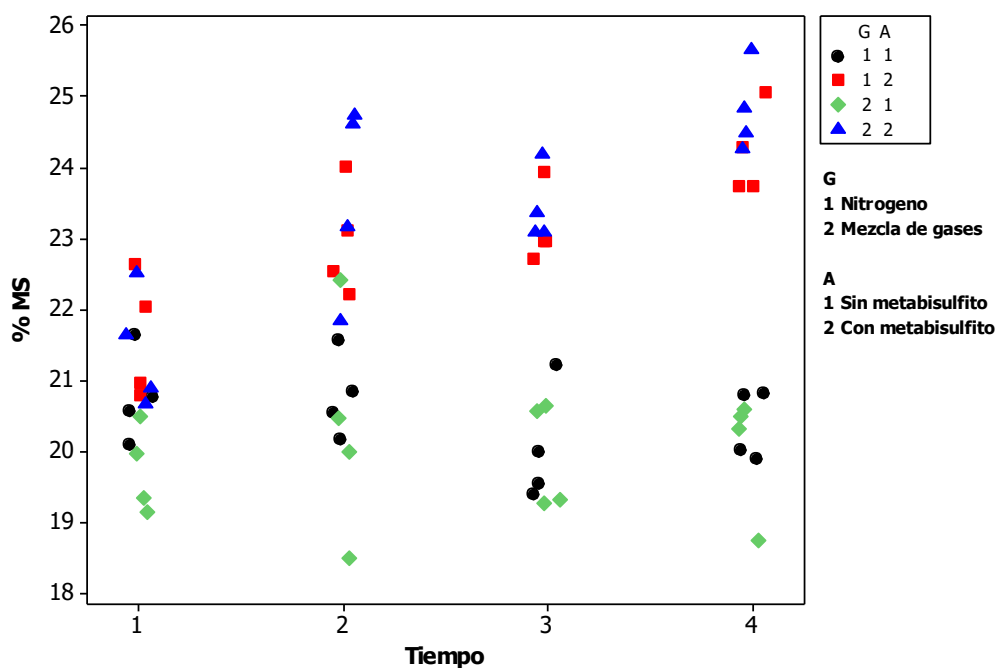


Figura 6. Gráfico de dispersión para la variable materia seca (MS) frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).

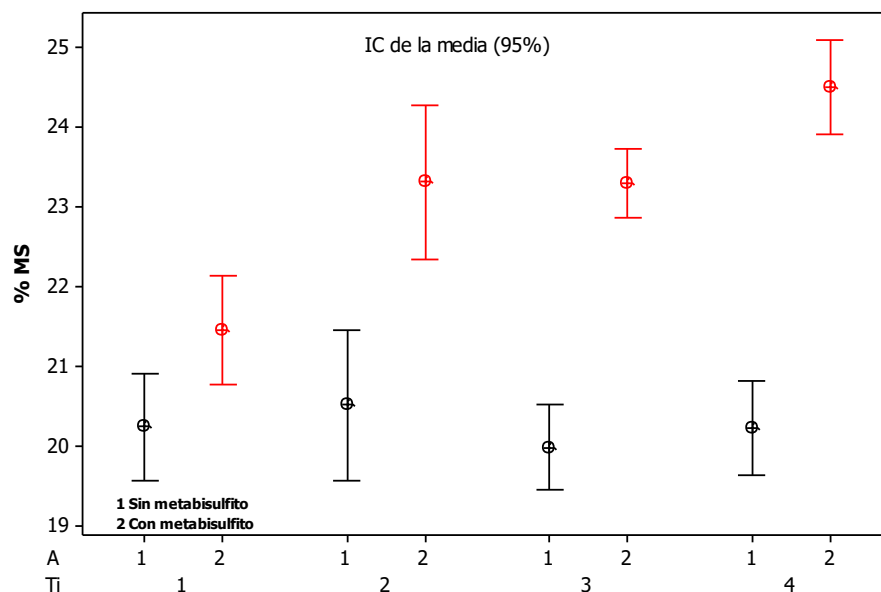


Figura 7. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable materia seca (MS) frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).

En los azúcares reductores (AR) se observaron diferencias significativas con el factor tiempo de almacenamiento (Ti). En la parte izquierda de la figura 8 se observa que este efecto se mostró sobre todo en el tiempo 4, en donde bajaron significativamente los valores de este parámetro.

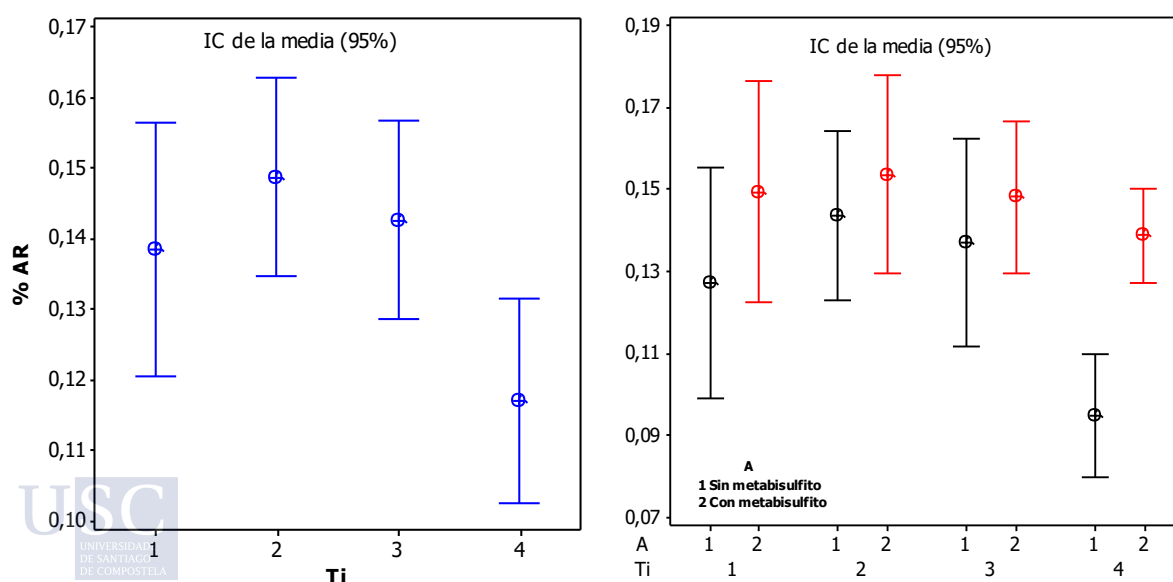


Figura 8. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable azúcares reductores (AR), frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti) (izquierda) y frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti) (derecha).

En la parte derecha de la figura 8 se aprecia que esta bajada en el último tiempo de almacenamiento se asocia al tipo de disolución antipardeamiento empleada, advirtiéndose una reducción significativa de los valores de este parámetro en las muestras en las que no se aplicó metabisulfito potásico.

En el caso de la variable vitamina C (VC) se observaron diferencias significativas para el factor tipo de disolución antipardeamiento (A). En el gráfico de dispersión de la figura 9 se puede ver como las muestras que han sido sometidas al tratamiento con metabisulfito potásico presentan valores más altos de vitamina C.

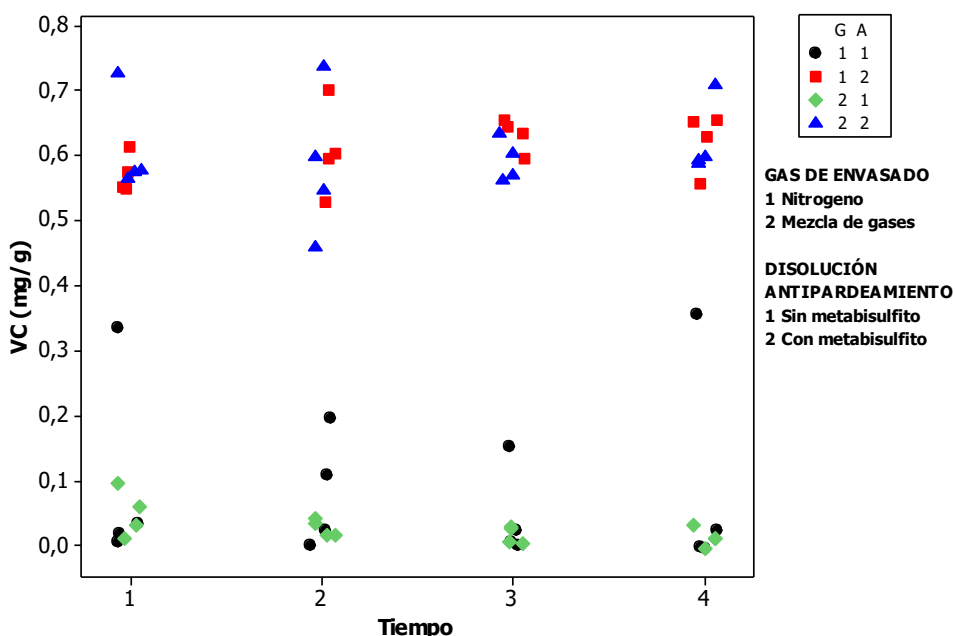


Figura 9. Gráfico de dispersiones para la variable vitamina C (VC) frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).

En la variable %CO₂ se observaron efectos muy altamente significativos de los factores tipo de gas (G), tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti). Además, las interacciones GxA y AxTi también fueron significativas, lo que puede verse en el gráfico de dispersión que se muestra en la figura 10.

La figura 11 pone de manifiesto el efecto del factor tipo de atmósfera modificada (G) y se ve que las muestras que fueron envasadas con la mezcla de gases presentan valores significativamente más altos de CO₂, lo cual es lógico ya que en este tipo de envasado se

modificó la atmósfera con un gas que tiene un 12 % de CO₂, mientras que en otro tipo de atmósfera solo se utilizó nitrógeno.

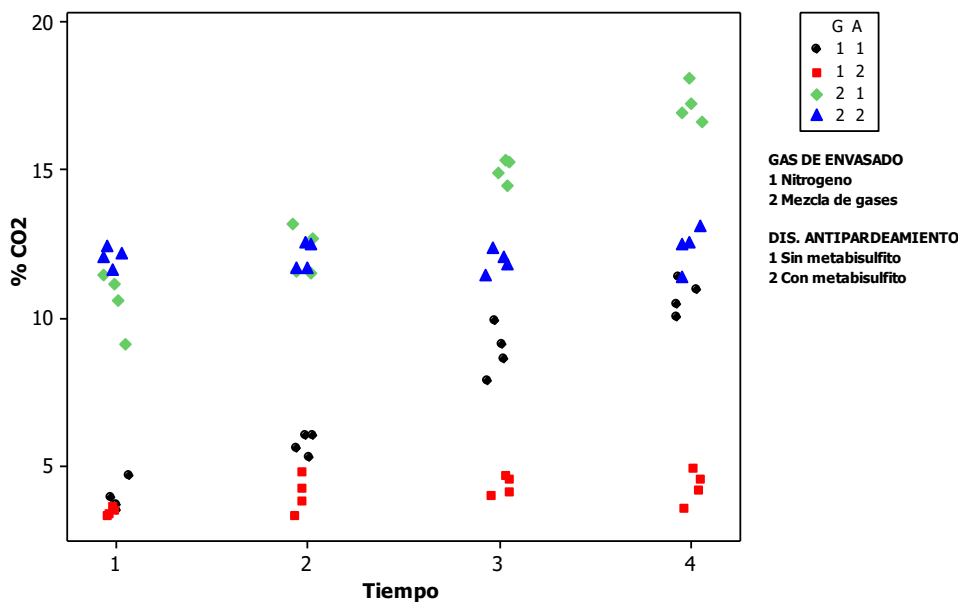


Figura 10. Gráfico de dispersiones para la variable %CO₂ frente al tiempo de almacenamiento (Ti).

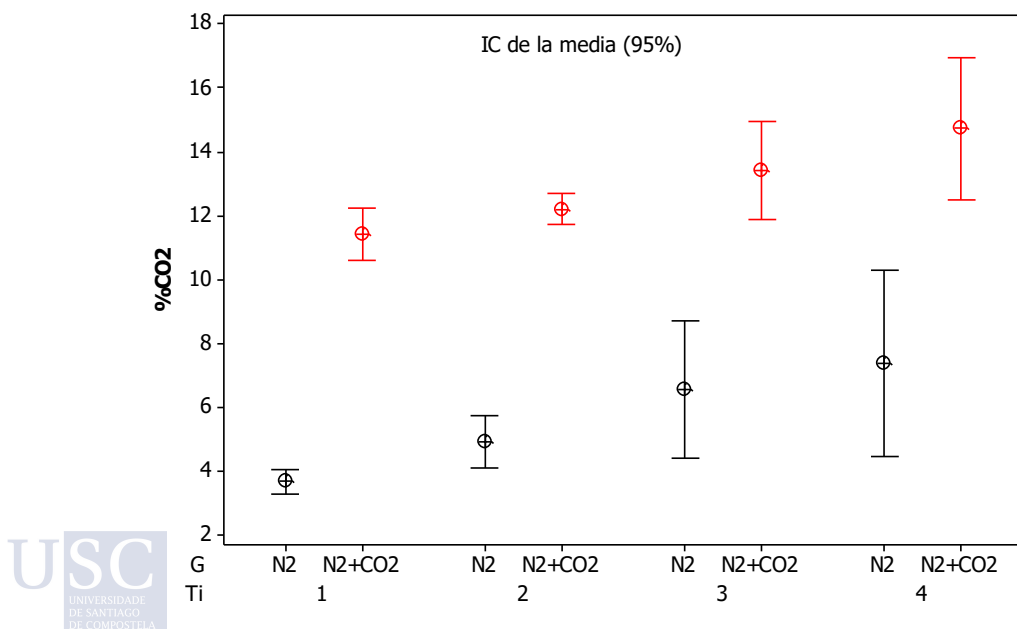


Figura 11. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable %CO₂ frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de atmósfera modificada (G).

Por otra parte, el análisis de varianza muestra que había una interacción entre el tiempo de almacenamiento (T_i) y el tipo de disolución antipardeamiento. Se puede ver que las muestras tratadas con la disolución que incorpora metabisulfito potásico no presentaron aumentos significativos del $\%CO_2$ al aumentar el tiempo de almacenamiento, mientras que las muestras que fueron tratadas con la disolución sin metabisulfito potásico sufrieron aumentos en esta variable (ver figura 12).

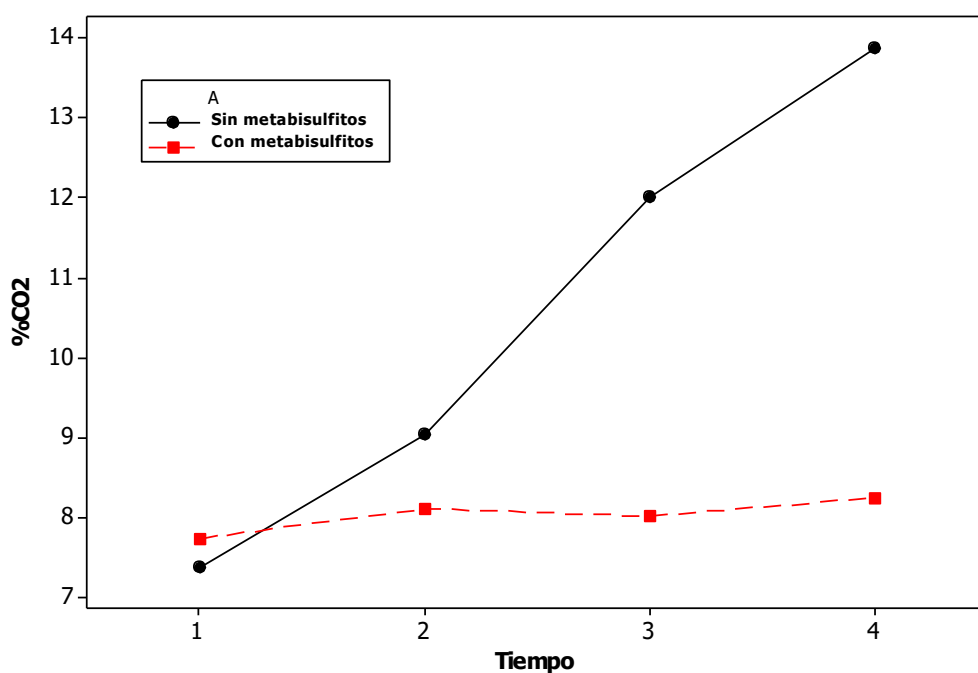


Figura 12. Gráfico de interacciones de los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (T_i), para la variable $\%CO_2$

Para la variable pH se observaron diferencias altamente significativas entre los distintos niveles ensayados para el factor tiempo de almacenamiento (T_i) y también, aunque menos importantes, para los factores tipo de atmósfera modificada (G) y tipo de disolución antipardeamiento (A). Estos efectos se pueden ver en el gráfico de dispersión que se muestra en la figura 13. Indica que estos efectos se produjeron sobre todo en el primer tiempo de almacenamiento (1 semana), que era donde se apreciaban valores más altos para esta variable en las muestras con tratamiento antipardeamiento sin sulfitos, mostrándose que a partir del tiempo 2 se mantenían con menos variaciones.

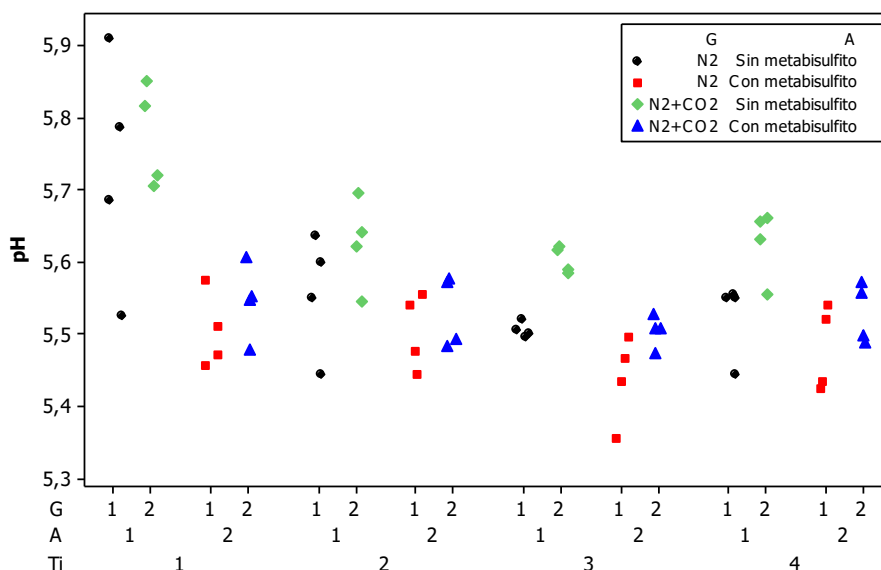


Figura 13. Gráfico de dispersión de la variable pH frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti), tipo de atmósfera modificada (G) y tipo de disolución antipardeante (A).

Para la variable actividad de agua (a_w) se observó un efecto significativo del factor tiempo. Esto se puede ver en el gráfico mostrado en la figura 14, que muestra que en los 3 primeros tiempos de almacenamiento la actividad de agua se mantuvo más o menos constante, aunque con tendencia a ir aumentando, mientras que en el tiempo 4 (4 semanas después del procesado) se produjo un descenso significativo de los valores.

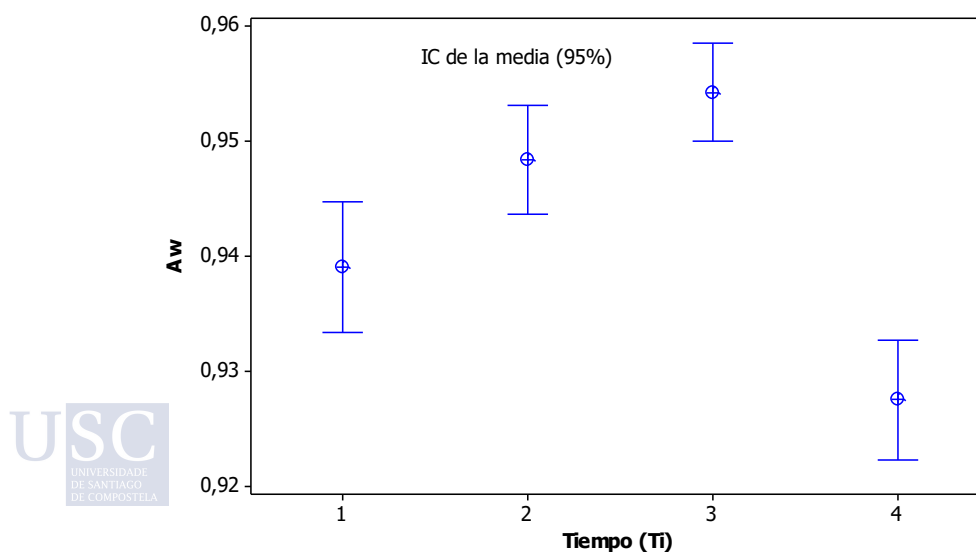


Figura 14. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable actividad de agua (a_w) frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).

5.1.2 Variables de color

Se estudiaron distintas variables de color, realizando mediciones en patatas sometidas a distintos tipos de corte y cocinado según se describe en la sección 4.2.2. En la tabla 21 se muestran los estadísticos descriptivos estudiados para estas variables.

Lo más destacado en este caso es que los valores medios del componente b^* fueron más altos en valor absoluto que los de a^* y además en todos los casos fueron positivos. Esto parece indicar que la componente del color b^* fue la que más contribuyó al color de la patata.

Además, también se puede observar que la dispersión de los datos de las variables relacionadas con el componente del color a^* fue en general mucho mayor que las de L^* y b^* , lo que sugiere que esta variable puede estar afectada por los factores estudiados en este ensayo.

Tabla 21. Estadísticos descriptivos de las variables de color (L^* , a^* y b^*) del ensayo 1, para patatas crudas (Cr), fritas (f) y cocidas (Cd). Las medidas se realizaron en la parte externa de patatas enteras (e), en la parte interior de patatas cortadas a la mitad (i) y en patatas cortadas en tiras (t).

Variable	Media	DT	CV	Mínimo	Máximo
Lt(f)	71,086	6,495	9,14	59,900	84,870
at(f)	-0,788	1,917	-243,41	-4,290	3,492
bt(f)	24,794	2,868	11,57	18,874	33,212
Le(Cd)	71,310	4,949	6,94	60,368	85,414
ae(Cd)	-3,8549	0,4504	-11,68	-4,9520	-2,8580
be(Cd)	8,212	1,910	23,25	3,852	17,140
Li(Cd)	72,254	5,415	7,49	56,000	86,112
ai(Cd)	-4,4908	0,4758	-10,59	-5,7180	-3,2940
bi(Cd)	7,332	1,693	23,10	2,572	10,986
Le(Cr)	78,787	4,530	5,75	72,476	89,470
ae(Cr)	-0,5679	0,3608	-63,55	-1,4200	0,1940
be(Cr)	16,895	1,627	9,63	12,896	20,984
Li(Cr)	75,834	5,301	6,99	67,610	88,968
ai(Cr)	-0,6291	0,2261	-35,94	-1,0300	0,0660
bi(Cr)	16,608	1,307	7,87	14,416	20,486
Lt(Cr)	76,409	4,605	6,03	68,590	85,814
at(Cr)	-1,0886	0,2888	-26,53	-1,8060	-0,4700
bt(Cr)	14,633	1,117	7,63	11,778	17,422

Los resultados del análisis de varianza realizado para las variables de color medidas en las condiciones indicadas en el apartado 4.4.2 se resumen en la tabla 22. Se aprecia que el factor que afectó de forma más altamente significativa fue el tiempo, puesto que sólo una de las variables estudiadas no se vio afectada por este factor.

Tabla 22. Resumen del análisis de varianza de las variables del color del ensayo 1 (L*, a* y b*), para patatas crudas (Cr), fritas (f) y cocidas (Cd). Las medidas se realizaron en la parte externa de las patatas enteras (e), en la parte interior de patatas cortadas a la mitad (i) y en patatas cortadas en tiras (t).

	G	A	Ti	GxA	GxTi	AxTi	GxAxTi
Lt (f)	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
at (f)	ns	ns	***	ns	ns	*	ns
Bt (f)	ns	**	***	ns	ns	ns	ns
Le (Cd)	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
ae(Cd)	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
be(Cd)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Li (Cd)	ns	ns	***	*	ns	*	ns
ai(Cd)	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
bi(Cd)	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
Le (Cr)	ns	*	***	ns	ns	ns	ns
ae(Cr)	ns	*	*	ns	ns	**	ns
be(Cr)	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Li (Cr)	*	ns	***	ns	ns	ns	ns
ai(Cr)	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
bi(Cr)	ns	ns	***	ns	ns	ns	ns
Lt (Cr)	ns	**	***	ns	ns	***	ns
at (Cr)	*	**	**	ns	ns	ns	ns
bt(Cr)	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
G: Tipo de atmósfera modificada A: Tipo de disolución antipardeamiento Ti: Tiempo de almacenamiento				* p≤0,05 ** p≤ 0,01 *** p≤ 0,001 ns: No significativo			

Para la variable L*, en todos los tipos de corte y formas de cocinado, se observaron efectos significativos del factor tiempo de almacenamiento (Ti). La figura 15, muestra la evolución general de L* a lo largo del tiempo, apreciándose que en el tiempo cero, es decir, al

día siguiente del procesado, presentó diferencias significativas con el resto de los tiempos, entre los cuales no se observaron tales diferencias. Teniendo en cuenta que el tiempo 1 se corresponde con 1 semana de almacenamiento, se puede deducir que esta pérdida de luminosidad se produce durante la primera semana del almacenamiento manteniéndose en valores parecidos durante el resto del almacenaje.

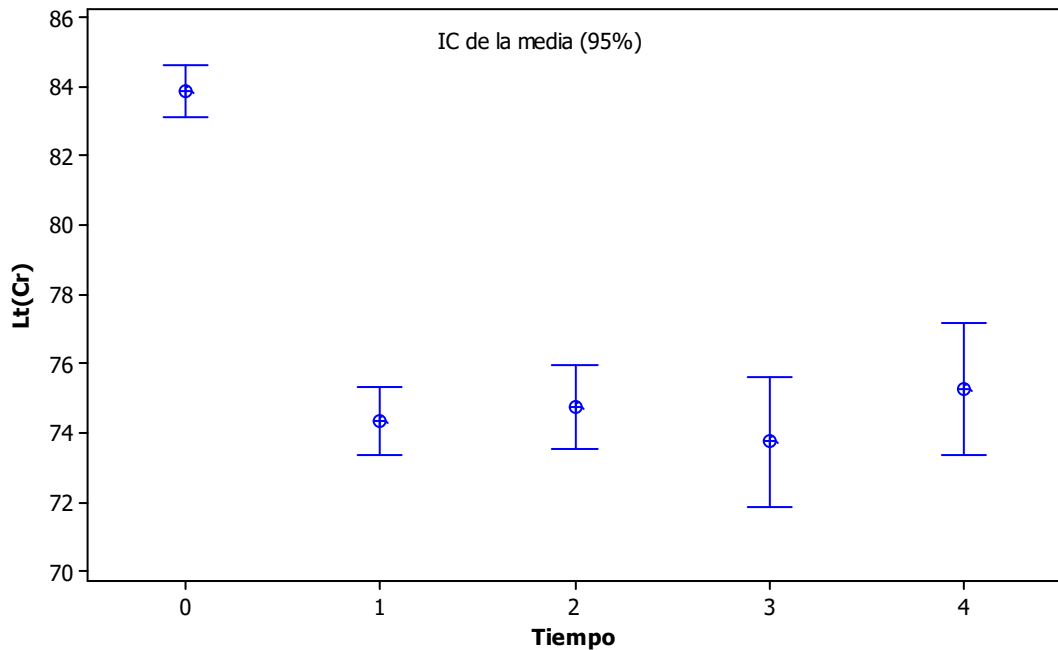


Figura 15. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable L^* del color medida en tiras de patatas en crudo ($Lt(Cr)$), frente al factor tiempo de almacenamiento (Ti).

Para las componentes del color a^* y b^* no se observaron patrones de variación con el tiempo consistentes, para las distintas formas de procesado.

En cuanto al factor tipo de disolución antipardeamiento (A), también se observaron efectos significativos sobre algunas de las variables estudiadas. En patata cruda hubo efectos sobre las variables L^* y a^* , en las zonas en donde la patata está en contacto con la disolución que contiene los aditivos, en concreto sobre las variables $Lt(Cr)$, $at(Cr)$, $Le(Cr)$ y $ae(Cr)$. También se observó un efecto significativo para la variable $bt(f)$, esto es, las medidas de color del parámetro b^* en patata cortada en tiras y frita.

La figura 16 muestra que los valores del parámetro b^* en la patata frita fueron mayores en las muestras tratadas con metabisulfito potásico, por lo que estas muestras presentaron un

color más amarillo, en consonancia con el efecto altamente significativo para $bt(f)$ mostrado en el análisis de la varianza. Las diferencias entre las medias de los tratamientos llegaron a ser altamente significativas en el tercer tiempo de almacenamiento (3 semanas de almacenamiento) y significativas en el cuarto (cuatro semanas de almacenamiento). También se observa que los valores de b^* con el tiempo en las muestras tratadas con metabisulfito mostraron tendencia a aumentar, mientras que las que son tratadas con la disolución que no tiene este aditivo se mostraron más estables con el tiempo.

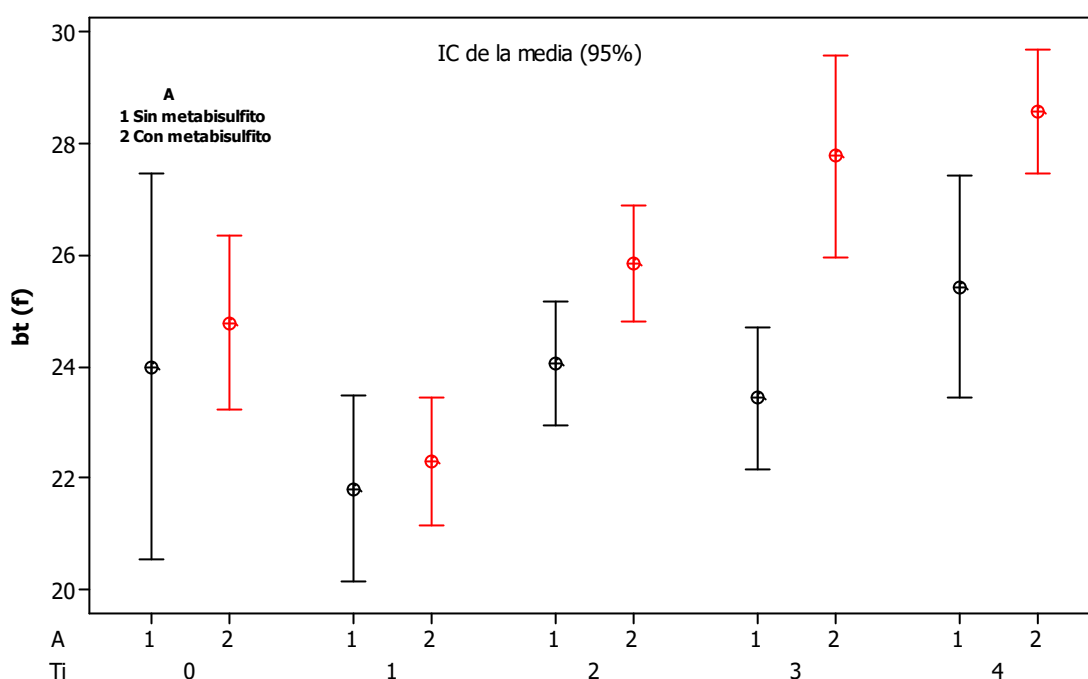


Figura 16. Gráfico de intervalos de confianza de la media para el componente del color b^* medido en titas de patatas fritas $bt(f)$ frente a los factores tiempo de almacenamiento (T_i) y tipo de disolución antipardeamiento (A).

El tipo de disolución antipardeamiento empleada también afectó significativamente a la luminosidad (L). Como se observa en la figura 17 los valores de L^* para las muestras con metabisulfito se mantuvieron a lo largo del tiempo un poco por encima de los de las muestras que no lo tenían. En la patata en tiras ($L_t(Cr)$) estas diferencias fueron mayores que sobre la patata sin cortar ($L_e(Cr)$), y por tanto también lo fue la significación del efecto del factor A . Además, estas diferencias aumentaron mucho con el paso del tiempo, y de ahí la interacción muy altamente significativa $A \times T_i$ para $L_t(Cr)$.

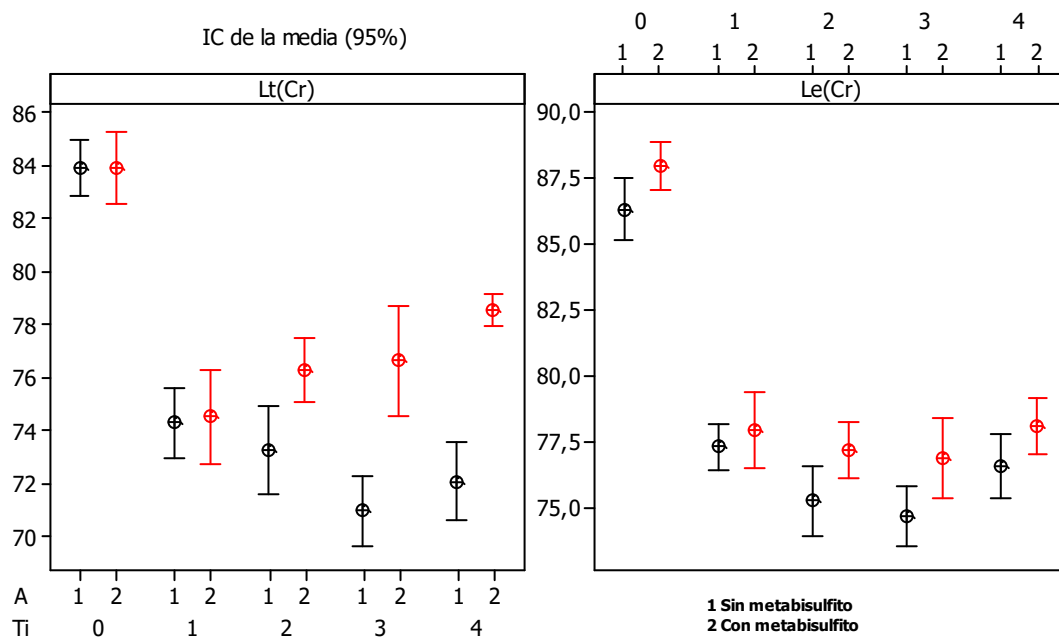


Figura 17. Gráficos de intervalos de confianza de la media para el parámetro del color L* medido en el exterior de patatas crudas sin cortar (Le(Cr)) y en la superficie de patatas crudas cortadas en tiras (Lt(Cr)) frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).

También se observaron efectos significativos del factor A, tipo de disolución antipardeamiento. Para la variable a* se observaron efectos significativos de A en las medidas realizadas en patata cruda at(Cr) y ae(Cr), en las zonas en donde la patata está en contacto con la disolución que contiene los aditivos (tiras y parte externa de las patatas enteras). Esto se puede observar en la figura 18, donde se pueden ver los gráficos de intervalos de confianza de la media para el parámetro a*. Se observa que en este caso los valores de a* fueron algo más bajos en las muestras que llevan metabisulfito, siendo las diferencias significativas a partir del tiempo 1 de almacenamiento (1 semana de almacenamiento) en la patata cortada en tiras. En la patata entera las diferencias fueron significativas a partir del tiempo 2 de almacenamiento (dos semanas de almacenamiento). Además, para la variable ae(Cr) se aprecia que a medida que pasa el tiempo la diferencia entre los valores de a* de las muestras en contacto con la disolución antipardeamiento que lleva metabisulfito y las que no lo llevan aumentaron, razón por la cual había un efecto significativo de la interacción entre estos dos factores (AxTi).



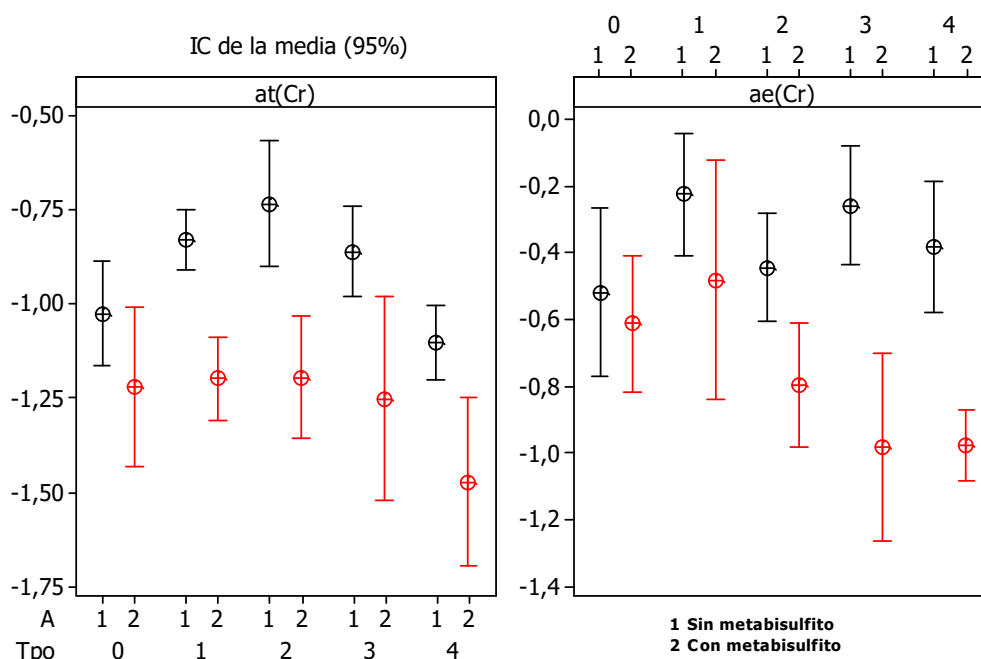


Figura 18. Gráficos de intervalos de confianza de la media para el parámetro del color a^* medido en patata en el exterior de la patata cruda sin cortar ($ae(Cr)$) y en la superficie de patatas crudas cortadas en tiras ($at(Cr)$) frente a los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).

El factor tipo de atmósfera modificada (G) presentó efectos menores sobre el color. Solo fueron significativos en las variables $Li(Cr)$ y $at(Cr)$.

Teniendo en cuenta todo esto, se puede observar que las patatas cortadas en tiras fueron más afectadas por los factores estudiados, especialmente por el tipo de disolución antipardeamiento y por el tiempo de almacenamiento.

- En crudo el efecto más importante del factor disolución antipardeamiento fue sobre L^* y a^* . En cuanto al tiempo de almacenamiento tuvo efectos significativos para todos los componentes del color. Hubo un efecto significativo de la interacción de estos dos factores para la variable L^* .
- En las patatas fritas el efecto de la disolución antipardeamiento se notó sobre todo en b^* . El tiempo como en el caso anterior se notó en todas las variables.

En la parte izquierda de la figura 19 se observa que las patatas cortadas en tiras tenían una tendencia a aumentar a^* cuando disminuía la luminosidad (L^*) de la patata, tanto en patata cruda como en patata frita. También se observó que la patata frita presentó unos valores de a^* mayores y una luminosidad L^* menor, que la cruda.

En la parte derecha de esta figura se puede apreciar que, en el producto crudo, los valores de L^* son mayores para la patata tratada con la solución antipardeamiento con metabisulfito sobre todo a tiempos de almacenamiento largos. No se observan tendencias con respecto al valor de b^* para el caso de patata cruda. En el caso de los productos fritos, se puede ver una tendencia para el factor tiempo de almacenamiento. A medida que pasaba el tiempo se veían valores de b^* más altos, es decir, la patata era más amarilla, y de luminosidad (L^*) más bajos. También se puede apreciar que la disolución antipardeamiento afectaba a estas variables, sobre todo en los tiempos de almacenamiento largos. La disolución que llevaba metabisulfito se asoció a valores más altos de b^* y de L^* . Es decir que estas patatas tendían a presentar un aspecto más amarillo y luminoso.

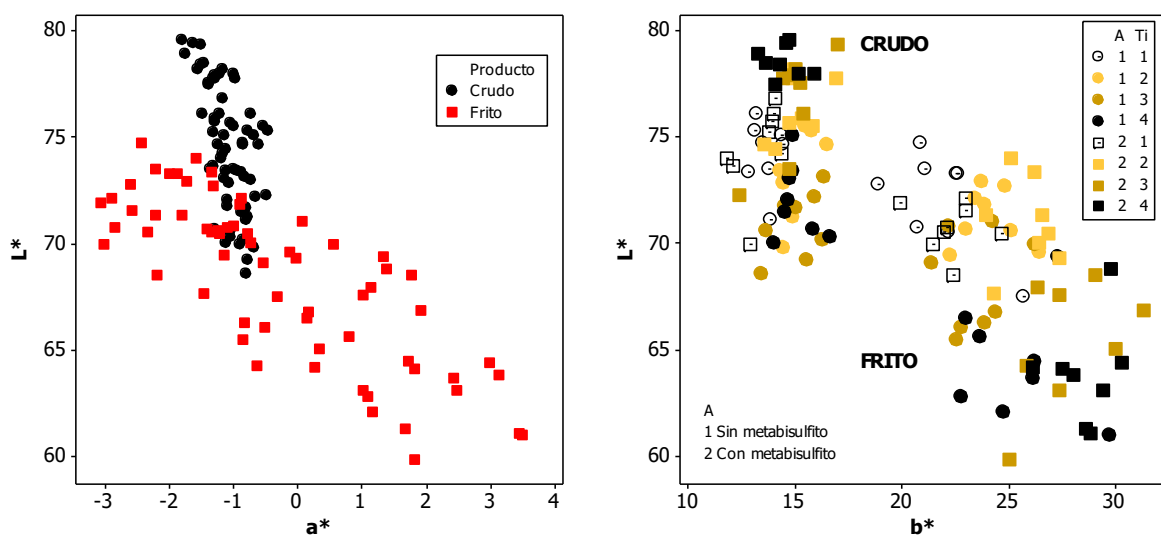


Figura 19. Gráfico de dispersión para las variables L^* y a^* (izquierda) y para las variables L^* y b^* (derecha), agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti) y por tipo de disolución antipardeante (A).

En la figura 20 y figura 21 se muestran los gráficos de dispersión para las variables L^* y a^* en patata cruda y frita, respectivamente. Para el producto crudo, se aprecia que el producto tratado con metabisulfito tuvo valores más altos de luminosidad y más bajos de a^* . En el producto frito no está tan claro el efecto del factor disolución antipardeamiento para la combinación de estas dos variables, pero sí que se observa una tendencia clara del tiempo de almacenamiento. A medida que pasaba el tiempo bajaba L^* y subía a^* .

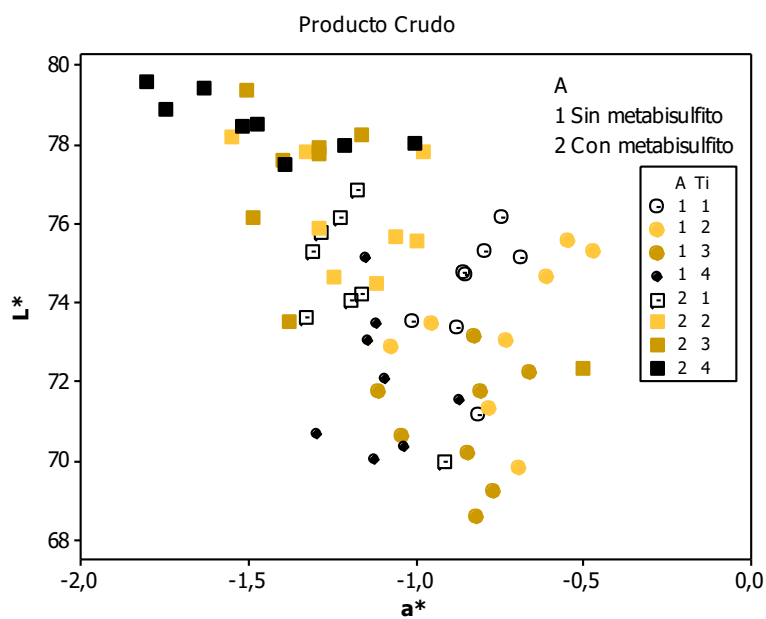


Figura 20. Gráfico de dispersión para las variables L* y a*, para producto crudo, agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti) y por tipo de disolución antipardeante (A).

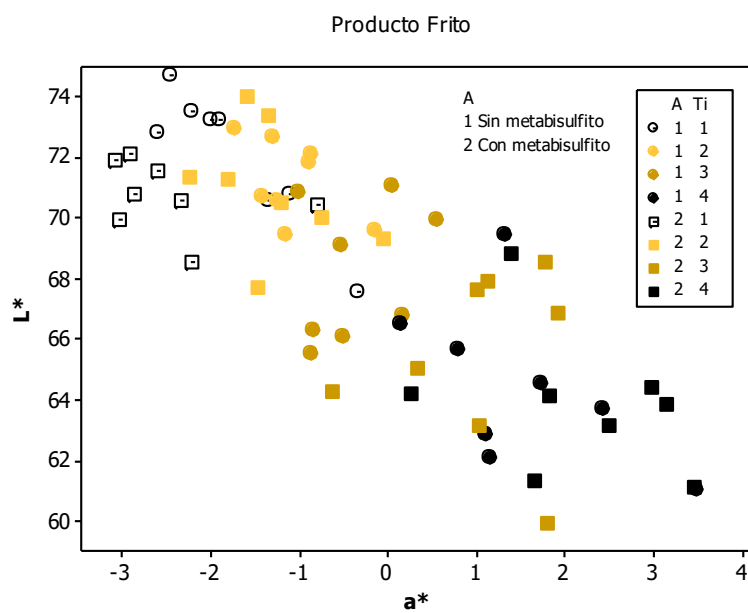


Figura 21. Gráfico de dispersión para las variables L* y a*, para producto frito, agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti) y por tipo de disolución antipardeante (A).



Dado que en la patata en crudo se puede ver que la variable más influenciada fue L^* , en el gráfico de efectos principales para esta variable, que se muestra en la figura 22, se puede apreciar que el factor tipo de atmósfera modificada tuvo poco efecto y que el factor tipo de disolución antipardeamiento tuvo un efecto en el que se observa que el tipo de disolución que incluye metabisulfito (nivel 2) aumentaba la luminosidad de la patata. Aunque el tiempo de almacenamiento presentó efectos en el análisis de varianza, en este diagrama no se muestran claramente.

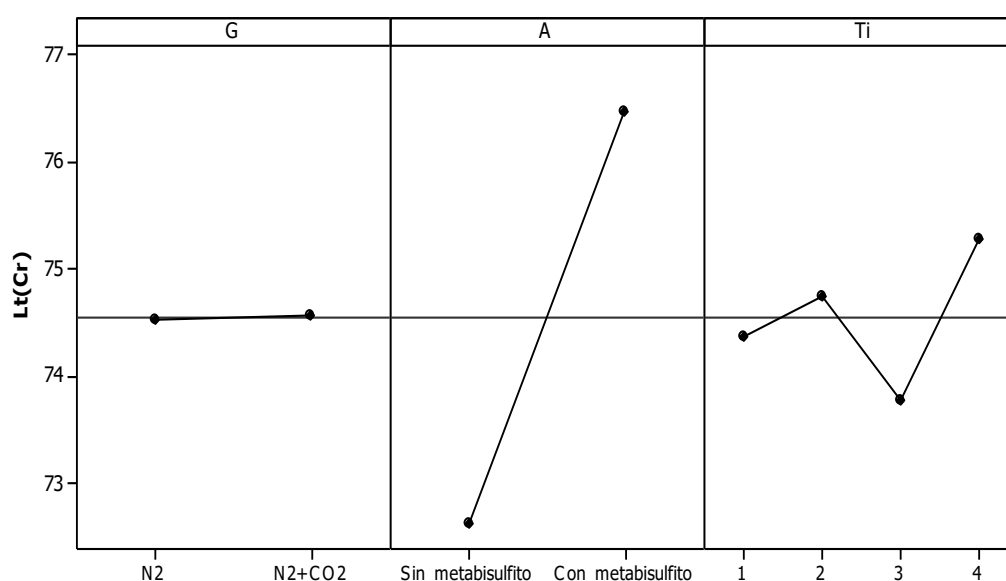


Figura 22. Gráfico de efectos principales para los factores tipo de atmósfera modificada (G), tipo de disolución antipardeamiento(A) y tiempo de almacenamiento (Ti) sobre la componente L^* del color, para patatas crudas (Cr) y cortadas en tiras (t).

También se pueden estudiar los posibles efectos sobre estas patatas crudas en tiras con los gráficos de interacción para esta variable. En la gráfica de la figura 23 se puede ver que para la variable L^* a medida que pasaba el tiempo los valores de L^* aumentaban en el caso de las patatas tratadas con la disolución con metabisulfito, y la evolución era contraria en el caso de las patatas que no habían sido tratadas con este aditivo. Por otro lado, en la gráfica de la figura 24 se ve que para el valor a^* la evolución era similar en el tiempo, pero los valores de a^* fueron menores en las patatas tratadas con metabisulfito.

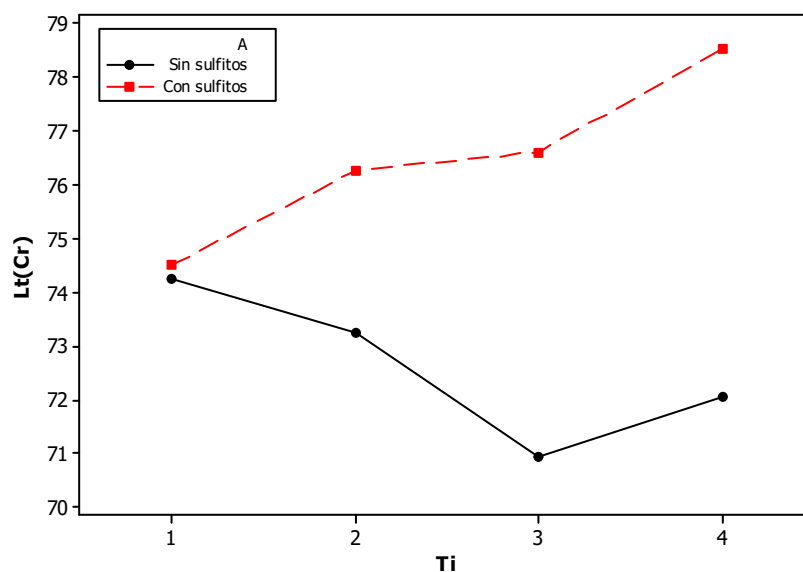


Figura 23. Gráfico de interacciones de los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A), para la variable L^* , medidos en patatas crudas (Cr) y cortadas en tiras (t).

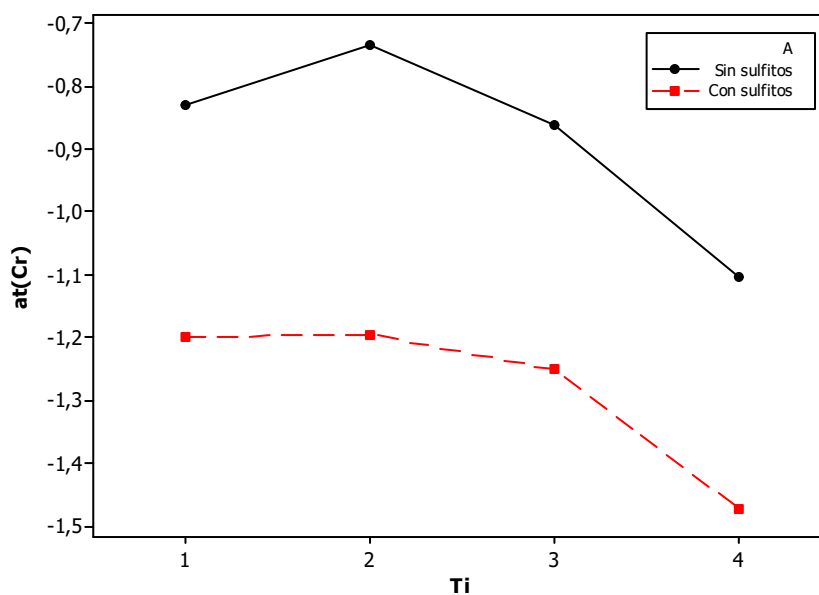


Figura 24. Gráfico de interacciones de los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A), para la variable a^* , medidos en patatas crudas (Cr) y cortadas en tiras (t).



En cuanto a las tiras de patata fritas, la variable que más se vio afectada por los factores de proceso fue la componente b^* del color. En la figura 25 se observa que, para esta variable ($bt(f)$), el factor tipo de gas tuvo poca influencia. El factor tipo de disolución

antipardeamiento sí que afectó a esta variable de modo que las muestras que tenían metabisulfito aumentaron el valor de b^* . Finalmente, se observó que a medida que fue pasando el tiempo de almacenamiento también aumentó b^* y por tanto el color de la patata presentó un color más amarillo.

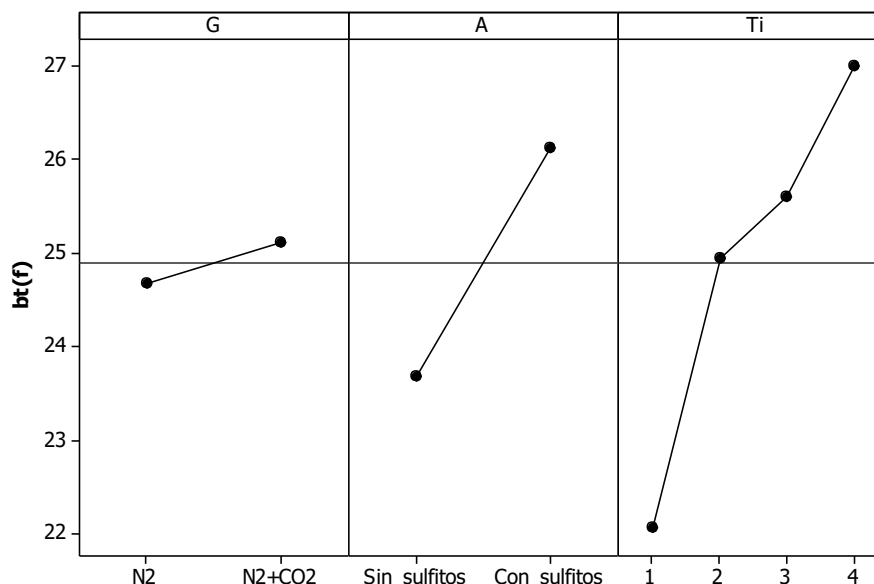


Figura 25. Gráfico de efectos principales para los factores tipo de atmosfera modificada, tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A) sobre la componente b^* para patatas fritas (f) y cortadas en tiras (t).

Este análisis realizado para las patatas cortadas en tiras nos sugiere que:

- Para la presentación en tiras crudas la disolución que contiene metabisulfito aumentaba la luminosidad de las patatas, sobre todo a tiempos de almacenamiento largos, y bajaba los valores de a^* , lo que indica que la patata tenía menos tendencia a presentar colores parduzcos.
- Para la presentación en tiras fritas la variable más afectada fue b^* , y aumentaba cuando las patatas eran tratadas con la disolución antipardeante con metabisulfito, que también hace que L^* aumente. Por otra parte, a medida que pasaba el tiempo bajaba la luminosidad de la patata, aumentaba b^* y aumentaba a^* . Es decir, que las patatas al freírlas tomaban colores más parduzcos y con menos luminosidad.

En resumen, la solución con metabisulfito conservaba mejor el color de las patatas durante el tiempo de almacenamiento, aunque estos efectos se notaban a tiempos de

almacenamiento altos. Cuando se freían las patatas, la disolución con metabisulfito y el tiempo de almacenamiento provocaban que la patata tuviera un color que tendía más al amarillo y que presentara menos luminosidad. En cuanto al tipo gases, no había diferencias significativas importantes entre estos dos tipos de atmósferas protectoras.

5.1.3 Variables de textura

En la tabla 23 se muestran los valores de los estadísticos descriptivos para las variables estudiadas: fuerza máxima de ruptura (F), longitud hasta la ruptura (L), relación entre los valores de F y L en el momento de la ruptura (F/L) y el trabajo hasta la ruptura (W). para estas variables. Se observa que los datos obtenidos presentan una dispersión importante, lo que nos indica que es posible que se presentaran efectos importantes de los factores estudiados.

Tabla 23. Estadísticos descriptivos para las variables de textura del ensayo 1: fuerza máxima (F), longitud de rotura (L), F/L y W.

Variable	Media	DT	CV	Mínimo	Máximo
F (N)	4,815	1,370	28,45	3,056	8,750
L (mm)	1,6836	0,9374	55,67	0,7452	4,3501
F/L (N/mm)	3,2574	0,8848	27,16	1,1501	5,4047
W (mJ)	4,057	2,842	70,06	1,365	14,116

Esto se confirma con los resultados del análisis de varianza que se ha realizado para estas variables, que se resumen en la tabla 24.

Tabla 24. Cuadro resumen del análisis de varianza para las variables de textura del ensayo 1: fuerza máxima (F), longitud de rotura (L), F/L y W, frente a los factores tipo de atmósfera modificada (G), tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti).

	G	A	Ti	GxA	GxTi	AxTi	GxAxTi
F	ns	***	***	ns	ns	***	ns
L	ns	***	***	ns	ns	***	ns
F/L	ns	**	**	ns	ns	**	ns
W	ns	***	***	ns	ns	***	ns
USC UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA G: Tipo de atmósfera modificada A: Tipo de disolución antipardeamiento Ti: Tiempo de almacenamiento						* p≤0,05 ** p≤ 0,01 *** p≤ 0,001 ns: No significativo	

En ella se puede ver que se obtuvieron efectos significativos de los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tiempo de almacenamiento (Ti), así como de su interacción (AxTi) para todas las variables estudiadas.

Los efectos y la interacción pueden verse gráficamente en la figura 26 para el caso de la variable fuerza máxima de ruptura (F). Se observa que en las muestras que están tratadas con metabisulfito aumentan los valores de la fuerza a medida que pasa el tiempo, mientras que las que están tratadas con la disolución que no contiene metabisulfito mantienen los valores de la fuerza durante el tiempo de almacenamiento. A partir del tiempo 1 (1 semana después del procesado) las diferencias entre muestras tratadas con distintas disoluciones antipardeamiento son significativas.

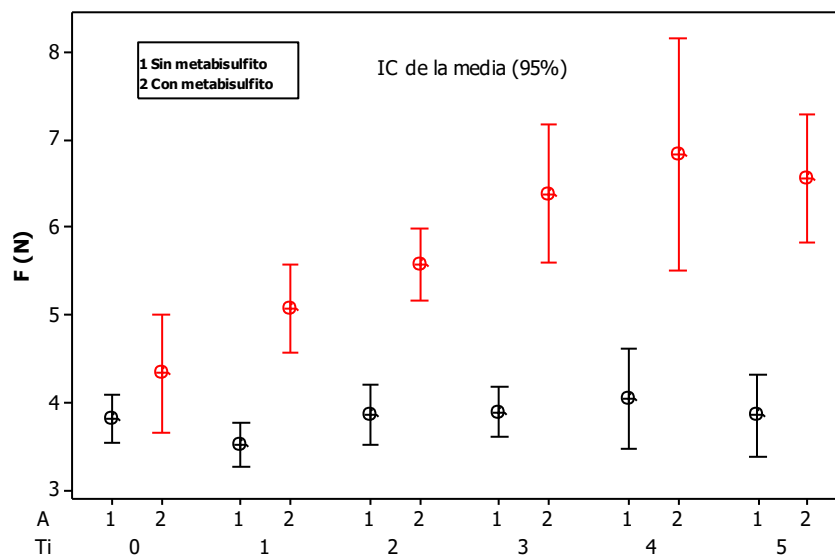


Figura 26. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable fuerza máxima (F), frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A).

También se puede ver en la figura 27 los efectos que estos factores mostraron sobre la variable deformación máxima antes de la ruptura (L). El comportamiento es similar al caso anterior, se observa que a partir del tiempo 1 de almacenamiento se presentó un efecto significativo del factor tipo de disolución antipardeamiento. Las longitudes de rotura L de las muestras que tratadas con metabisulfito aumentaron con el tiempo de almacenamiento mientras que las no tratadas con metabisulfito presentaron valores constantes.

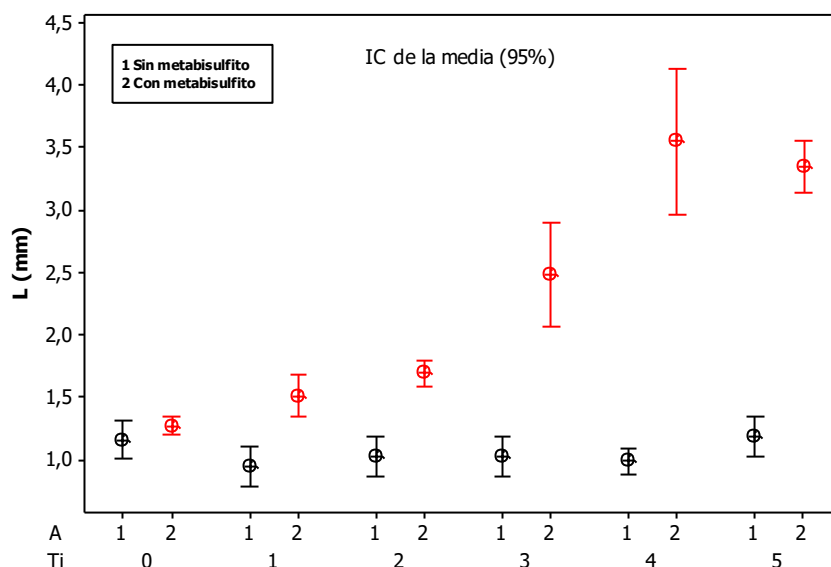


Figura 27. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable longitud hasta la rotura (L), frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A).

En el gráfico de intervalos de confianza para las medias de la figura 28 se presentan los resultados obtenidos para la variable W. En ella se observa el mismo comportamiento que en los casos anteriores. A partir del tiempo 1 (1 semana después del procesado) se observan diferencias significativas entre los niveles del factor tipo de disolución antipardeamiento.

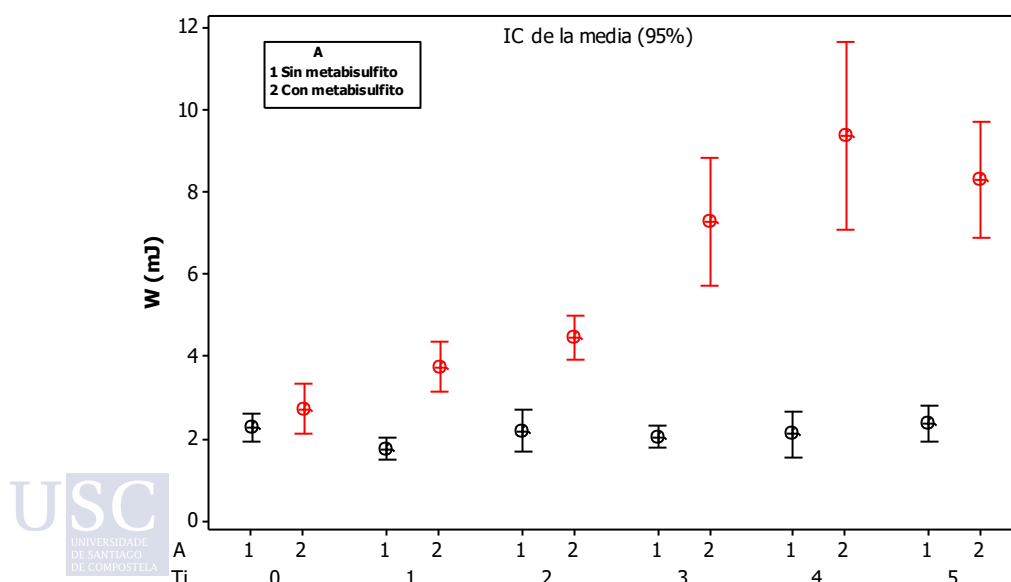


Figura 28. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable de textura trabajo bajo la curva hasta la rotura (W) frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A)

La figura 29 presenta el comportamiento observado para la variable F/L. Se observa que a partir del tiempo 3 (3 semanas después del procesado) las medias para los dos tipos de disolución antipardeamiento utilizada difieren significativamente. También se ve que, como en los casos anteriores, las muestras que no llevan metabisulfito no presentaron variaciones importantes de esta variable con el tiempo, mientras que las que tienen metabisulfito sí que evolucionan en el tiempo, produciéndose una bajada en los valores de esta variable.

Por lo tanto, estos resultados nos proporcionan evidencia de que el metabisulfito potásico provoca una evolución en la textura de la patata, durante el almacenamiento, ya que las muestras que no tienen este aditivo no sufren esta evolución.

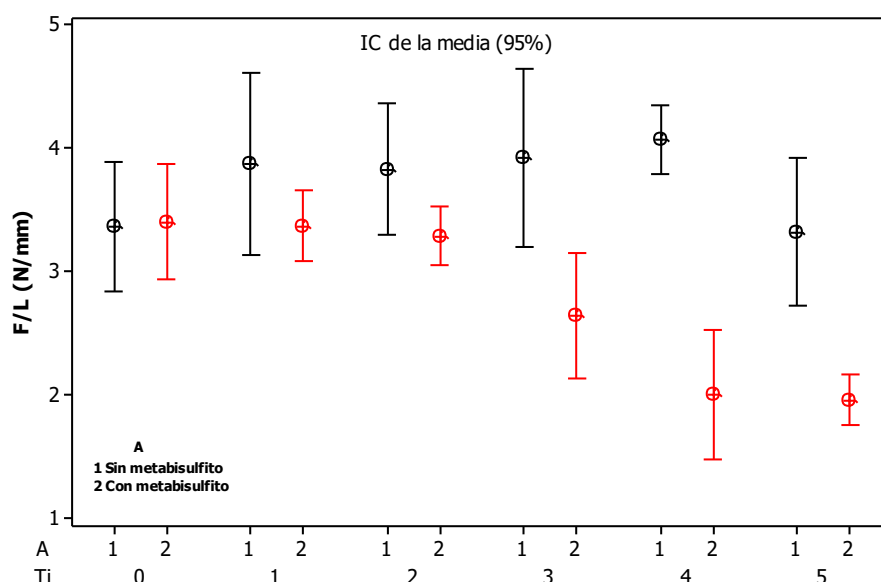


Figura 29. Gráfico de intervalos de confianza de la media para la variable F/L frente a los factores tiempo de almacenamiento (Ti) y tipo de disolución antipardeamiento (A)

5.1.4 Variables microbiológicas

De todas las variables microbiológicas estudiadas durante este ensayo, las únicas que presentaron valores distintos de cero son los microorganismos aerobios mesófilos y aerobios psicrotrofos. En la figura 30 se muestran las diferencias en cuanto a crecimiento de estos microorganismos para estas dos variables.

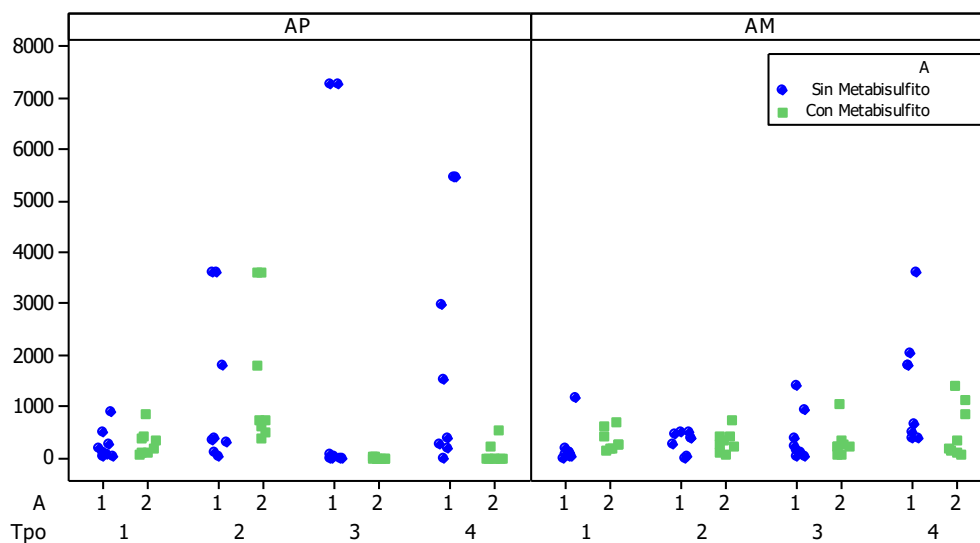


Figura 30. Gráficos de valores individuales para los recuentos de microorganismos aerobios mesófilos (AM) y aerobios psicótrofos (AP), durante todo el periodo de almacenamiento.

No se observa una tendencia demasiado clara en los tratamientos. Sólo cierta tendencia a aumentar con el tiempo, sobre todo en el caso de las muestras tratadas con la disolución antipardeamiento sin sulfitos. En las muestras con sulfitos los crecimientos son menores y se mantienen más estables en el tiempo. Los aumentos de psicrotrofos tienden a ser mayores que en el caso de los mesófilos, sobre todo también en estas muestras sin sulfitos.

En ningún caso las determinaciones detectaron presencia para el resto de los microorganismos estudiados: *Salmonella*, *Listeria*, Enterobacterias, Coliformes, *Clostridium perfringens* y *Staphylococcus aureus* dan como resultado la ausencia de estos microorganismos en todos los análisis realizados en los distintos tiempos de almacenamiento.

Como se ha indicado no fue posible realizar el análisis de varianza para este tipo de variables, ya que no pueden tratarse como continuas y en la mayoría de los casos eran distribuciones degeneradas, con todas las observaciones en el valor 0. Tampoco fue posible hacer una prueba chi-cuadrado, ya que no había categorías suficientes para meterlas en las clases y mantener un número mínimo de observaciones por clase.

5.1.5 Variables sensoriales


En la tabla 25 se pueden ver los resultados de los análisis sensoriales de discriminación realizados mediante pruebas triangulares en patatas fritas y cocidas. El estudio se realizó en tres momentos distintos del periodo de almacenamiento de las patatas mínimamente procesadas. El tiempo 0 corresponde con pruebas realizadas al día siguiente del almacenado, el tiempo 1 con una semana de almacenamiento y el tiempo 2 con dos semanas de almacenamiento.

En el tiempo 0 se comparan patatas procesadas con 1 día de almacenamiento con patatas sin procesado, patatas que acaban de ser peladas y cortadas.

En los tiempos 1 y 2 se comparan patatas procesadas con respectivamente 1 y 2 semanas de almacenamiento, con patatas procesadas el día anterior a la prueba sensorial.

Dado que en el tiempo 0 la comparación era con producto fresco, en frito se observaron diferencias significativas entre la patata procesada y este producto sin procesar. La única que no presentó diferencias significativas y que por tanto se parece más al producto sin procesar fue la envasada con N₂ y tratada con la disolución antipardeante sin metabisulfito potásico.

Tabla 25. Resultados de las pruebas triangulares del ensayo 1. Se evalúan los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y tipo de atmósfera modificada (G).

Tratamiento			Preparación	Tiempo de almacenamiento (Ti)		
Tratamiento	G	A		0	1	2
1	N ₂	Sin metabisulfito	Frita	ns	ns	ns
3	N ₂ + CO ₂	Sin metabisulfito	Frita	*	ns	ns
2	N ₂	Con metabisulfito	Frita	*	ns	***
4	N ₂ + CO ₂	Con metabisulfito	Frita	***	***	*
1	N ₂	Sin metabisulfito	Cocida	ns	ns	ns
3	N ₂ + CO ₂	Sin metabisulfito	Cocida	ns	ns	ns
2	N ₂	Con metabisulfito	Cocida	ns	ns	*
4	N ₂ + CO ₂	Con metabisulfito	Cocida	ns	ns	ns
 G: Tipo de atmósfera modificada A: Tipo de disolución antipardeamiento Ti: Tiempo de almacenamiento			* p ≤ 0,05 ** p ≤ 0,01 *** p ≤ 0,001 ns: No significativo			

Los tratamientos realizados con disolución antipardeamiento sin sulfitos no presentaron diferencias con la patata recién procesada en ninguno de los análisis realizados a lo largo del almacenamiento. Por tanto, las muestras en que se observaron las diferencias significativas más importantes, es decir, que son más diferentes a la patata recién procesada, y que por tanto presentaron mayor evolución de sus características sensoriales en el tiempo, son las envasadas con la disolución con metabisulfito potásico. Presentaron diferencias desde el tiempo 1 (1 semana de almacenamiento), y estas diferencias fueron mayores cuando el envasado se realiza con el gas que lleva CO₂.

En el caso de la patata cocida las diferencias fueron mucho menos importantes, y sólo son significativas en un caso en el que se usó metabisulfito sin CO₂ y después de dos semanas de almacenamiento.

A la vista de estos resultados, desde un punto de vista sensorial, las muestras de patata frita que más se parece a la patata fresca son las tratadas con disolución antipardeante sin metabisulfito potásico y las que más se parece a una patata una recién procesada son las que fueron también las tratadas con una disolución antipardeamiento sin metabisulfito y que además fueron envasadas con el gas que no lleva CO₂. En la patata cocida existen menos diferencias entre los tratamientos aplicados.

5.1.6 Resumen ensayo 1

En este ensayo no se presentaron diferencias importantes entre los dos tipos de atmosferas modificadas empleadas en cuanto a variables químicas, de color, textura y microbiológicas. En el análisis sensorial se observó que cuando se utilizaba como gas en la atmósfera modificada el nitrógeno y las muestras eran tratadas con disolución antipardeante sin sulfitos no se presentaban diferencias entre muestras mínimamente procesadas y muestras de patata recién cortada, mientras que en los otros casos sí (con distinto gas o disolución antipardeante). También se observó que con esta atmósfera no se presentaron diferencias entre muestras mínimamente procesadas con 1 día y con una semana de almacenamiento, cualquiera que fuera la disolución antipardeamiento.

Las muestras con sulfitos para muestras crudas presentaron mayor protección frente al pardeamiento. En cambio, en las patatas fritas las muestras con este aditivo tuvieron mayores

valores de b^* y que además fueron aumentando en el tiempo de almacenamiento, lo que significa que estas muestras presentaban más tendencia al color amarillo.

Las muestras tratadas con metabisulfito presentaron una evolución significativa de la textura y de la materia seca durante el tiempo de almacenamiento de 4 semanas. Además, presentaron diferencias significativas en el análisis sensorial con las muestras frescas y las muestras recién procesadas. Por el contrario, las no tratadas con este aditivo se mantuvieron mucho más estables con respecto a la textura y materia seca y no se detectaron diferencias sensoriales con respecto a las muestras frescas, ni con respecto a las recién procesadas durante el almacenamiento de 2 semanas.

Algunas de las variables sufrieron evoluciones significativas en la semana 4 de tratamiento tanto para las tratadas con sulfitos, como para las que no. En este caso estaban la actividad de agua y los azúcares reductores. Además, también se observaron tendencias a que algunos de los microorganismos alcanzaran crecimientos mayores en la 4 semana de almacenamiento, sobre todo para las muestras no tratadas con metabisulfito potásico.

5.2 ENSAYO 2. TEMPERATURA Y CADENA DE FRÍO.

Para optimizar almacenamiento del producto utilizando como agente antipardecimiento la disolución que no tiene sulfitos y como gas de la atmósfera modificada el N₂, se realizó un segundo ensayo en el que se experimentó con un almacenamiento de tres semanas, dado que parecía el más adecuado para este tipo de tratamiento.

Además, visto que en el primer experimento el tiempo de almacenamiento fue un factor importante, se consideró que podría ser interesante estudiar el efecto de la temperatura a la que se produce el almacenamiento, y ver la influencia de la posible pérdida de la cadena de frío sobre el producto. Este ensayo se diseñó con un solo factor a tres niveles, determinando las variables químicas, de textura, de color y microbiológicas (microorganismos alterantes) a distintos tiempos almacenamiento. No se incluyó el tiempo de almacenamiento como factor del proceso por el coste y la complicación que supondría, aun empleando diseños en parcela dividida.

El tratamiento de los datos obtenidos en este ensayo se realizó según se indica en la sección 4.5.3. Para todas las variables químicas, de color, textura y microbiológicas se calcularon valores de estadísticos descriptivos, se realizaron análisis de correlación lineal simple y de la varianza (empleando el procedimiento ANOVA), y los resultados se ilustraron empleando gráficos de diferentes tipos.

5.2.1 Análisis de la distribución de las variables

En la tabla 26 se muestran los valores de los estadísticos descriptivos de las variables estudiadas en este ensayo. Dentro de las variables químicas el %CO₂ presentó coeficientes de variación altos a partir de la segunda tanda de análisis (1 semana de almacenamiento), incrementándose a medida que pasaba el tiempo. La componente a* del color presentó valores muy altos del CV en los dos tiempos de análisis, pero distintos en magnitud, por lo que no parece indicar ninguna tendencia, sino una dispersión muy alta de los datos. En cuanto a las variables de textura, W mostró dispersiones grandes en el tiempo 0 (misma semana del procesado), manteniéndose altos pero menores en el tiempo 1. Finalmente se ve que había valores muy altos del CV para *Bacillus cereus* (Bc) y Mohos y levaduras, que además fueron disminuyendo a medida que pasaba el tiempo de almacenamiento.

Tabla 26. Estadísticos descriptivos de las variables del ensayo 2: %CO₂, pH, materia seca (MS), las componentes del color (L*, a*, b*, C*, H*), Fuerza máxima de rotura (F), Longitud de rotura (L), F/L, W, *Bacillus cereus* (Bc) y mohos y levaduras (ML).


Variable	N	Media	DT	CV	Mínimo	Máximo
%CO ₂ 0	9	5,06	0,46	9,09	4,55	5,70
%CO ₂ 1	9	8,12	2,00	24,69	6,30	10,75
%CO ₂ 2	9	13,35	5,46	40,91	7,05	20,95
%CO ₂ 3	9	22,17	11,22	50,60	5,65	37,40
pH0	9	5,94	0,06	0,93	5,85	6,01
pH1	9	5,62	0,05	0,95	5,52	5,68
%MS0	9	21,18	1,38	6,53	19,80	23,48
%MS1	9	21,89	0,39	1,77	21,29	22,38
L*0	9	72,34	1,87	2,58	69,59	75,90
L*1	9	76,51	2,95	3,86	71,14	79,53
a*0	9	-0,63	0,65	-103,48	-1,06	1,03
a*1	9	0,29	0,79	272,59	-0,39	1,94
b*0	9	14,16	1,68	11,87	11,47	16,94
b*1	9	15,03	1,03	6,84	13,08	16,22
H*0	9	92,78	2,59	2,79	86,53	95,13
H*1	9	88,89	2,99	3,36	82,82	91,51
C*0	9	14,19	1,67	11,78	11,51	16,97
C*1	9	15,05	1,03	6,84	13,11	16,22
F0	9	3,60	0,33	9,15	2,92	3,89
F1	9	3,66	0,21	5,70	3,33	3,89
L0	9	1,03	0,18	17,32	0,87	1,46
L1	9	0,90	0,12	13,69	0,71	1,14
F/L0	9	3,58	0,62	17,26	2,29	4,49
F/L1	9	4,14	0,46	11,11	3,40	4,69
W0	9	3,45	3,18	92,10	1,40	11,12
W1	9	1,79	0,37	20,82	1,39	2,65
Bc0	9	0,00	0,00	--	0,00	0,00
Bc1	9	13,11	26,50	202,13	0,00	74,00
Bc2	9	45,20	59,50	131,52	0,00	141,00
Bc3	9	67,90	65,60	96,58	0,00	140,00
ML0	9	2,89	3,44	119,22	0,00	8,00
ML1	9	108,40	144,40	133,16	3,00	300,00
ML2	9	169,40	118,60	69,99	16,00	300,00
ML3	9	253,60	111,60	44,01	62,00	350,00

5.2.2 Análisis de varianza

En la tabla 27 se muestra la significación obtenida en el análisis de varianza realizado para el factor temperatura de almacenamiento (T), en las variables estudiadas en este ensayo factorial.

Tabla 27. Resultados del análisis de la varianza para las variables del ensayo 2: %CO₂, pH, materia seca (MS), las componentes del color (L*, a*, b*, C*, H*), fuerza máxima de rotura (F), longitud a la rotura (L), F/L, W, *Bacillus cereus* (Bc) y mohos y levaduras (ML).

Variable	T	Variable	T
%CO ₂ 0	**	F0	ns
%CO ₂ 1	***	F1	ns
%CO ₂ 2	***	D0	ns
%CO ₂ 3	***	D1	ns
pH0	ns	F/L0	ns
pH1	*	F/L1	ns
%MS0	ns	W0	ns
%MS1	ns	W1	ns
L*0	ns	Bc0	--
L*1	ns	Bc1	ns
a*0	ns	Bc2	***
a*1	ns	Bc3	*
b*0	ns	ML0	***
b*1	ns	ML1	***
H*0	ns	ML2	***
H*1	ns	ML3	***
C*0	ns		
C*1	ns		



T: Temperatura de almacenamiento

* p≤0,05
** p≤ 0,01
*** p≤ 0,001
ns: No significativo

A la vista de los resultados de este análisis, no se observan efectos del factor temperatura de almacenamiento (T) sobre las variables físicas color y textura.

Con respecto al %CO₂ se observan efectos altamente significativos de la temperatura de almacenamiento, aumentando la significación con el tiempo de almacenamiento. El pH presenta un efecto ligeramente significativo después de 1 semana de almacenamiento.

Al contrario que en el experimento 1, el factor tiempo no fue un factor en el diseño experimental de los experimentos 2 y 3. Por ello se hizo una aproximación al efecto que pueden tener sobre las variables estudiadas observando las tendencias que se detectaron en los estadísticos descriptivos y el análisis de varianza, y visualmente con la ayuda de los diferentes gráficos elaborados.

En la figura 31 se observa que la cantidad de CO₂, y por tanto la tasa respiratoria de la patata, aumentó con el tiempo para todas las temperaturas de almacenamiento, pero a medida que aumentaba la temperatura también se incrementaba la subida de este valor a lo largo del tiempo. Se ve que, a partir de la semana 1 los almacenados a 8 °C ya presentaban diferencias altamente significativas con respecto a los otros dos. En la semana 3 había diferencias entre los valores observados a todas las temperaturas. Esto indica que la evolución era diferente dependiendo de la temperatura, y mientras que a temperatura de 2 °C el incremento en el tiempo era pequeño, en los otros dos sí que había una mayor subida de estos valores, especialmente en el caso del almacenamiento a 8 °C.

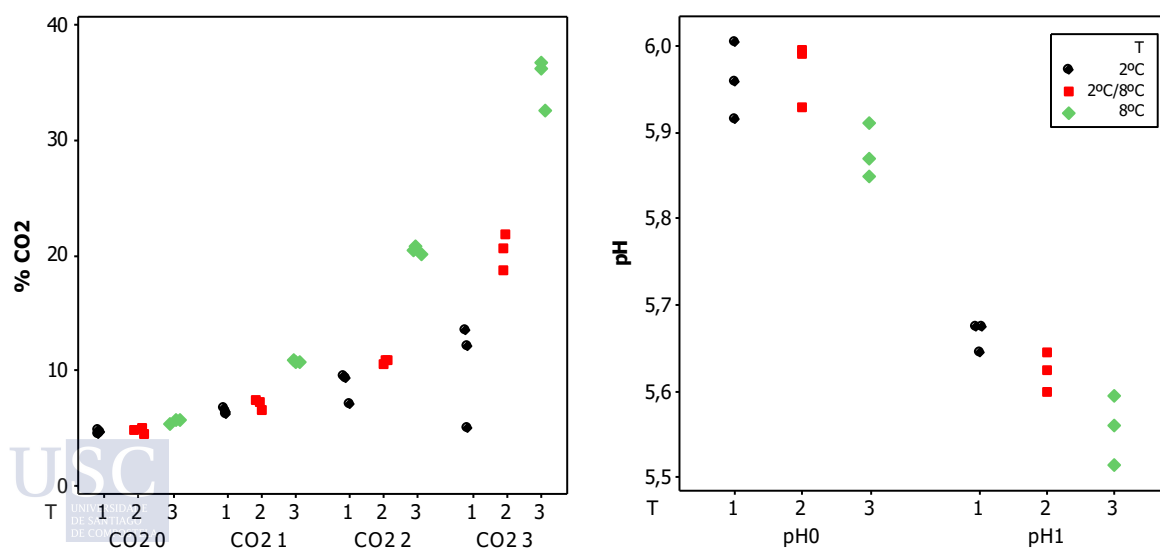


Figura 31. Gráficos de datos individuales para%CO₂ y pH, para los distintos tiempos de almacenamiento. Los datos están agrupados por el factor temperatura de almacenamiento (T).

En cuanto al pH tiene tendencia parecida, pero en sentido contrario, es decir, que a medida que pasaba el tiempo, los valores de pH bajaban, y a medida que iba subiendo la temperatura de almacenamiento, los valores de pH fueron más bajos. Esta última tendencia se observó en el tiempo 0 donde se ve que la temperatura de 8 °C presenta diferencias altamente significativas con las otras dos, y en el tiempo 1 en la que se ve una tendencia clara a bajar a medida que aumenta la temperatura de almacenamiento (T).

En cuanto a los recuentos microbianos, los resultados del análisis de varianza indicaron que había efectos importantes del factor estudiado (temperatura de almacenamiento(T)) sobre el número de *Bacillus cereus* (Bc) y, sobre todo, sobre la carga de hongos y levaduras (ML). Esto da idea de que el tiempo puede tener un efecto importante, pero como en el caso anterior, esto no fue evaluado a través del análisis de varianza.

Para el *Bacillus cereus*, en la figura 32 se observó que fue aumentando la cantidad de microorganismos a medida que pasa el tiempo, para las temperaturas de almacenamiento más altas. En cambio, para la temperatura más baja (2 °C) el aumento con el tiempo no fue apreciable.

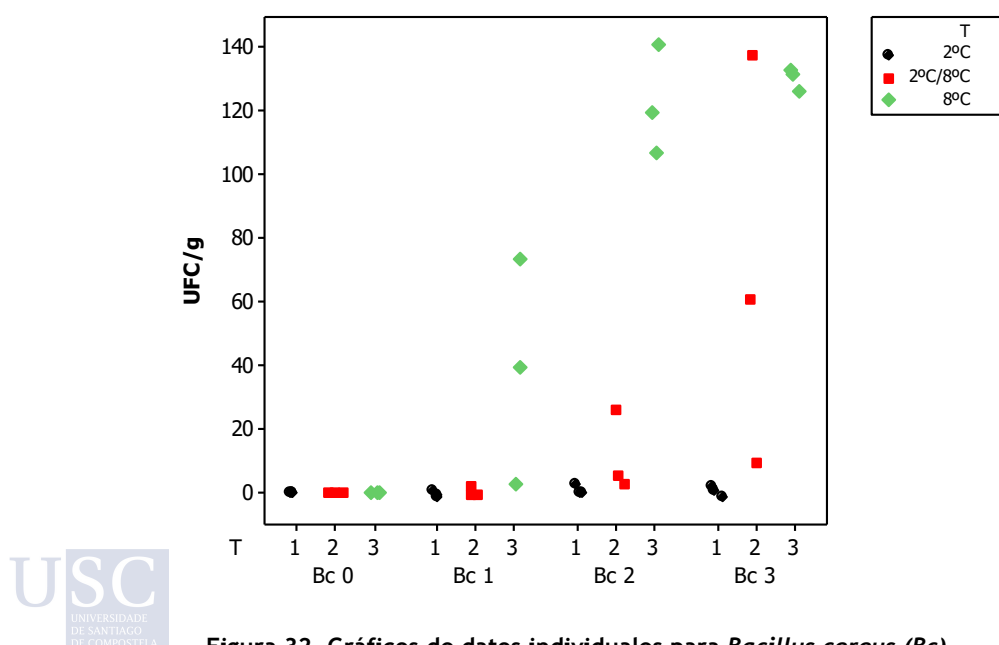


Figura 32. Gráficos de datos individuales para *Bacillus cereus* (Bc).

La figura 33 indica que, en el caso de mohos y levaduras, a medida que fue pasando el tiempo aumentaron los recuentos de este microorganismo para todos los tratamientos. Pero en el caso de los tratamientos a temperaturas más altas los aumentos fueron mucho mayores.

Estas representaciones gráficas muestran estas tendencias observadas en los recuentos microbianos. Se ve que los crecimientos aumentaron mucho con la temperatura y a medida que pasaba el tiempo, manteniéndose en valores bajos para el valor 1 del factor temperatura de almacenamiento (2 °C) hasta el tiempo 2 (dos semanas) y aumentando en el tiempo 3 (3 semanas).

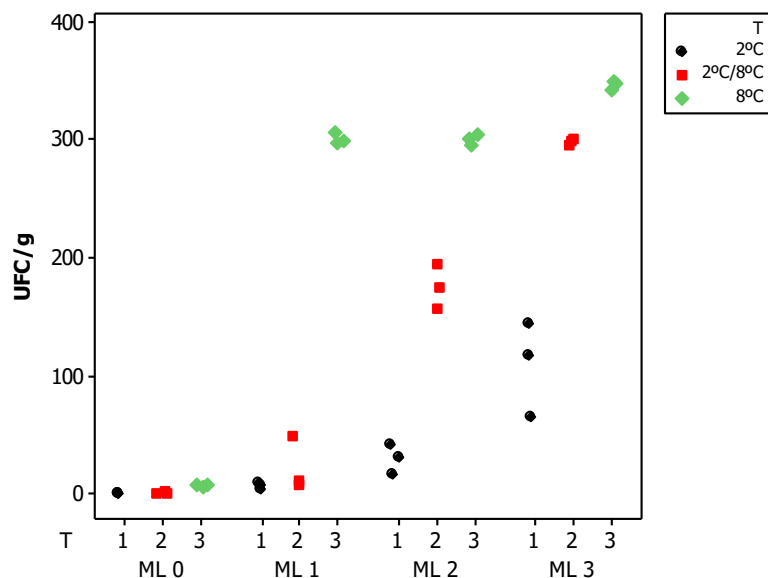


Figura 33. Gráficos de datos individuales para mohos y levaduras (ML).

5.2.3 Análisis de correlación lineal

La tabla 28 muestra los resultados del análisis de correlación lineal entre las variables que presentaron efectos significativos en el ensayo 2.

Se observan correlaciones altas en prácticamente todos los casos. Son siempre muy altas entre variables del mismo tipo tomadas en tiempos distintos.

Se ven correlaciones positivas entre el contenido de CO₂ y las variables microbiológicas *Bacillus cereus*, y mohos y levaduras, y negativas con el pH que mostró distintos efectos del

tratamiento o evolución en el tiempo. Siempre son altas entre variables estudiadas en el mismo tiempo de almacenamiento. Entre las variables microbiológicas también se muestran correlaciones positivas altas entre *Bacillus cereus* y mohos y levaduras

Tabla 28. Coeficientes de correlación lineal entre las variables del ensayo 2: %CO₂, pH, *Bacillus cereus* (Bc), mohos y levaduras (ML) en los tiempos de almacenamiento que mostraron efectos significativos de la temperatura de almacenamiento, y la significación de su diferencia a cero.

	%CO ₂ 0	%CO ₂ 1	%CO ₂ 2	%CO ₂ 3	pH1	Bc2	Bc3	ML0	ML1	ML2	ML3
%CO ₂ 1	0,94										

%CO ₂ 2	0,93	0,98									
	***	***									
%CO ₂ 3	0,89	0,95	0,96								
	**	***	***								
pH1	-0,93	-0,87	-0,85	-0,88							
	***	**	**	**							
Bc2	0,93	0,98	0,98	0,92	-0,81						
	***	***	***	***	**						
Bc3	0,85	0,80	0,79	0,83	-0,87	0,81					
	**	*	*	**	**	**					
ML0	0,93	0,98	0,98	0,93	-0,81	0,99	0,82				
	***	***	***	***	**	***	**				
ML1	0,95	0,99	0,98	0,91	-0,85	0,99	0,79	0,98			
	***	***	***	**	**	***	*	***			
ML2	0,84	0,87	0,91	0,95	-0,85	0,86	0,84	0,89	0,85		
	**	**	**	***	**	**	**	**	**		
ML3	0,73	0,74	0,75	0,85	-0,79	0,7	0,82	0,75	0,69	0,94	
	*	*	*	**	*	*	**	*	*	***	

5.2.4 Resumen ensayo 2

En este ensayo, se observaron efectos significativos de la temperatura sobre la concentración de CO₂ y el pH, confirmándose la evolución en el tiempo que se observaba en el ensayo 1 para la variable de %CO₂. Esta subida en los valores de este parámetro era mucho mayor si el almacenamiento era a temperaturas altas.

El resto de las variables de textura y color y la materia seca no presentaron efectos significativos para el factor estudiado, ni se apreció evolución en el tiempo para ellas.

En cuanto a variables microbiológicas, se presentaron más crecimientos de mohos y levaduras para las temperaturas altas, aumentando significativamente en la tercera semana en todas las temperaturas. Para *Bacillus cereus* no hubo crecimientos en las tres semanas para temperatura de 2 °C, lo que confirma lo que sucedía en el ensayo 1. Se detectaron crecimientos a partir de la semana 2 para las otras dos temperaturas.

5.3 ENSAYO 3. ETIQUETA LIMPIA Y TEMPERATURA.

Vista la importancia de la temperatura de almacenamiento, sobre todo en lo referente a crecimientos microbiológicos, se incluyó como factor en el ensayo 3. Además, en este ensayo, con el fin de confirmar los datos obtenidos en los ensayos anteriores y optimizar el proceso de elaboración, se estudió también el efecto de aplicar o no una disolución antipardeante a base de ácido cítrico y ascórbico. Se buscaba estudiar la posibilidad de eliminar el uso de aditivos y poder obtener una etiqueta limpia para el producto, y determinar si existían interacciones con la temperatura de almacenamiento. Para ello, en este ensayo se estudió cual era el efecto de la disolución de ácido cítrico (0,5%) y ácido ascórbico (0,5%), en comparación con los observados en muestras tratadas solo con agua, sin ningún tipo de aditivo antipardeamiento. Se combinó esto con un almacenamiento a dos temperaturas distintas (2 °C y 8 °C). Teniendo en cuenta esto, en uno de los tratamientos las muestras fueron tratadas con disolución antipardeamiento y conservadas a 2 °C, por tanto, tenían el mismo tratamiento que una de las estudiadas en los ensayos 1 y 2. Se evaluaron variables químicas, de textura, de color, microbiológicas y sensoriales.

El tratamiento de los datos en este ensayo se realizó según se muestra en la sección 4.6.3. Para todas las variables químicas, de color, textura y microbiológicas incluidas en este estudio se calcularon los valores de estadística descriptiva, se realizaron un análisis de correlación lineal simple, un análisis de varianza mediante procedimientos ANOVA y gráficos de distintos tipos. Además, se completó el estudio realizando el tratamiento de los datos de las variables sensoriales utilizando las tablas de distribución binomial de la norma UNE-EN ISO 4140 (AENOR, 2008) para las pruebas triangulares y las pruebas de Friedman y Page para las pruebas de clasificación por ordenación, siguiendo lo indicado en la norma UNE-ISO 8587:2010/Amd 1 (AENOR, 2017).

5.3.1 Análisis de la distribución de las variables

5.3.1.1 Variables Químicas

Los estadísticos descriptivos para las variables químicas durante las 3 semanas de almacenamiento se presentan en la tabla 29.

Tabla 29. Estadísticos descriptivos para las variables químicas del ensayo 3: materia seca (MS), %CO₂, pH y actividad de agua (a_w), medidas durante el tiempo de almacenamiento.

Variable	N	Media	DT	CV (%)	Min	Max	Asi	Apu
CO ₂ 0	16	4.684	0.59	12.6	3.75	5.75	0.35	-0.84
CO ₂ 1	16	8.469	2.038	24.06	6.25	12.5	0.56	-1
CO ₂ 2	16	13.37	4.01	29.99	8.45	18.85	0.14	-1.83
CO ₂ 3	16	20.7	8.02	38.75	11.75	33.85	0.34	-1.62
pH0	16	5.84	0.1342	2.3	5.605	6.035	-0.26	-1.29
pH1	16	5.6063	0.0574	1.02	5.515	5.705	0.44	-0.96
pH2	16	5.4828	0.0477	0.87	5.395	5.59	0.18	0.65
pH3	16	5.6047	0.0293	0.52	5.565	5.685	1.05	2.96
aw0	16	0.8925	0.00876	0.98	0.87	0.905	-0.98	1.99
aw1	16	0.86781	0.01224	1.41	0.845	0.895	0.49	0.61
aw2	16	0.87219	0.01048	1.2	0.845	0.89	-0.62	2.56
aw3	16	0.865	0.01017	1.18	0.84	0.875	-1.36	1.2
MS0	16	20.129	1.399	6.95	16.736	22.208	-0.77	0.89
MS1	16	20.77	5.22	25.11	17.06	37.79	2.76	8.06
MS2	16	18.612	0.751	4.04	17.704	20.194	0.94	-0.17
MS3	16	18.892	0.981	5.19	17.385	20.107	-0.26	-1.49

La dispersión fue alta especialmente para las variables %CO₂ durante todo el almacenamiento, lo que es posible que indique que es un valor que esté influenciado por alguno de los factores del proceso.

También se observan tendencias con el tiempo opuestas para el contenido de CO₂ y el pH. En el %CO₂, tiende a aumentar con el tiempo y en el pH disminuye. Esto puede indicar que los factores estudiados afectaron sobre todo al final del período de almacenamiento.

En la figura 34 se observa que el %CO₂ presentó un aumento continuado, especialmente en el producto almacenado a temperatura alta. No hubo grandes diferencias entre el producto con y sin disolución antiparadeante, salvo en el tiempo 3, en que hubo un aumento importante del %CO₂ cuando la temperatura era alta y no se aplicaba antioxidante. En el pH no se ven tendencias claras (figura 35).

Tampoco se ven tendencias claras ni en los estadísticos descriptivos ni en las distintas gráficas para la actividad de agua (a_w) y materia seca (MS).

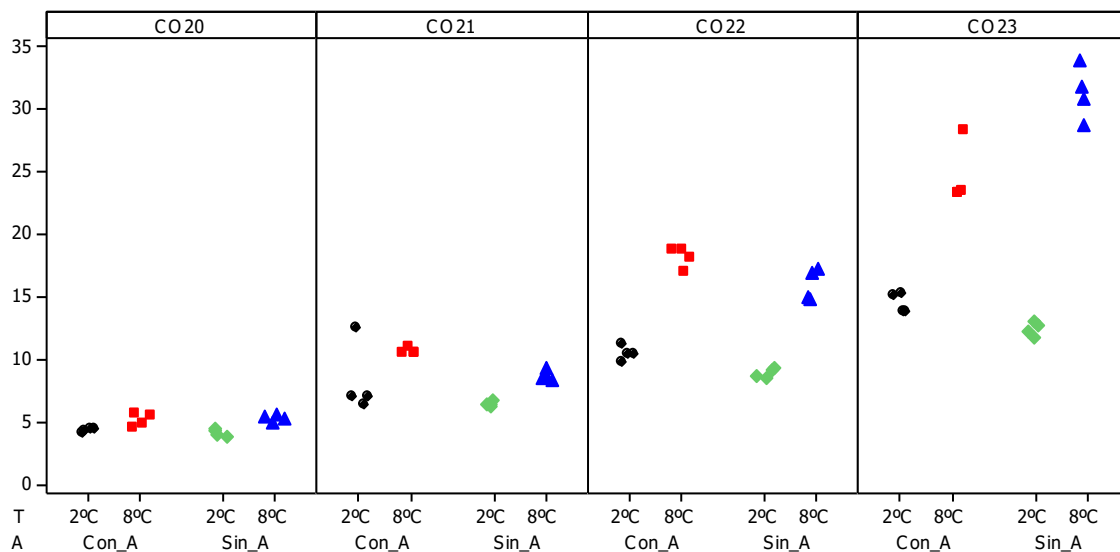


Figura 34. Gráfico de datos individuales de $\%CO_2$ para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

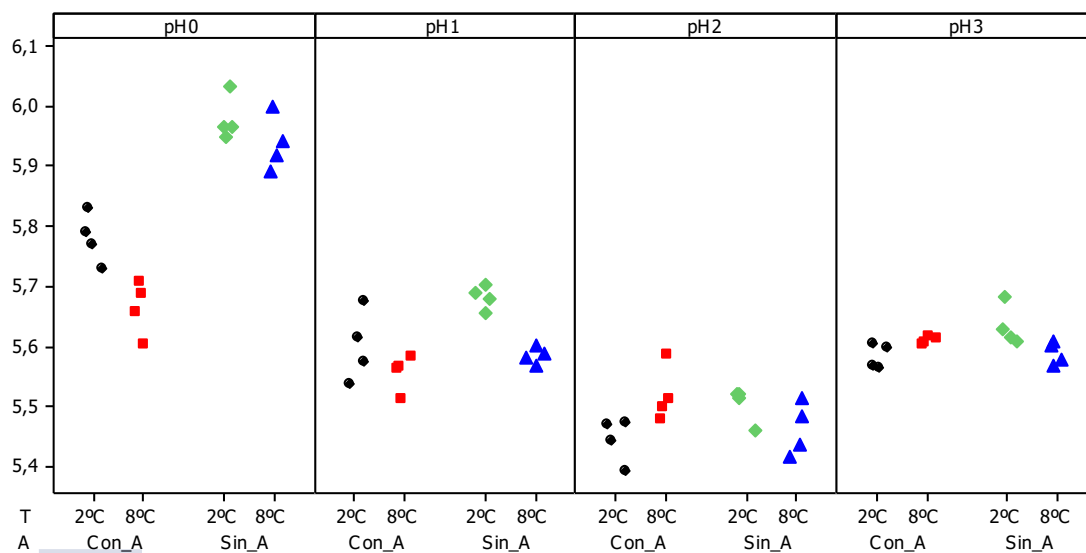


Figura 35. Gráfico de datos individuales pH para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

5.3.1.2 Variables de Color

En la tabla 30 se presentan los estadísticos descriptivos para las variables de color durante las 3 semanas de almacenamiento.

Tabla 30. Estadísticos descriptivos de las variables de color (L^* , a^* y b^*) del ensayo 3, medidas durante el almacenamiento de 3 semanas.

Variable	N	Media	DT	CV (%)	Min	Max	Asi	Apu
L^*0	16	73.285	2.197	3	69.71	77.067	-0.17	-0.73
L^*1	16	71.498	2.41	3.37	65.567	74.527	-0.83	0.85
L^*2	16	68.52	4.02	5.86	61.01	73.32	-0.58	-1.02
L^*3	16	68.37	4.48	6.55	59.93	73.53	-0.55	-1.15
a^*0	16	-0.8962	0.2677	-29.86	-1.2133	-0.3967	0.27	-1.25
a^*1	16	-0.772	0.658	-85.24	-1.393	0.61	0.79	-0.63
a^*2	16	-0.657	0.963	-146.54	-1.613	1.207	0.67	-1.15
a^*3	16	-0.47	1.115	-237.37	-1.773	1.447	0.37	-1.39
b^*0	16	14.41	0.988	6.86	13.187	16.7	0.62	0.22
b^*1	16	15.139	1.349	8.91	13.14	18.24	0.78	0.37
b^*2	16	15.622	1.022	6.55	13.493	16.843	-0.79	0.01
b^*3	16	15.746	1.092	6.93	13.85	17.444	-0.09	-1.06

A la vista de estos datos se advierte que la variabilidad de L^* y a^* aumentó con el tiempo de almacenamiento. También se observó que la distribución de los datos obtenidos para estas dos variables tiene forma aplanada, sobre todo al final del almacenamiento. Es posible que esto se deba a efectos de los factores estudiados. En la figura 37 se aprecia una tendencia a que para tiempos de almacenamiento largos los datos estaban más dispersos, los valores de a^* eran más altos y los de L^* más bajos. También se observa, en la figura 36, que esta tendencia estaba asociada al tipo de disolución antipardeamiento, incrementándose la dispersión en las muestras que no llevaban este tipo de disolución. De hecho, en las muestras que llevaban la disolución antipardeamiento la tendencia en a^* era a disminuir en valor absoluto.

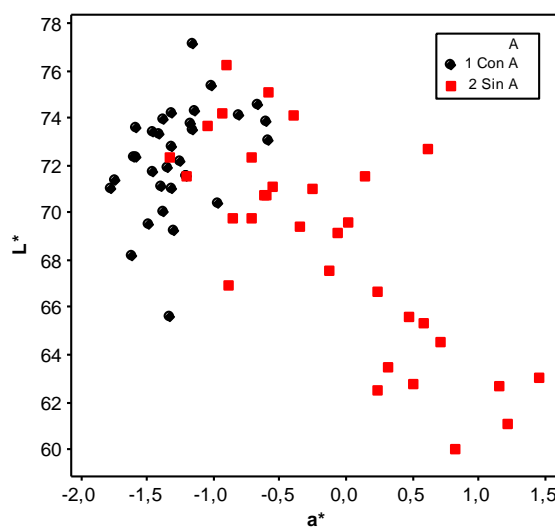


Figura 36. Gráficos de dispersión para las variables L^* y a^* agrupados por tipo de disolución antipardeamiento (A).

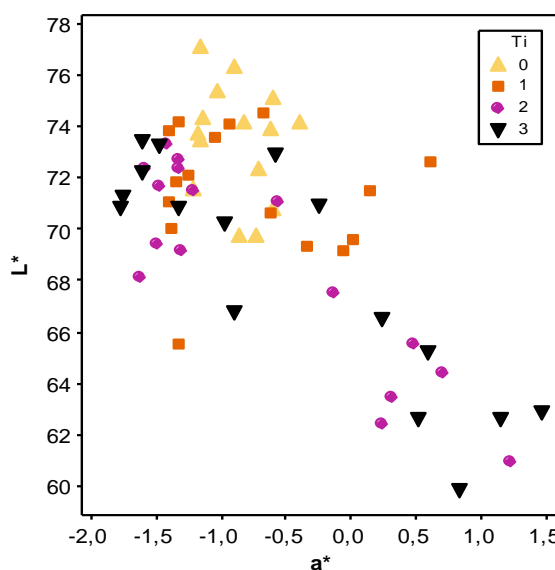


Figura 37. Gráficos de dispersión para las variables L^* y a^* agrupados por tiempo de almacenamiento (Ti).

Por otro lado, también se aprecia en la tabla de datos que a^* fue siempre negativo en media, pero tanto en las gráficas como con los valores máximos y mínimos, se aprecia que inicialmente lo era para todos los tratamientos, pero a partir de la semana 1 de almacenamiento presentaba ya algunos valores positivos. Esto indica, teniendo en cuenta también que b^* fue siempre positivo, que existió una tendencia a evolucionar desde colores amarillo-verdosos hacia colores amarillo-rojizos, a medida que iba pasando el tiempo de almacenamiento.

En la figura 39 se presenta el gráfico de dispersión para las variables L^* y b^* con el tiempo, en el que se ve que a medida que fue pasando el tiempo los valores de L^* fueron más bajos y los de b^* más altos, es decir, que hubo una tendencia a tener muestras menos luminosas y más amarillentas. En la figura 38 se ve que esta tendencia se dio sobre todo en las muestras que no tenían solución antipardeamiento.

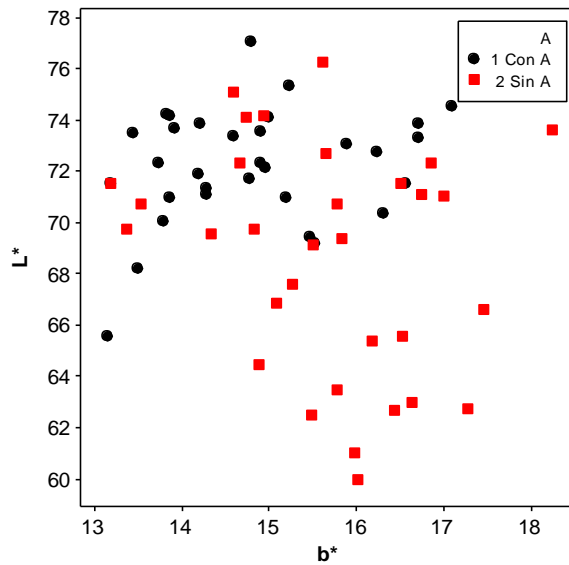


Figura 38. Gráficos de dispersión para las variables L^* y b con respecto al tipo de disolución antipardeamiento (A).

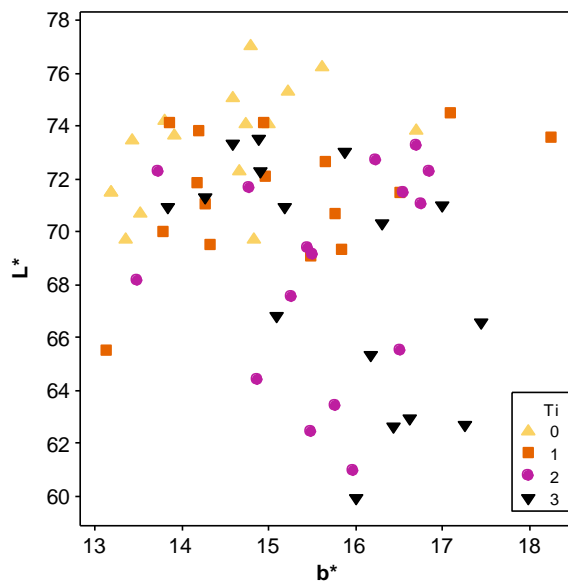


Figura 39. Gráficos de dispersión para las variables L^* y b^* durante el tiempo de almacenamiento (Ti).

En la figura 40 se ve que este efecto de que L^* , de ir bajando a medida que pasaban las semanas de almacenamiento, se observó solamente en las muestras que no son tratadas con disolución antipardeamiento, y que fue mayor a la temperatura de almacenamiento alta (8 °C).

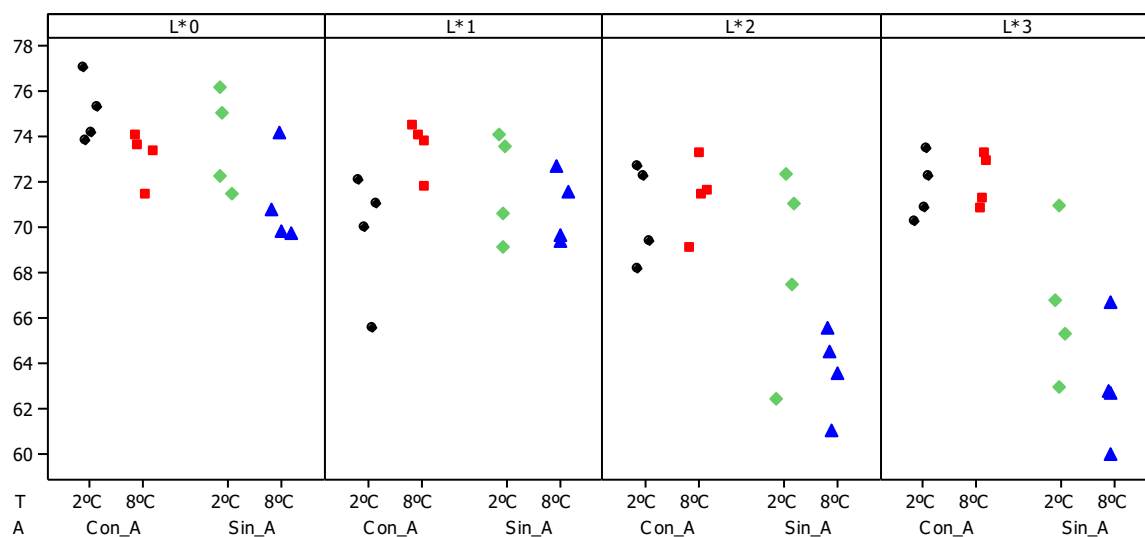


Figura 40. Gráficos de datos individuales de L^* para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

En la figura 41 se ve que los valores de a^* aumentaron a medida que pasa el tiempo cuando las muestras no estaban tratadas con disolución antipardeamiento, efecto que se vio incrementado en el caso de muestras almacenadas a temperatura alta.

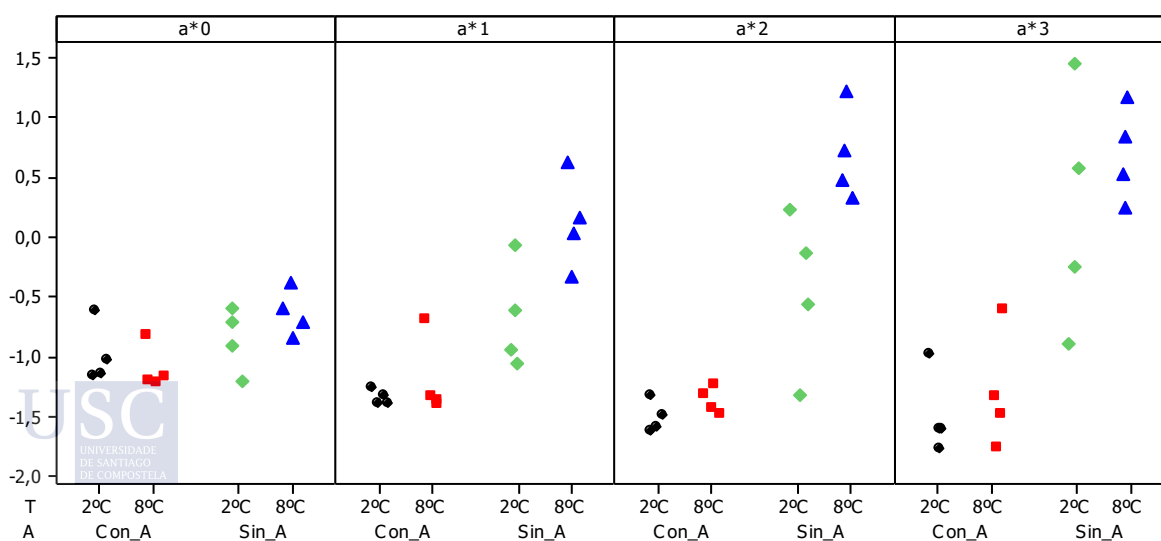


Figura 41. Gráficos de datos individuales de a^* para distintos tiempos de almacenamiento, según aplicación de distinto tipo de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

5.3.1.3 Variables de Textura

En la tabla 31 se muestran los estadísticos descriptivos para las variables de textura. No se observaron tendencias claras en las medias con respecto al tiempo de almacenamiento. Sí se observan dispersiones importantes de los valores de todas estas variables, especialmente para W, que fueron grandes durante todo el tiempo de almacenamiento. Esto puede ser indicativo de la importancia de algún efecto de los factores ensayados.

Tabla 31. Estadísticos descriptivos para las variables de textura del ensayo 3: fuerza máxima (F), Longitud a la rotura (L), F/L y W, medidas durante el tiempo de almacenamiento.

Variable	N	Media	DT	CV (%)	Min	Max	Asi	Apu
F0	16	3.715	0.463	12.47	3.056	4.861	0.77	0.88
F1	16	3.8108	0.3324	8.72	3.1944	4.3056	-0.26	-1.01
F2	16	3.8281	0.3656	9.55	3.0556	4.3056	-0.51	-0.39
F3	16	3.967	0.726	18.3	2.917	5.694	1.18	1.17
L0	16	0.8644	0.1857	21.48	0.5373	1.2998	0.49	0.86
L1	16	0.8958	0.2171	24.23	0.5719	1.4211	1.05	1.32
L2	16	0.9099	0.11	12.09	0.7106	1.1092	0.05	-0.63
L3	16	1.0312	0.1207	11.71	0.8666	1.1958	-0.11	-1.65
F/L0	16	4.451	0.896	20.13	2.671	6.116	-0.1	0.03
F/L1	16	4.441	0.946	21.3	2.932	6.327	0.55	0.72
F/L2	16	4.2351	0.3976	9.39	3.6674	4.9176	0.22	-0.97
F/L3	16	3.869	0.67	17.31	2.904	5.185	0.5	-0.8
W0	16	1.6947	0.393	23.19	0.946	2.2964	0.07	-0.47
W1	16	1.754	0.45	25.66	1.169	2.749	0.66	0.03
W2	16	1.8878	0.3778	20.01	1.1698	2.5997	-0.18	-0.21
W3	16	2.124	0.615	28.94	1.271	3.796	1.44	2.82

5.3.1.4 Variables Microbiológicas

En cuanto a las variables microbiológicas, los resultados se presentan en la tabla 32. Se tratan estadísticamente solo los datos en los que hubo detección del microorganismo (*Staphylococcus aureus* (Sa), *Salmonella spp* (Ss), aerobios psicrotrofos (AP), *Bacillus cereus* (Bc) y mohos/levaduras (ML)). No se detectaron en ninguno de los tiempos *Listeria monocytogenes* (Lm), *Clostridium perfringens* (Cp) y Coliformes (CO)

Tabla 32. Estadísticos descriptivos para las variables microbiológicas del ensayo 3: *Salmonella spp* (Ss), *Staphylococcus aureus* (Sa), aerobios psicrotrofos (AP), *Bacillus cereus* (Bc) y mohos/levaduras (ML), medidas en 4 puntos de su tiempo de almacenamiento.

Variable	N	Media	DT	CV (%)	Min	Max	Asi	Apu
Ss3	16	4775	11696	244.94	0	45000	3.16	10.42
Sa3	16	244	548	224.69	0	1800	2.15	3.79
AP1	16	33.8	135	400	0	540	4	16
AP2	16	805	1592	197.7	0	4500	1.93	2.35
AP3	16	3248	4187	128.94	0	9100	0.74	-1.51
Bc2	16	19.44	20.86	107.33	0	60	0.63	-0.84
Bc3	16	2670	6074	227.5	0	18000	2.38	4.42
ML0	16	597	934	156.41	0	3000	1.67	1.96
ML1	16	16413	14173	86.36	0	36000	0.65	-1.46
ML2	16	22450	19400	86.41	0	54000	0.67	-1.09
ML3	16	16690	21895	131.19	450	73000	1.58	1.8

Se aprecia que tanto en el coeficiente de asimetría (Asi) como en el de apuntamiento (Apu) había desviaciones muy acusadas de la normal, debido al bajo o nulo número de UFC/g en muchas unidades experimentales.

En la figura 42 se puede ver que para los psicrotrofos a partir del tiempo 2 el efecto de la disolución antipardeante fue apreciable, dado que cuando no la hubo los crecimientos de este tipo de microorganismos fueron mayores. También se aprecia, pero en menor medida que estos crecimientos fueron mayores para el almacenamiento a alta temperatura.

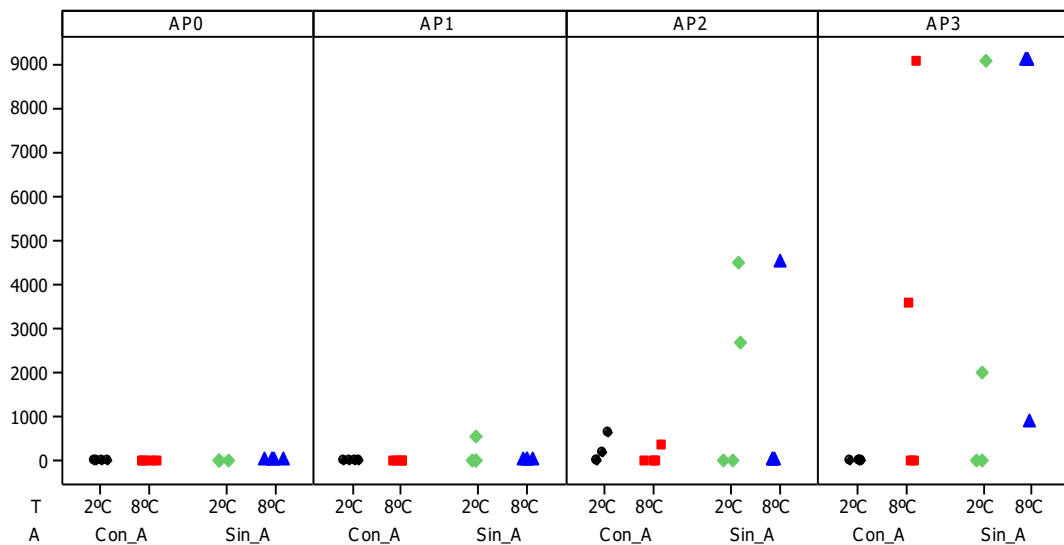


Figura 42. Gráficos de datos individuales para los microorganismos aerobios psicrotrofos (AP), para distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antiparadeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

Como se aprecia en las gráficas de la figura 43 y figura 44 no hubo presencia de patógenos hasta el tiempo 3 y sólo en los casos en que las temperaturas fueron altas, y en algún caso en las muestras que no fueron tratadas con aditivos antiparadeamiento.

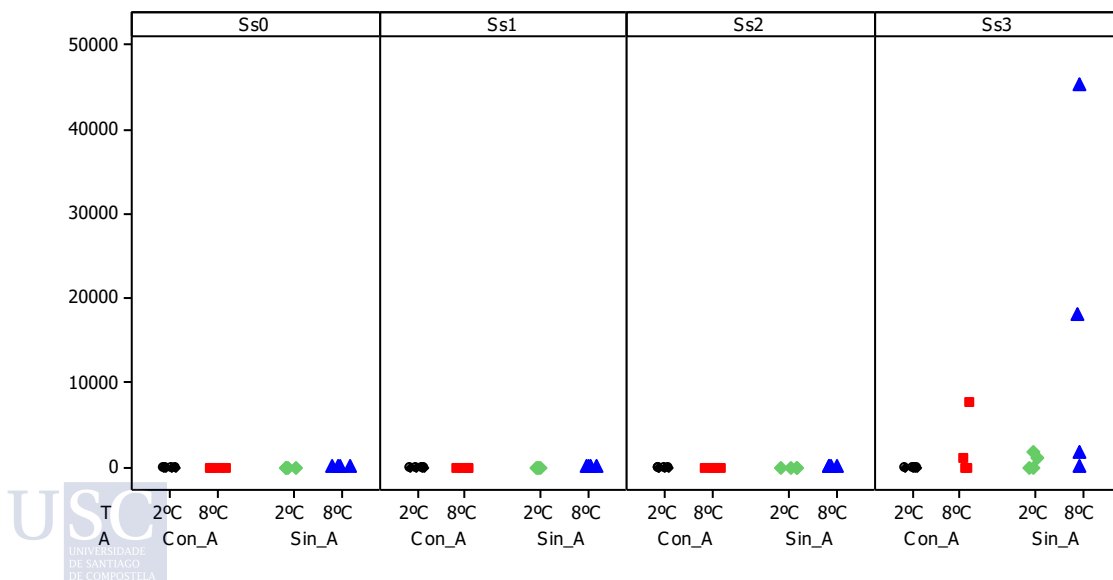


Figura 43. Gráficos de datos individuales de *Salmonella spp* (Ss), para los distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antiparadeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

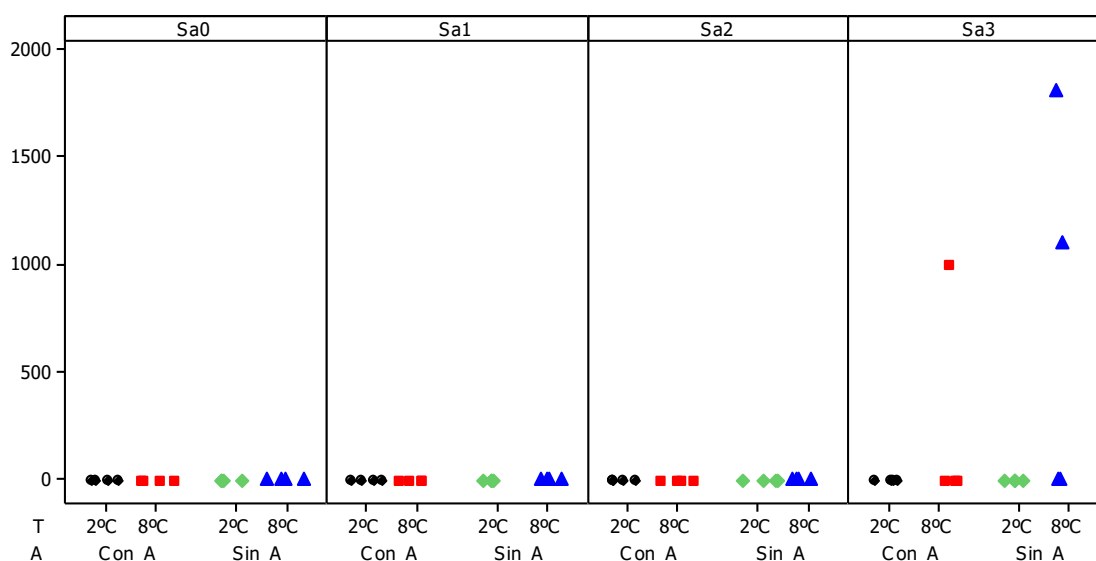


Figura 44. Gráficos de datos individuales de *Staphylococcus aureus* (Sa), para los distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

5.3.2 Análisis de correlación lineal

En la tabla 33 se muestran los resultados del análisis de correlación lineal simple entre las variables de este ensayo.

Los coeficientes de correlación observados fueron importantes entre las variables de color, especialmente entre a^* y H^* , y entre b^* y C^* . Esto se puede ver de forma muy clara en los gráficos de dispersión de la figura 45. A medida que bajaba H^* subía a^* y a medida que subía b^* también aumentaba C^* . También se observa en la esta figura que las muestras que no tenían aditivos tienden a presentar valores más bajos de H^* y más altos de a^* , b^* y C^* .

También se observan correlaciones negativas de L^* con a^* , es decir que cuanto menos luminosidad (L) tenían las muestras, tendían más hacia el rojo y menos hacia el verde. La variación conjunta de L^* con b^* fue mucho menos acusada.

Tabla 33. Análisis de correlación del ensayo 3, para las variables %CO₂, pH, actividad de agua (a_w), materia seca (MS), las componentes del color (L*, a*, b*, C*, H*), fuerza máxima de rotura (F), longitud a la rotura (L), F/L, W, *Salmonella spp* (Ss), *Staphylococcus aureus* (Sa), aerobios psicrotrofos (AP), *Bacillus cereus* (Bc) y mohos/levaduras (ML).

	L*	a*	b*	H*	C*	F	L	F/L	w	%CO ₂	pH	a _w	MS	Ss	Sa	AP	Bc
a*	-0.69 ***																
b*	-0.22	0.47 ***															
H*	0.66 ***	-1 ***	-0.54 ***														
C*	-0.22	0.46 ***	1 ***	-0.53 ***													
F	-0.17	0.03	0.08	-0.02	0.09												
L	-0.11	-0.05	0.06	0.05	0.07	0.37 **											
F/L	0.04	0.06	-0.04	-0.05	-0.04	0.26 *	-0.77 ***										
w	-0.21	0.06	0.12	-0.05	0.13	0.82 ***	0.79 ***	-0.28 *									
%CO ₂	-0.49 ***	0.27 *	0.38 **	-0.27 *	0.38 **	0.13	0.27 *	-0.24 *	0.28 *								
pH	0.37 **	-0.07 *	-0.26 *	0.08 *	-0.27 *	-0.15	-0.28 *	0.22 *	-0.26 *	-0.44 ***							
a _w	0.29 *	-0.07 *	-0.29 *	0.07 *	-0.3 *	-0.19	-0.15 *	0.02 *	-0.19 *	-0.44 ***	0.55 ***						
MS	0.16	-0.09	-0.22	0.11	-0.22	0.13	0.21	-0.09	0.19	-0.12	0.11	0.12					
Ss	-0.41 ***	0.31 *	0.18	-0.31 *	0.18	-0.08	0	-0.08	-0.02	0.46 ***	-0.05	-0.13	-0.04				
Sa	-0.3 *	0.21	0.18	-0.2	0.19	0.28 *	0.13	0.03	0.29 *	0.53 ***	-0.07	-0.31 *	-0.1	0.25 *			
AP	-0.45 ***	0.43 ***	0.36 **	-0.43 ***	0.36 **	-0.2	0.09	-0.24	-0.07	0.62 ***	-0.13	-0.25 *	-0.14	0.61 ***	0.29 *		
Bc	-0.46 ***	0.35 **	0.25 *	-0.34 **	0.25 *	0.04	0.02	-0.03	0.07	0.55 ***	-0.07	-0.19	-0.06	0.89 ***	0.59 ***	0.6 ***	
ML	-0.49 ***	0.39 **	0.26 *	-0.37 **	0.26 *	-0.05	0.09	-0.16	0.02	0.53 ***	-0.43 ***	-0.2	0.09	0.33 **	0.27 *	0.51 ***	0.42 ***

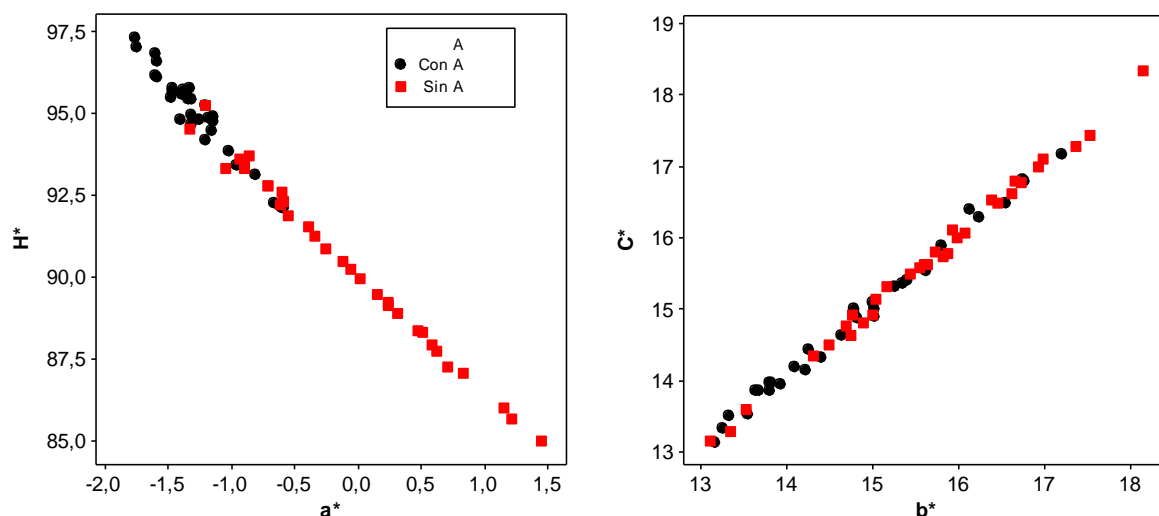


Figura 45. Gráficos de dispersión de H^* frente a a^* y de C^* con relación a b^* , agrupando los puntos por el tipo de disolución antipardeamiento utilizada (A).

En cuanto a las variables de textura se observan correlaciones altas, siendo positivas entre F y L con W y negativas entre L y F/L. Es decir, que a medida que aumentaban tanto L como F el trabajo bajo la curva de deformación también aumentaba. Y que a medida que aumentaba L, el valor de la relación F/L disminuía. Como F no presentó correlaciones altas con F/L, se deduce que en este caso fue L quien contribuyó más a generar esta dependencia que F.

No se observaron correlaciones entre variables de color y textura importantes.

Entre las variables químicas, hubo correlaciones relativamente importantes y sus diferencias a cero significativas. Fueron positivas entre pH y a_w y negativas entre el contenido en CO_2 y estas dos variables. En la figura 46 se aprecia que en el caso del pH y el $\%CO_2$ para cada tiempo de almacenamiento había agrupamientos de puntos, lo que explica en parte esa correlación observada entre las variables. A medida que pasa el tiempo el pH bajó y la cantidad de CO_2 subió, excepto en el tiempo 3, en el que se ve que, aunque la tendencia del CO_2 siguió siendo al alza, pero el pH volvió a subir. El hecho de que dentro de cada uno de los tiempos de almacenamiento hubiera agrupamientos de puntos, como se muestra en la figura 46, sugirió efectos importantes de los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y temperatura de almacenamiento (T).

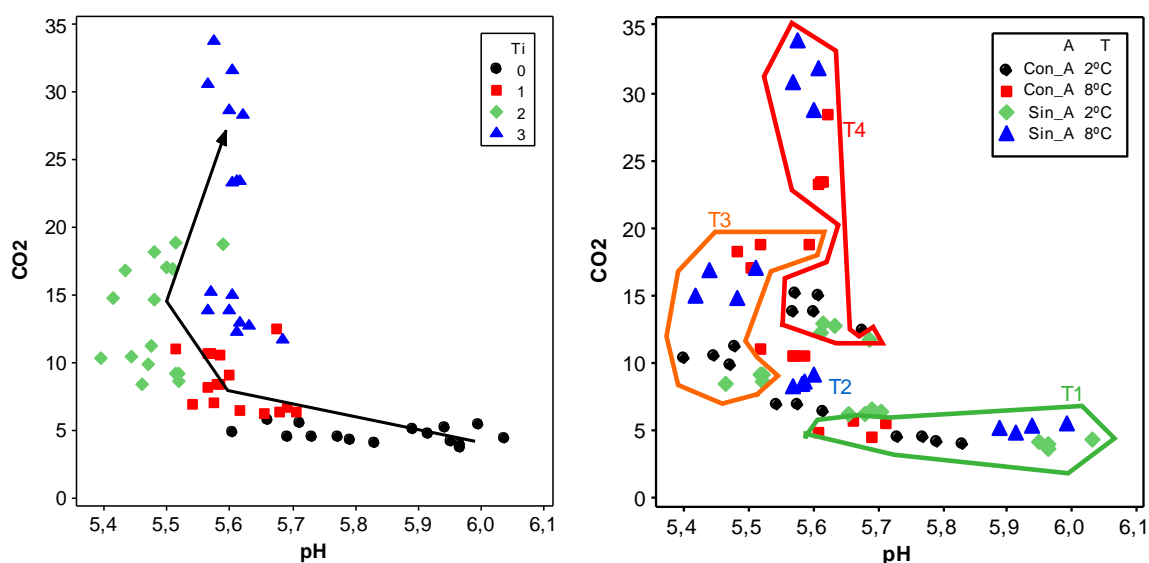


Figura 46. Gráficos de dispersión entre la variable %CO₂ y el pH durante su periodo de almacenamiento (izquierda) y de estas mismas variables frente al efecto de los factores tipo de disolución antipardeamiento (A) y temperatura de almacenamiento (T) (derecha).

En el caso de las variables químicas con variables del color, se observaron correlaciones altas de la variable L* con el %CO₂. Esta correlación era negativa, lo que indica que cuando tendía a aumentar la cantidad de CO₂ tendía a bajar la luminosidad (L*). L* también presentó correlación positiva con pH y a_w. Las dos componentes del color a* y b* están correlacionadas positivamente entre sí y negativamente con L*. Presentaron el efecto inverso con %CO₂ (correlación positiva) y pH (correlación negativa).

Teniendo en cuenta los coeficientes de correlación de la variable %CO₂, se ve que al aumentar el contenido en CO₂ las patatas tuvieron tendencia a ser más oscuras, de color con tonos más amarillo-rojizos (primer cuadrante de H*) y con más intensidad de color (cromaticidad C*).

Todos los coeficientes de correlación entre las variables microbiológicas fueron positivos, significativos y en algunos casos altos (*Salmonella spp* (Ss) y *Bacillus cereus* (Bc)).

Con respecto a las correlaciones entre variables del color y la microbiológicas destacaron las de L*, quien presentó correlaciones negativas con todas ellas. Es decir, que los crecimientos microbianos dieron lugar a productos menos luminosos. También se observó una correlación positiva entre las variables microbiológicas y a*, y una correlación negativa entre

H* y los aerobios psicotrofos, de forma que, al aumentar la cantidad de estos microorganismos, el color tuvo tendencia a ser más rojizo.

En cuanto a las correlaciones observadas entre variables químicas y microbiológicas hay que destacar las del factor %CO₂ que fueron positivas con todas las variables microbiológicas, es decir, que la cantidad de microorganismos y de CO₂ tendieron en este ensayo a aumentar conjuntamente.

5.3.3 Análisis de la varianza

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los resultados del análisis de varianza para las distintas variables estudiadas en este ensayo.

Estos resultados se confirman muchas de las cosas que se apuntaban anteriormente. Se advierte que el factor que más afectó fue el factor tipo de disolución antipardeamiento (A), en el que se evaluó la presencia o no de esta disolución en el procesado de la patata. Presentó efectos significativos altos sobre todas las variables del color (a partir de la semana 1), al %CO₂, al pH y a la presencia de algunos microorganismos, como son mohos y levaduras (ML) y *Bacillus cereus* (Bc).

Por otro lado, se aprecia que el factor temperatura de almacenamiento (T) también tuvo efectos significativos sobre algunas variables del color sobre todo en las primeras semanas, al contenido de CO₂ con efectos altamente significativos, y a la presencia de microorganismos, sobre todo en la semana 3.


Sin hacer análisis estadísticos se observa que el tiempo (Ti) se asociaba con variaciones importantes de las variables estudiadas, y que estas variaciones tendieron a aumentar a lo largo del período de almacenamiento.

El análisis de varianza mostró que la variable química más afectada fue el %CO₂. Esto se aprecia en la figura 47 que nos da la evolución de este parámetro a medida que pasa el tiempo, y que en todos los casos aumenta con la duración del almacenamiento. Sin embargo, se percibieron aumentos mayores para las patatas almacenadas a temperaturas más altas y el incremento fue más intenso si además las patatas no estaban tratadas con la disolución antipardeamiento. Otra de las variables afectadas por estos factores es el pH, que como se

indicó antes tenía correlaciones altas y negativas con el %CO₂, por lo que debería de tener una evolución contraria a la de esta variable.

Tabla 34. Resultados del análisis de la varianza para las variables del ensayo 3: %CO₂, pH, actividad de agua (a_w), materia seca (MS), las componentes del color (L*, a*, b*, C*, H*), fuerza máxima de rotura (F), longitud a la rotura (L), F/L, W, *Salmonella spp* (Ss), *Staphylococcus aureus* (Sa), aerobios psicrotrofos (AP), *Bacillus cereus* (Bc) y mohos/levaduras (ML).

Tiempo (Ti)	0			1			2			3		
Variable	A	T	A*T	A	T	A*T	A	T	A*T	A	T	A*T
L*	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	***	ns	ns
a*	*	ns	ns	***	*	ns	***	*	ns	***	ns	ns
b*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
H*	ns	ns	ns	***	*	ns	***	**	ns	***	ns	ns
C*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
F	ns	ns	ns	**	ns	ns	*	ns	ns	*	ns	ns
L	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
F/L	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
W	*	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
%CO ₂	ns	***	ns	*	**	ns	***	***	ns	*	***	***
pH	***	**	ns	*	**	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
a _w	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
MS	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ss	--	--	--	--	--	--	--	--	--	ns	ns	ns
Sa	--	--	--	--	--	--	--	--	--	ns	ns	ns
AP	--	--	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
Bc	--	--	--	--	--	--	ns	ns	ns	*	*	*
ML	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	*	ns	*	**	ns



A: Tipo de disolución antipardeamiento
T: Temperatura de almacenamiento

* p≤0,05
 ** p≤ 0,01
 *** p≤ 0,001
 ns: No significativo

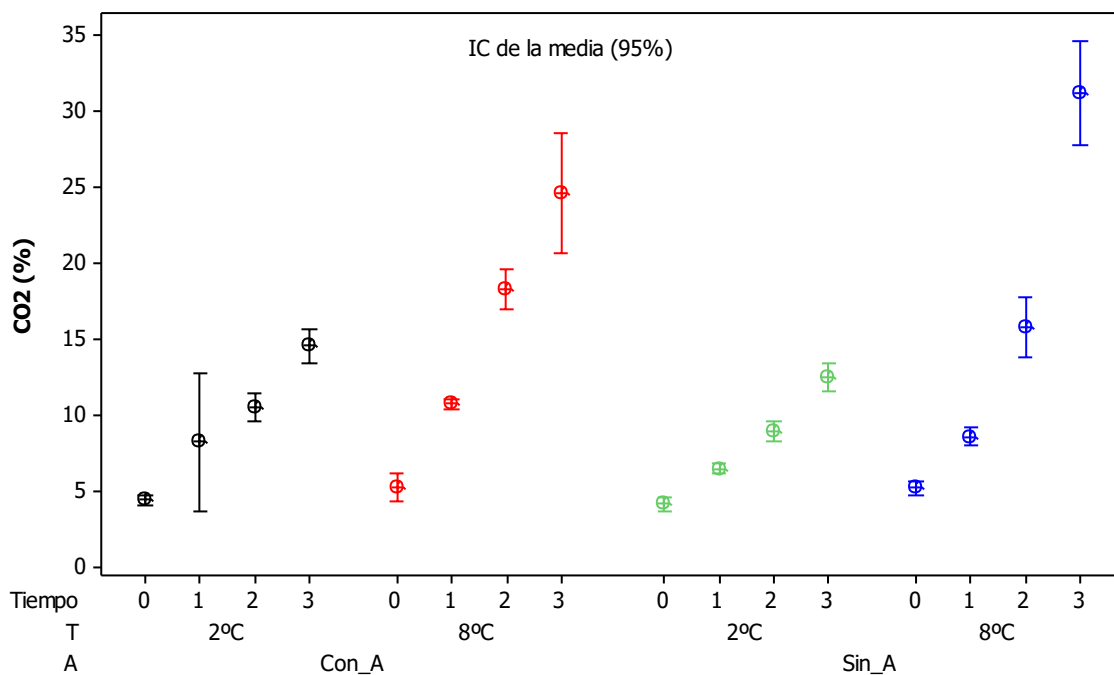


Figura 47. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de %CO₂ para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.

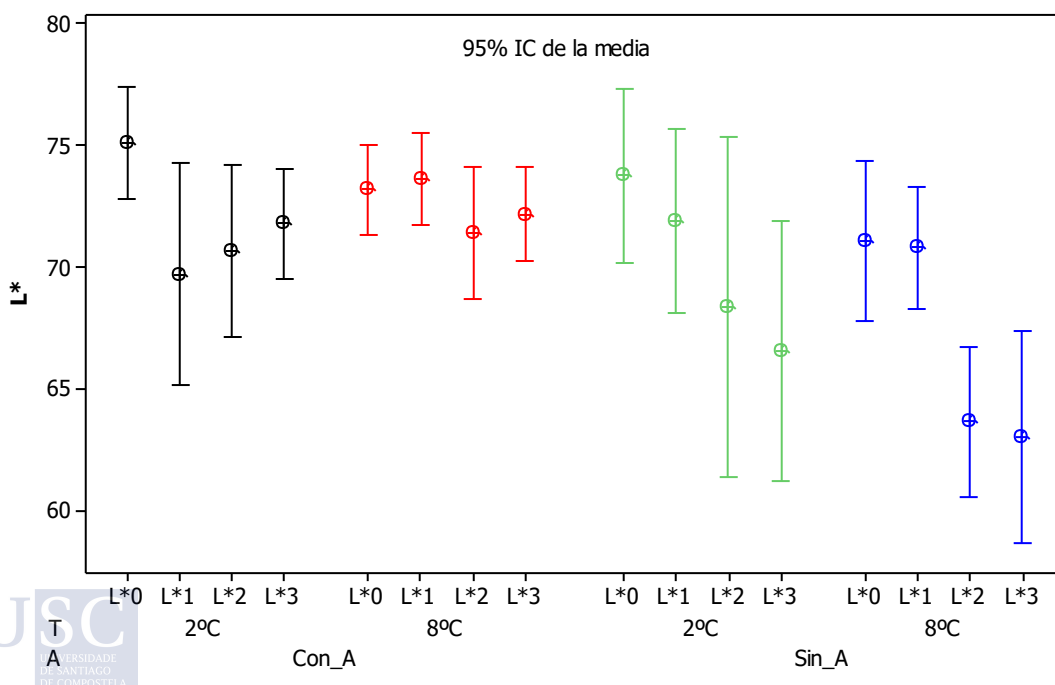


Figura 48. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de color L* para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento

En la figura 48 se muestran los gráficos de intervalos de confianza de la media para la variable de color L* estratificados por tiempos de almacenamiento. En ella se observa que para las muestras que no llevan disolución antipardeamiento evolucionaron más en el tiempo reduciéndose mucho la luminosidad a partir de la semana 2, sobre todo en las muestras que además estaban almacenadas a temperatura más alta. En cuanto a las disoluciones que llevaban aditivos, estos valores se mantuvieron bastante estables a medida que pasaron las semanas.

Con respecto a las otras componentes del color, en la figura 49 se ve que hubo influencia del factor presencia de disolución antipardeamiento (A) bajando los valores de H* durante el almacenamiento, mientras que las que fueron tratadas con aditivos tuvieron una evolución mucho menor. También se ve influencia del factor temperatura en las que no presentaron disolución antipardeante. En las que se almacenaron a mayor temperatura, bajaron más los valores de H*.

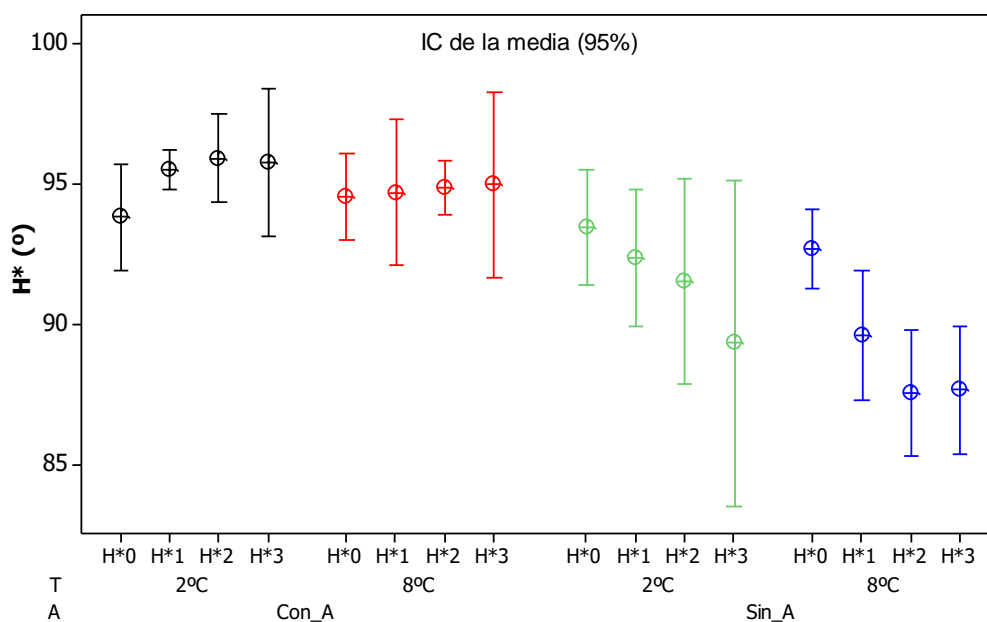


Figura 49. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de color H* para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.

Esta evolución de los factores L^* y H^* implican que las patatas que no fueron tratadas con disolución antipardeante evolucionaron mucho más que las que sí lo fueron, y que si se almacenaron a alta temperatura la evolución fue todavía mayor. Esta evolución implica que la patata era menos luminosa y que, teniendo en cuenta la alta correlación entre H^* y a^* , el color evolucionó desde tonos más verdosos a más rojizos.

En cuanto a las variables de textura, en la figura 50 se aprecia que para la variable Fuerza máxima a la rotura (F) hubo diferencias debidas a la presencia o no de la disolución antipardeante. Se observa que en las 2 primeras semanas la firmeza de la patata fue mayor para las muestras que llevaban aditivos, mientras que en la última semana la evolución fue la contraria. Es decir, que en las que llevaban aditivos F baja con respecto a las otras tres semanas, mientras que las que no los llevaban la F aumenta. La mayor firmeza en las que no llevan aditivos se relaciona con un aumento de la deformación que experimentaron las patatas sin aditivos hasta la rotura (figura 51).

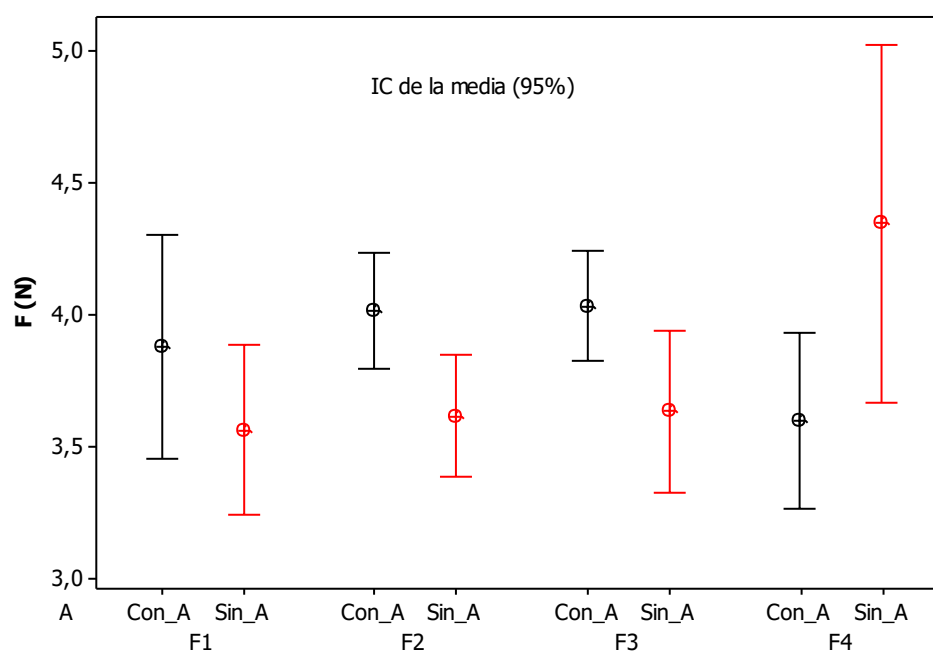


Figura 50. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de textura F por niveles del factor presencia de disolución antioxidante (A), durante las 3 semanas de almacenamiento.

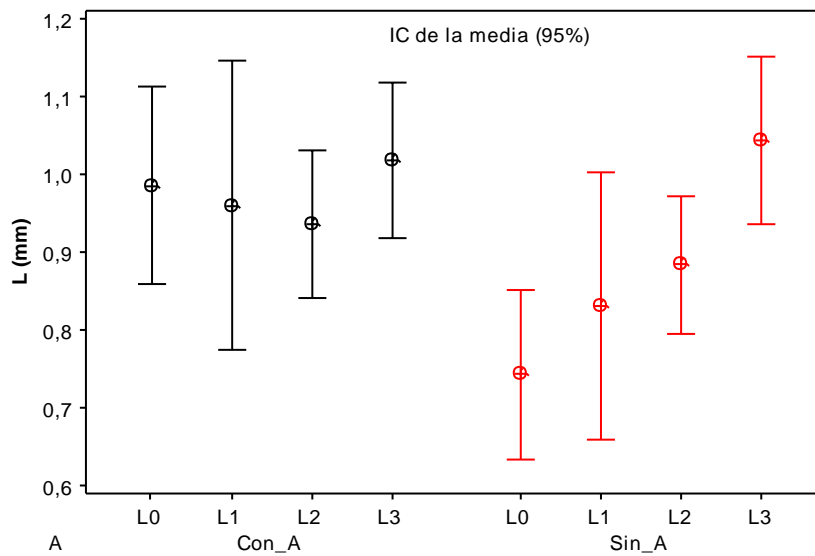


Figura 51. Gráfico de intervalos de confianza de la media de la variable de textura L por niveles del factor presencia de disolución antioxidante (A), durante las 3 semanas de almacenamiento

Esta mayor deformación se tradujo en un mayor trabajo realizado hasta rotura bajo la zona lineal de la curva esfuerzo-deformación (W) en las muestras sin aditivos a tiempos de almacenamiento largos, según indican la gráfica de la figura 52.

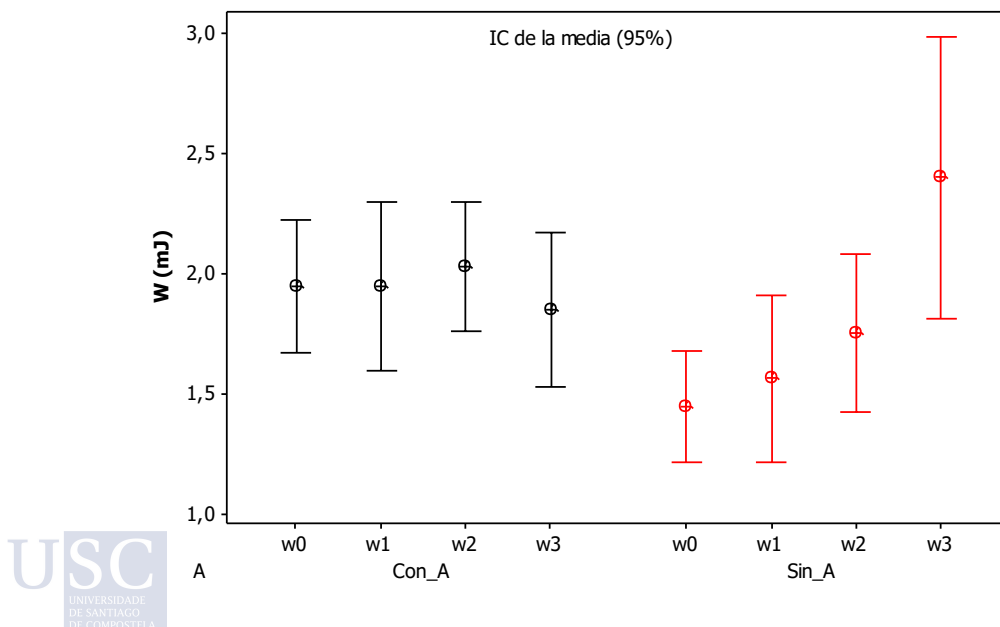


Figura 52. Gráfico de intervalos de confianza de la media y de datos individuales de la variable de textura W para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.

Hablando de las variables microbiológicas, en la figura 53 se muestran los datos para los mohos y levaduras (ML). Se observa que en las muestras almacenadas a alta temperatura y sin presencia de disolución antipardeante los crecimientos son mayores. También se observa un patrón de variación con el tiempo bastante regular con todos los tratamientos, excepto con el que se corresponde con las muestras tratadas con disolución antipardeante y almacenadas a 2 °C. En este caso, siguiendo la evolución de los demás tratamientos se esperaría tener cierto crecimiento en la semana 3 y crecimientos más bajos en las semanas 1 y 2. Este comportamiento, que difiere con el esperado, se puede deber a algún problema en la toma de datos.

En el caso de *Bacillus cereus* (figura 54), esta tendencia se hace más apreciable ya que en el resto de los casos casi no se producen crecimientos y sólo se observan en la tercera semana para temperaturas altas y en muestras sin disolución antipardeamiento.

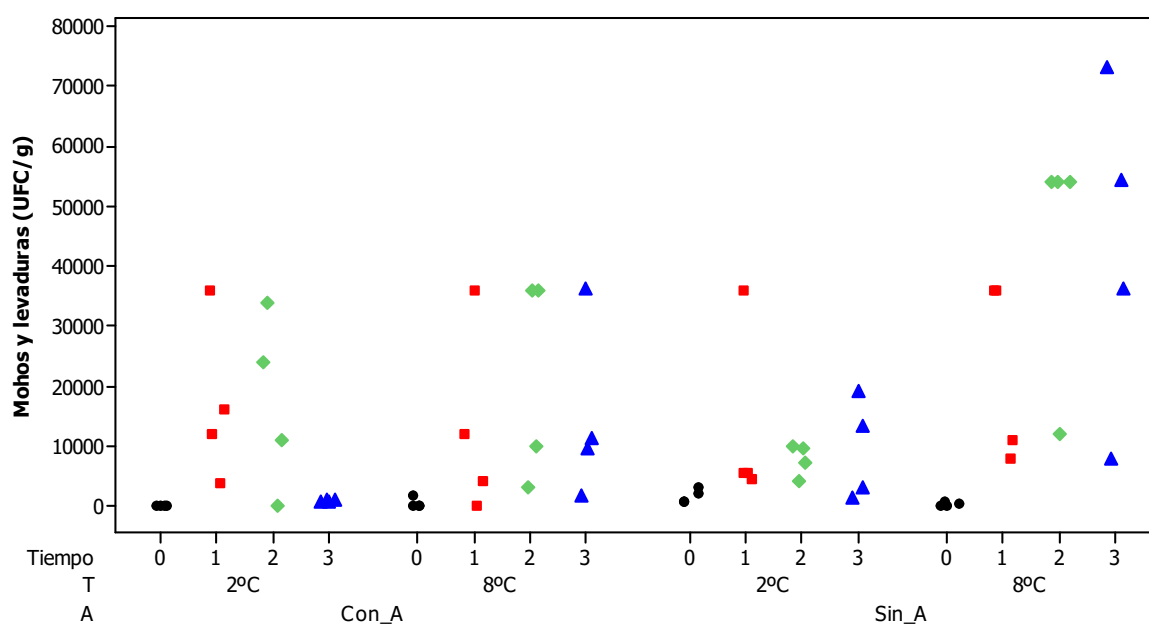


Figura 53. Gráfico de datos individuales de la variable de mohos y levaduras (ML) para los factores presencia de disolución antioxidante (A) y temperatura de almacenamiento (T), durante las 3 semanas de almacenamiento.

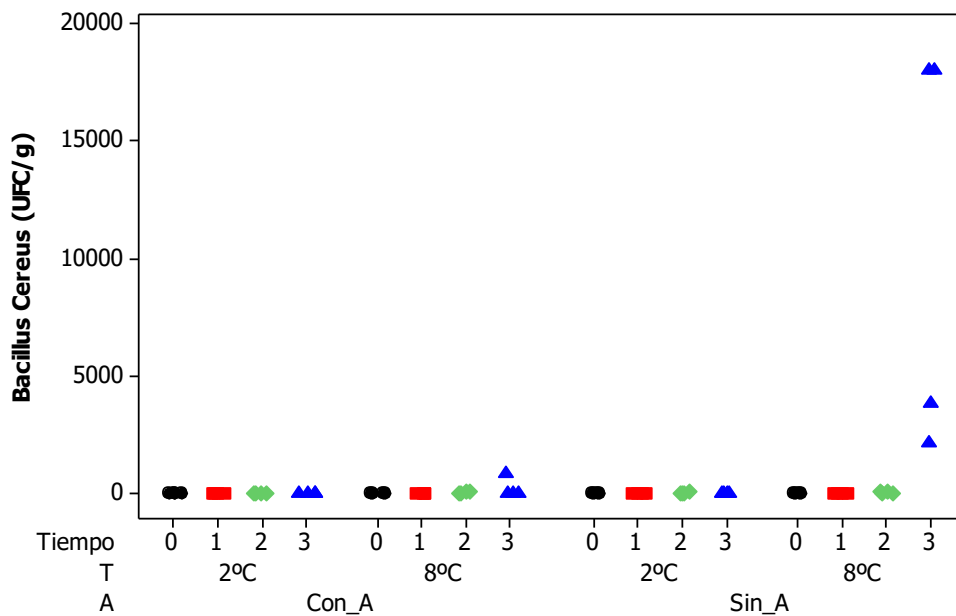


Figura 54. Gráficos de datos individuales de *Bacillus cereus* (Bc), para los distintos tiempos de almacenamiento, según la aplicación de distintos tipos de disolución antipardeante (A) y temperatura de almacenamiento (T).

5.3.4 Análisis sensorial

Se realizaron una prueba triangular y un análisis de clasificación por ordenación, según se describe en la sección 4.6.

5.3.4.1 Prueba triangular

En la tabla 35 se muestran los resultados de la prueba triangular. En ella se puede ver que no se encontraron diferencias significativas entre productos almacenados durante dos semanas a distintas temperaturas cuando fueron tratadas con disolución antipardeamiento (prueba 1), mientras que las había, y con significación alta cuando no estaban tratadas con dichos aditivos (prueba 2).

Por otra parte, en la prueba 3, se observó que no había diferencias significativas entre las muestras tratadas con disolución antioxidante y almacenadas a 2 °C, durante una y tres semanas de almacenamiento.

Tabla 35. Resultados de las pruebas triangulares realizadas en el ensayo 3.

	Producto 1	Producto 2	Nivel de significación
Prueba 1	Con disolución antipardeamiento		ns
	2 °C	8 °C	
	2 semanas de almacenamiento		
Prueba 2	Sin disolución antipardeamiento		***
	2 °C	8 °C	
	2 semanas de almacenamiento		
Prueba 3	Con disolución antipardeamiento		ns
	2 °C		
	1 semana de almacenamiento	3 semanas de almacenamiento	
			* p≤0,05 ** p≤ 0,01 *** p≤ 0,001 ns: No significativo

5.3.4.2 Prueba de clasificación por ordenación

En la tabla 36 se muestran los sumatorios de las ordenaciones visuales de las muestras que realizaron los jueces durante esta prueba sensorial, de forma que la menor nota pertenece a las muestras que los jueces consideraron que tenían un aspecto más diferente a lo que sería el de una patata sin procesar.

Se observa que los que fueron mejor valorados por los jueces en todos los casos son las muestras con el tratamiento C (almacenada a 8 °C y con presencia de aditivos en la disolución antipardeante) y las del tratamiento A (almacenada a 2 °C y con presencia de aditivos en la disolución antipardeante).

Tabla 36. Sumatorio de las ordenaciones realizadas por los jueces en la prueba de clasificación por ordenación del ensayo 3 (La peor valorada por los jueces se le asigna orden 1 y la mejor orden 4).

Tiempo de almacenamiento (semanas)	N.º pruebas realizadas	Sumatorio ordenaciones (R _n)			
		Muestra A (R _A)	Muestra B (R _B)	Muestra C (R _C)	Muestra D (R _D)
		2 °C/Con A	2 °C/Sin A	8 °C/Con A	8 °C/ Sin A
0	108	275	247	301	257
1	120	370	319	391	120
2	138	468	279	493	140

En la tabla 37 se exponen los resultados de la prueba de Friedman (ver sección 4.3.4), que se aplicó a los resultados aportados por los jueces. Como se aprecia, las diferencias que se observan son significativas y la significación aumenta a medida que pasa el tiempo de almacenamiento.

Tabla 37. Prueba de Friedman para determinar si había diferencias entre las muestras elaboradas para la prueba sensorial del ensayo 3.

Tiempo de almacenamiento	N.º pruebas realizadas	Nivel de significación
0	108	*
1	120	**
2	138	**
		* p≤0,05 ** p≤ 0,01 ns: No significativo

Una vez visto que existían diferencias significativas en el conjunto de muestras se compararon las muestras por pares. Los resultados se muestran en la tabla 38, en la que se observa que el único par de tratamientos que no presentó diferencias significativas desde el inicio del almacenamiento fueron los tratamientos A y C. Estos dos tratamientos comparten que las muestras fueron tratadas con disolución antipardeamiento con aditivos, lo que indica que este factor fue importante a la hora de la percepción visual de la conservación de las muestras.

Tabla 38. Niveles de significación según la prueba de Friedman, para las diferencias entre pares de tratamientos realizados a las muestras, en función de los factores tipo de tratamiento antipardeamiento (A) y temperatura de almacenamiento (T).

Pares de Tratamientos	Tratamiento 1 (T/A)	Tratamiento 2 (T/A)	Tiempo 0	Tiempo 1	Tiempo 2
A-B	2 °C/ Con A	2 °C/ Sin A	ns	*	**
A-C	2 °C/ Con A	8 °C/ Con A	ns	ns	ns
A-D	2 °C/ Con A	8 °C/ Sin A	ns	**	**
B-C	2 °C/ Sin A	8 °C/ Con A	**	**	**
B-D	2 °C/ Sin A	8 °C/ Sin A	ns	**	**
C-D	8 °C/ Con A	8 °C/ Sin A	*	**	**
* $p \leq 0,05$ ** $p \leq 0,01$ ns: No significativo					

Habida cuenta de que sí había diferencias entre las muestras presentadas, se realizó el test de Page (ver sección 4.3.4), para ver si la ordenación que se suponía teóricamente era la correcta.

Tabla 39. Resultados de significación para el test de Page, para los tratamientos realizados a las muestras, en función de los factores estudiados en el ensayo 3, tipo de tratamiento antipardeamiento (A) y temperatura de almacenamiento (T).

Ordenación	Tratamiento 1 (T/A)	Tratamiento 2 (T/A)	Tratamiento 3 (T/A)	Tratamiento 4 (T/A)	Tiempo 0	Tiempo 1	Tiempo 2
DBAC	8 °C/ Sin A	2 °C/ Sin A	2 °C/ Con A	8 °C/ Con A	**	**	**
* $p \leq 0,05$ ** $p \leq 0,01$ ns: No significativo							

El resultado de esta prueba fue que hay una probabilidad del 99% de que la ordenación teórica establecida DBAC (de peor valorado a mejor valorado) sea la correcta a partir del tiempo 0.

Estos resultados de las pruebas de ordenación muestran que en las muestras que fueron tratadas con disolución antipardeamiento (muestras A y C), no se observaron diferencias visuales entre las muestras que se almacenaron a 2 °C y a 8 °C, durante las 2 semanas de

almacenamiento. Pero sí que se presentaron diferencias de estas con respecto a las que no llevaban disolución antipardeamiento (muestras B y D).

5.3.5 Resumen ensayo 3

En este ensayo se pudo ver que la temperatura de almacenamiento tiene efectos significativos sobre la concentración de CO₂, el pH, algunas de las variables de color y sobre la concentración de microorganismos. De forma que las muestras almacenadas a alta temperatura tenían mayor evolución y valores más altos de %CO₂, presentaban más pardeamiento (L* menores y a* mayores) y presentaban mayores recuentos de alguno de los microorganismos.

Por otra parte, la disolución antipardeamiento presentó efectos para las variables de textura, el pH, la concentración de CO₂, algunas variables microbiológicas y altamente significativos sobre las variables del color, sobre todo en la semana 3.

Las muestras sin tratamiento antipardeamiento presentaron durante al almacenamiento evolución en las variables de textura (F y L aumentaban a medida que pasaba el tiempo), y presentaban más pardeamiento, mientras que en las que estaban tratadas con aditivos no se observaban estos efectos, incluso en muestras almacenadas a 8 °C.

También se observaron crecimientos de microorganismos mucho mayores y que se presentaron antes en el tiempo, para estas muestras que para muestras tratadas con aditivos. Además, la influencia de la temperatura fue mayor en ellas, produciéndose diferencias más grandes de crecimientos entre las almacenadas a 2 y a 8 °C.

Las muestras almacenadas a 2 °C y con presencia de aditivos no presentaron crecimientos de patógenos en todo el almacenamiento. El resto de las muestras se encontraron crecimientos en la semana 3.

En cuanto al análisis sensorial, se pudo ver que el tratamiento antipardeante tiene efectos altamente significativos sobre el sabor de las patatas, presentando más diferencias significativas con muestras patrón, y por tanto más evolución de sus características sensoriales, las que no tenían tratamiento antipardeante. En cuanto al aspecto de las muestras dentro de las bolsas, también tuvo mucha influencia, presentando peor aspecto las que no estaban tratadas con estos aditivos.

6 DISCUSIÓN

Los resultados mostrados en este trabajo se han obtenido a partir de los tres ensayos factoriales y las pruebas sensoriales descritos en los apartados anteriores. En ellos se optimizó el proceso de envasado de patata cruda mínimamente procesada presentada en distintos formatos. Para lograrlo se evaluaron los efectos de los factores tiempo de almacenamiento, tipo de atmósfera modificada, tipo de disolución antipardeamiento y temperatura de almacenamiento. La evaluación se hizo estudiando los efectos de esos factores sobre las propiedades químicas, físicas, de color, de textura, microbiológicas y sensoriales de la patata así procesada.

En este apartado se resumen y discuten los efectos observados de cada factor sobre estas variables de calidad. Estos efectos, sus interacciones y los patrones de variación conjunta de las propiedades del producto obtenido se usan para definir recomendaciones sobre este el proceso optimizado.

6.1 TIEMPO DE ALMACENAMIENTO

El efecto del tiempo de almacenamiento se evaluó en el primer experimento, incluyéndolo como factor del ensayo junto con los gases de envasado y la solución antipardeamiento. Salvo sobre el contenido de vitamina C, presentó efectos significativos sobre el resto de las variables. Sobre el contenido en azúcares reductores significativos y altamente significativos en el resto de las variables químicas estudiadas en el ensayo (materia seca, proporción de CO₂ en la atmósfera protectora, pH y actividad del agua). Para los contenidos en materia seca y CO₂ presentó interacciones altamente significativas con el tipo de disolución antipardeante, otro de los factores de proceso ensayados, que además fue el que más influyó después del tiempo. No mostró interacciones significativas con el gas de envasado, que fue el factor con efectos menores sobre las variables estudiadas.

También presentó efectos significativos sobre todas las variables de color, salvo en una, de un total de 17 variables analizadas en producto crudo y cocinado. No presentó para el color interacciones importantes con los otros dos factores del ensayo. También se observaron

efectos altamente significativos del tiempo de almacenamiento sobre las 4 variables de textura, presentando en todas ellas interacciones altamente significativas con el factor disolución antipardeamiento.

Además, se observaron variaciones importantes de la calidad sensorial y los recuentos microbianos en función del tiempo de almacenamiento.

A pesar de que en el primer ensayo el tiempo fue el factor que tuvo efectos más importantes y significativos, en los experimentos segundo y tercero se prefirió no incluirlo como factor de ensayo. En estos ensayos se realizaron análisis independientes para cada una de las variables determinadas en distintos tiempos y se compararon entre sí los resultados para describir su evolución. Se hizo así por la dificultad de interpretar el efecto de un factor cuando se ensaya con factores y niveles que varían en sucesivos experimentos. Además, los efectos del tiempo son muy grandes en relación con los de los otros factores ensayados, con lo que podría enmascarar a éstos. Esto es así especialmente si son de prever interacciones significativas del tiempo con factores de proceso importantes y entre ello, como apuntó el primer ensayo. Y también por el coste que supondría hacerlo, incluso acudiendo a diseños en parcela dividida o incompletos. Por ello el efecto del tiempo sobre las variables usadas para evaluar la calidad del producto se describe en los apartados siguientes en relación con los niveles y los efectos observados para el resto de los factores ensayados en este trabajo.

6.2 GASES DE ENVASADO

En el primer ensayo, junto con el tiempo de almacenamiento y el tipo de aditivos antipardeantes, se probaron envasados con atmósferas de N₂ y una combinación de N₂ y CO₂. Se vio que el tipo de atmósfera modificada empleado no tenía efectos importantes sobre las variables medidas en el producto. Únicamente se observaron efectos altamente significativos sobre el % CO₂ de la atmósfera protectora y significativos sobre el pH. El efecto sobre el contenido de CO₂ es fácilmente explicable, ya que una de las mezclas de gases contiene un 12% de este gas.

Esto concuerda con lo observado por Gunes and Lee (1997) que tampoco encontraron diferencias significativas entre distintos tipos de atmósfera modificada con una presencia mínima de oxígeno para las variables de color

En las pruebas sensoriales, las muestras tratadas con N₂ y disolución antipardeamiento sin sulfitos fueron las únicas que no presentaron diferencias significativas con respecto a la patata sin procesar, considerada como patrón, en las determinaciones realizadas la misma semana del procesado. Además, fueron las que presentaron diferencias menos significativas a lo largo del período de almacenamiento conservándose en buenas condiciones sensoriales durante al menos dos semanas.

Dado que no se presentan diferencias importantes entre los dos tipos de atmósferas modificadas empleadas en cuanto a variables químicas, de color, textura y microbiológicas y que en el análisis sensorial da mejores resultados, en los experimentos segundo y tercero se utilizó como gas de envasado sólo el nitrógeno. Según los autores anteriores proponen el uso de N₂ como la mejor opción, no sólo porque no observan diferencias con atmósferas con CO₂, sino por ser más económico y simple en cuanto a manipulación.

6.3 SOLUCIONES ANTIPARDEAMIENTO

Otro factor estudiado fue el tipo de disolución antipardeamiento utilizada. Con el propósito de estudiar el efecto de soluciones con presencia de sulfitos, y eventualmente el uso de aditivos antipardeamiento, se probaron soluciones de metabisulfito potásico (ensayo 1), ácido ascórbico y cítrico (ensayos 1, 2 y 3) y ausencia de aditivos (ensayo 3).

6.3.1 Soluciones antipardeamiento y propiedades químicas

Además de estudiar el efecto de los gases de envasado y el tiempo de almacenamiento, el primer ensayo buscó determinar el interés de incluir metabisulfito potásico en disoluciones antipardeamiento a base de ácido cítrico y ascórbico. Esto se hizo comparando disoluciones que contenían sulfitos con las que no lo contenían. Se observó que la utilización de metabisulfito potásico como componente de la disolución antipardeamiento tuvo efectos significativos sobre varias de las variables químicas estudiadas. Además, el factor presentó para las variables materia seca y %CO₂ interacciones significativas con el tiempo de almacenamiento, lo que indica que los efectos que producía la presencia o no de metabisulfito potásico en las muestras eran diferentes a medida que pasaba el tiempo.

El contenido en materia seca de las muestras tratadas con metabisulfito potásico aumentó con el tiempo de almacenamiento, mientras que en las tratadas con disoluciones que no contenían este aditivo se mantuvo estable. Se observó que esto se debía a que las muestras tratadas con este aditivo perdían agua que quedaba almacenada en la bolsa, lo que también perjudicaba el aspecto visual del producto. Las que solo eran tratadas con ácido ascórbico y cítrico no presentaron este fenómeno de pérdida de agua. Amaral et al. (2018) encontraron resultados similares en muestras tratadas con ácido cítrico y almacenadas a vacío a 3 °C, cuyo contenido en materia seca mantuvo un valor estable durante el almacenamiento de 17 días. Este comportamiento de las muestras sin metabisulfito se verificó en el ensayo 3, en donde además se comprobó que no había efectos significativos de la presencia o no de aditivos antipardecimiento sobre esta variable.

En cuanto al contenido en %CO₂ en el envase se observó que la proporción inicial observada no aumentaba en las muestras tratadas con metabisulfito potásico, mientras que las no tratadas con este aditivo sí lo hacía. Esto es probable que fuera debido a que la presencia del metabisulfito reducía la actividad respiratoria de la patata, como apuntan Petri et al. (2008), quienes encontraron que había un efecto sinérgico del metabisulfito con los ácido ascórbico y cítrico, que provocaba la reducción de la tasa de producción de CO₂. En el tercer ensayo se corroboró este comportamiento para las muestras con disolución antipardecimiento sin metabisulfito. También se apreció que, en muestras sin aditivos, el comportamiento era similar, aumentando la concentración de CO₂ a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento. Tanto en un caso como en el otro este aumento pudo ser debido al aumento la actividad respiratoria de la patata. Según varios autores esta actividad respiratoria se ve incrementada tras pelar y cortar la patata, debido a que estas operaciones dañan los tejidos, y esto provoca la degradación enzimática de los lípidos de membrana que conduce a la producción de ácidos grasos libres y de la oxidación de estos ácidos grasos resulta este aumento del CO₂ en los envases (Gunes and Lee, 1997; Brecht, 1995). En este tercer ensayo se presentaron efectos significativos del factor presencia o no de aditivos antipardecimiento para esta variable, pero estos efectos son más importantes con el factor temperatura de almacenamiento. Algunos autores encuentran este mismo efecto importante de la temperatura sobre la tasa de respiración de la patata (Gunes and Lee, 1997; Cacace et al., 2002). Esto ratifica que la disolución antipardecimiento con ácido ascórbico y ácido cítrico reduce poco la tasa de respiración de la patata.

La concentración de azúcares reductores disminuyó significativamente en la cuarta semana de almacenamiento en las muestras que no tienen metabisulfito potásico, mientras que se mantuvo estable en las que sí que lo tienen.

Aunque los valores de concentración de vitamina C no evolucionaron apreciablemente con el tiempo, fueron más altos en las muestras que tenían metabisulfito potásico. Ierna et al. (2016) observaron un comportamiento contrario, en el que las muestras que son tratadas solo con sulfitos al 0,2% tienen menos ácido ascórbico que las patatas sin tratar. Las concentraciones, en los dos casos se mantuvieron bastante estables durante el tiempo de almacenamiento, al contrario de lo que encuentran algunos autores, que en muestras de patata tratadas con ácido cítrico y almacenadas en contacto con aire durante 6 días a 4-5 °C incrementan la cantidad de vitamina C durante el almacenamiento (Tsouvaltzis and Brecht, 2017; Tudela et al., 2002).

En el ensayo 1 se vio que la actividad de agua bajó de forma altamente significativa en la cuarta semana de almacenamiento tanto en las muestras tratadas con metabisulfito como en las que no lo estaban, manteniéndose estable por tanto durante las tres primeras semanas. Esto también se aprecia en el ensayo 3, en el que, durante tres semanas de almacenamiento, no se encuentran diferencias significativas entre que las muestras fueran tratadas o no con disolución antipardeante.

En el ensayo 1 no se observaron efectos significativos ni del tiempo de almacenamiento ni de la adición de metabisulfito potásico sobre el pH, aunque la primera serie de medidas (1 semana de almacenamiento) las unidades experimentales que no tenían sulfitos tendieron a presentar valores más altos de pH. Después de las observaciones iniciales las medidas se mantuvieron más o menos estables durante el almacenamiento y en niveles similares a las que tenían sulfitos. Esta tendencia a mantener valores de pH estables durante el almacenamiento en muestras tratadas con ácido cítrico también fue observada por Amaral et al. (2018) durante un almacenamiento a 3 °C durante 17 días. En el ensayo 3, en el que se compara la adición de ácido cítrico y ascórbico con el envasado sin ningún tipo de aditivos, el pH también presenta un comportamiento parecido, mostrando en las medidas realizadas la misma semana del procesado valores más altos para las muestras sin aditivos, y a partir de esas medidas iniciales, con valores similares en todos los tratamientos, de forma que, aunque se detectan algunos efectos significativos, no se aprecia una tendencia clara en los valores.

6.3.2 Soluciones antipardeamiento y componentes del color

En el primer ensayo el factor que más afectó a las componentes del color fue el tiempo de almacenamiento, aunque la presencia o ausencia de metabisulfito potásico también afectó significativamente a algunas variables.

Se observaron efectos significativos, sobre todo en la patata frita, sobre b^* , que fue la componente del color que más contribuyó a la intensidad del color, en las condiciones de nuestros ensayos para la variedad Kennebec empleada. Así, las patatas cortadas en tiras y fritas, tratadas con metabisulfito mostraron valores significativamente mayores de b^* y con tendencia a aumentar durante el período de almacenamiento. Este aumento es malo, ya que esta tendencia a que las patatas sean más amarillas cuando se fríen está asociado, en patata sin procesar, a reacciones de Maillard causadas por el aumento de los azúcares reductores. Este aumento de azúcares simples está directamente relacionado con el periodo y las condiciones de almacenamiento de la patata, ya que la patata va aumentando la concentración de azúcares reductores a medida que pasa el tiempo de almacenamiento y cuando la temperatura de almacenamiento es demasiado baja. Mientras, las no tratadas con este aditivo, y por tanto sólo tratadas con ácido ascórbico y ácido cítrico, no presentaron una tendencia clara. Amaral et al. (2018) no encuentran una tendencia clara en el tiempo para la variable C^* en muestras fritas en tiras de tres variedades distintas de patata (agata, agria y caesar), que habían sido tratadas con ácido cítrico y almacenadas a 3 °C durante 17 días, al igual que en nuestro caso, en el que b^* presentó una dependencia casi lineal con C^* .

En el caso de patata cruda, no se observaron efectos de la adición del metabisulfito potásico para esta variable, al contrario de lo que encontraron Ma et al (2010) que observan que este aditivo provoca el aumento de b^* .

En crudo sí se observaron efectos significativos de la inclusión de metabisulfito potásico en la solución protectora sobre L^* y a^* , tanto en patatas cortadas en tiras como en las enteras. Los valores de estas componentes en las muestras tratadas con metabisulfito potásico fueron más estables, y significativamente más altos los de L^* y menores los de a^* , sobre todo para tiempos de almacenamiento altos. Tsouvaltzis and Brecht (2017) indican que la disminución de L^* y el aumento de a^* observados en las muestras sin metabisulfito son síntomas de pardeamiento. Esto concuerda con lo observado por Ma et al. (2010), que dicen que

concentraciones de bisulfito sódico similares a las utilizadas en este ensayo son efectivas para evitar el pardeamiento, manteniendo estables los valores de L^* y de a^* durante un período de almacenamiento de 16 días. También observaron que la inclusión de bisulfito sódico era más efectiva para evitar este pardeamiento que la combinación de sólo ácido cítrico y ácido ascórbico. Esto también lo observaron en análisis sensoriales Ierna et al. (2016), que encontraron que el sulfito al 0,2% conserva el color inicial de forma adecuada.

El tercer ensayo mostró que la mezcla de ácido cítrico y ácido ascórbico (sin emplear sulfitos) se asociaba a una menor evolución de las componentes del color con respecto a la observada en el producto envasado sin recibir tratamiento con ningún aditivo antipardeamiento, especialmente cuando las temperaturas de almacenamiento eran altas. Rocculi et al. (2007) reportan que el tratamiento con estos dos aditivos causa aumentos en la luminosidad de la superficie. En nuestro caso, al igual que les sucedió a Montouto-Graña et al. (2011), que también trababan patatas de la variedad Kennebec con estos dos aditivos, no se producen incrementos de la luminosidad, debido a que la variedad Kennebec ya tiene la pulpa blanca. Por otra parte, se observó que para las muestras sin tratamiento disminuye L^* y aumentan a^* desde la semana 2, lo que demuestra que el tratamiento antipardeamiento tuvo efectos significativos para reducir el pardeamiento. Ierna et al. (2016) observaron con análisis sensoriales efectos similares, mostrando que cuándo no se aplica ningún tratamiento las patatas se pardean, mientras que cuando son tratadas con ácido ascórbico (2%) y ácido cítrico (2%) las patatas mantienen su color durante al menos 9 días almacenadas a 4 °C. Tsouvaltzis and Brecht (2017) también observaron una reducción en el pardeamiento de la patata mediante la adición de solo 10-20 g/kg de aditivo que además no afectaba a la calidad nutricional del producto.

6.3.3 Soluciones antipardeamiento y textura

En el primer ensayo las variables de textura también se vieron afectadas significativamente por tiempo de almacenamiento y la presencia de metabisulfito potásico, existiendo además interacciones significativas entre los dos factores. La presencia de este aditivo afectó a la evolución en el tiempo de todas las variables de textura estudiadas, de forma que F, L y W aumentaron a lo largo del almacenamiento mientras que F/L disminuyó. En las muestras sin metabisulfito los valores de las variables de textura se mantuvieron más

estables durante las 4 semanas de almacenamiento. La adición de metabisulfito potásico se asocia con valores significativamente más altos de F, L y W y más bajos de F/L, a partir de la primera semana de almacenamiento. Las curvas fuerza-deformación muestran que esta subida en los valores de F y L se dan en todos los tratamientos ensayados y se deben a que con el paso del tiempo la patata se vuelve más plástica. La deformación necesaria para alcanzar la rotura (L) mediante el punzón era mayor en las muestras con metabisulfito, y aunque también se requieren fuerzas F mayores, el cociente F/L (la pendiente de la curva F-L) era menor y la patata ejercía menos resistencia por unidad de longitud de la deformación que experimentaba. Esto indica una evolución mayor, si se compara con patata sin procesar, de las patatas que fueron tratadas con este aditivo, con respecto de patatas a las que no se añadió metabisulfito. En esta misma línea están los resultados obtenidos por Ierna et al. (2016), que encuentran que las patatas tratadas con sulfitos (0,2% bisulfito sódico) y almacenadas durante 9 días a 4 °C, pierden firmeza, mientras que las que fueron tratadas con ácido ascórbico (2%) y ácido cítrico (2%) mantienen la firmeza y la turgencia típicas de las patatas durante este periodo de almacenamiento.

En el ensayo 3 las variables de textura fueron también significativamente más estables cuando se usa ácido cítrico y ascórbico en comparación con el envasado sin ningún aditivo, especialmente hacia el final del período de almacenamiento, en donde aumentaron, a medida que fue pasando el tiempo, tanto F como L, para las muestras sin aditivos antipardecimiento. Amaral et al. (2018) encuentran que en muestras tratadas sólo con ácido cítrico la fuerza máxima antes de la rotura (F) aumenta durante un almacenamiento de 17 días con envasado al vacío y temperatura de 3 °C. Ierna et al. (2016) también apreciaron que se mantenía de forma más adecuada la textura cuando las muestras eran tratadas con aditivos antioxidantes que cuando solo eran tratadas con agua estéril. Por otro lado, varios autores han visto desde un punto de vista sensorial un aumento de firmeza en muestras tratadas con ácido ascórbico, o con combinación de ácido ascórbico y ácido cítrico, sin encontrar el origen de este echo (Montouto-Graña et al., 2011; Sapers et al., 1997).



6.3.4 Soluciones antipardecimiento y propiedades sensoriales

Los resultados del análisis sensorial realizado en el ensayo 1 mostraron que el efecto más importante de la presencia de sulfitos en la solución antipardecimiento se presentó en las

patatas fritas. Esto puede deberse a que los aditivos empleados se diluyeron durante la cocción, que se hizo con abundante agua. Si se hubiese hecho al vapor probablemente el efecto hubiese sido mayor.

Así, las muestras de patatas fritas sin metabisulfito no mostraron diferencias significativas con la patata patrón (patata procesada con 1 día de almacenamiento) en ninguna de las dos pruebas realizadas a lo largo de todo el periodo de almacenamiento (1 y 2 semanas de almacenamiento). Las muestras tratadas con sulfitos mostraron diferencias significativas a lo largo de estas dos semanas de almacenamiento, lo que indica una evolución del producto desde un punto de vista de la percepción sensorial del mismo. En ese sentido algunos autores detectaron malos olores en muestras almacenadas en atmósfera modificada y tratadas con metabisulfito (Beltrán et al., 2005; Ierna et al., 2016). También se observó, en la prueba realizada al día siguiente al procesado, que las muestras que llevan sulfitos presentaban diferencias significativas con muestras de patata sin procesar, cualquiera que fuera el gas de envasado, lo que indica que este aditivo aportaba sabor al producto.

En el ensayo 3, en el que se comparó el uso de ácido cítrico y ascórbico (sin metabisulfito) con el lavado usando sólo agua clorada, las pruebas triangulares, en las que se comparaba el sabor de patatas después de freírlas, mostraron el interés de utilizar disoluciones antipardecimiento, dado que en las muestras que no fueron tratadas con aditivos antipardecimiento se detecta el efecto de la temperatura de almacenamiento, mostrándose diferencias significativas entre las muestras almacenadas a 2 y 8 °C. No existen estas diferencias entre muestras que sí que tienen tratamiento antipardeciente. Esto significa que, cuando se añaden estos aditivos antipardecimiento a las patatas, aunque las muestras pierdan la cadena de frío, durante al menos dos semanas el sabor de las mismas no se diferencia de las que han sido conservadas a 2 °C.

También se pudo ver que para las que fueron tratadas con aditivos antipardecimiento no se presentaban diferencias entre muestras almacenadas durante 1 semana y 3 semanas, lo que indica que no había evolución de las características sensoriales de la patata. Por tanto, sensorialmente un almacenamiento de 3 semanas a baja temperatura sería correcto para este tipo de muestras.

Además, las pruebas de clasificación por ordenación mostraron que los jueces valoraban más los dos productos que estaban tratados con disolución antipardeamiento.

6.3.5 Soluciones antipardeamiento y propiedades microbiológicas

El análisis microbiológico realizado en el ensayo 1 solo mostró crecimientos de microorganismos mesófilos y psicrotrofos, independientemente de la disolución antipardeamiento empleada, con recuentos inferiores a 10^4 UFC/g. Para vegetales recién cortados Ierna et al. (2017) recomiendan valores máximos en recuentos de bacterias totales de 10^8 UFC/g.

En este ensayo, en el que se comparó el uso de soluciones de ácido cítrico y ascórbico (sin metabisulfito) con el envasado tras tratamiento con sólo agua clorada, aunque no se realizaron pruebas estadísticas, se observaron mayores crecimientos de estos microorganismos en las muestras envasadas con disolución antipardeamiento sin metabisulfito, sobre todo en los tiempos de almacenamientos largos. Pero, a pesar de que el efecto protector de esta disolución antipardeamiento sin sulfitos es menor, se comprobó en el tercer ensayo que su presencia presenta efectos sobre la patata, que inducen un menor crecimiento microbiano en estas muestras. Esta protección se da especialmente en los almacenamientos a baja temperatura. Esto también fue visto por Ierna et al. (2017) que dicen que la inmersión en ácido cítrico y ascórbico mostró una buena capacidad para contener el crecimiento microbiano durante un periodo de almacenamiento de 9 días a 4 °C.

Así, en muestras tratadas con la disolución antipardeamiento sin sulfitos, para los microorganismos patógenos analizados en estos dos ensayos (*Salmonella*, *Listeria*, Enterobacterias, Coliformes, *Clostridium perfringens* y *Staphylococcus aureus*), cuando las muestras fueron almacenadas a temperaturas bajas (2 °C), no se detectaron crecimientos en ninguno de los tiempos (4 semanas en el ensayo 1 y 3 semanas en el ensayo 3). En muestras que no fueron tratadas con aditivos antipardeamiento del ensayo 3 aparece cierta cantidad de colonias de *Salmonella*.

En este tercer ensayo se presentaron crecimientos de *Bacillus* y mohos y levaduras. Los mayores crecimientos se producen en la tercera semana de almacenamiento, a temperatura alta y en muestras sin disolución antipardeamiento. Por tanto, la presencia de esta disolución

influye en los crecimientos de estos microorganismos reduciendo la presencia de estos microorganismos. Este comportamiento de estos microorganismos también se pudo observar en el ensayo 2, en el que muestras tratadas con aditivos antipardecimiento sin sulfitos, son almacenadas a varias temperaturas. Ierna et al. (2017) apuntan que recuentos máximos recomendados en vegetales recién cortados es de 10^5 de mohos y levaduras. Las muestras almacenadas a 2 °C y tratadas con disolución antipardeciente tienen valores inferiores a estos durante todo el almacenamiento.

6.4 TEMPERATURA

Un tercer factor estudiado en los ensayos fue la temperatura de almacenamiento, que se incluyó en el ensayo 2 como único factor de proceso y en el ensayo 3 fue uno de los dos factores, en el cual se combinó con el empleo o no de aditivos antipardecimiento.

6.4.1 Temperatura de almacenamiento y propiedades químicas

El ensayo 2 solo detectó efectos significativos de la temperatura de almacenamiento sobre la proporción de CO₂ en el envase y el pH. Los efectos sobre la proporción de CO₂ en la atmósfera del envase fueron altamente significativos. Aumentó a medida que iba pasando el tiempo de almacenamiento y, aunque lo hizo para todas las temperaturas, los incrementos fueron significativamente mayores cuanto más alta era la temperatura de almacenamiento. Estos resultados fueron confirmados en el ensayo 3 y concuerdan con lo observado por Gunes and Lee (1997), que detectaron que la temperatura afecta a la tasa de respiración de la patata, y por tanto al aumento de la proporción de CO₂ en el envase.

El efecto observado sobre el pH en el ensayo 2 fue inverso al observado sobre el CO₂, de forma que el pH bajó a medida que aumentaba la temperatura de almacenamiento. En el ensayo 3 no se observa una tendencia muy clara con respecto de este factor en ninguno de los tiempos de almacenamiento.

El resto de las variables de textura, color y materia seca no presentaron efectos significativos ni evolución en el tiempo en este ensayo.

6.4.2 Temperatura de almacenamiento y componentes del color

El ensayo 2 no mostró efectos significativos de la temperatura sobre las variables de color. En el ensayo 3 se confirmaron estos resultados en muestras tratadas con disolución antipardeamiento, pero se observó una tendencia no significativa a partir de la semana 1 a que muestras sin aditivos antipardeamiento tengan valores más bajos de L^* y altos a^* , sobre todo cuando la temperatura era más alta, lo que como ya se ha comentado son síntomas de un mayor pardeamiento.

6.4.3 Temperatura de almacenamiento y textura

En los ensayos 2º y 3º, en los que incluyó la temperatura como factor, no se observaron efectos significativos la temperatura de almacenamiento sobre la textura de las muestras.

6.4.4 Temperatura de almacenamiento y propiedades microbiológicas

El ensayo 2 detectó efectos significativos de la temperatura de almacenamiento sobre el crecimiento de todos los microorganismos estudiados en este ensayo: Mohos y levaduras y *Bacillus cereus*. En el ensayo 3 además de confirmar el efecto significativo sobre estos, también se observaron sobre los microorganismos aerobios psicrotrofos, *Salmonella* y *Staphylococcus aureus*.

En el ensayo 2 no se detectaron crecimientos de *Bacillus cereus* para las muestras almacenadas a 2 °C, lo que refrenda lo obtenido en el ensayo 1 para el mismo tratamiento, aunque sí había crecimientos microbianos en el caso de las muestras almacenadas a las otras dos temperaturas. En el caso de la temperatura 2 (almacenamiento alterno en cámara de 2 °C y de 8 °C) los crecimientos aparecieron en la segunda semana y en el caso de la temperatura de 8 °C ya en la primera semana de almacenamiento. En el ensayo 3 se confirmó lo visto en los otros dos experimentos para las muestras conservadas a baja temperatura, no produciéndose crecimientos en ningún caso. Para las muestras almacenadas a 8 °C se detectaron crecimientos a partir de la semana 3.

En el ensayo 2 los mohos y las levaduras aumentaron con el tiempo para todas las temperaturas, pero mucho menos a temperatura baja, siendo el efecto altamente significativo.

Se observó un incremento importante en la tercera semana de almacenamiento para todas las temperaturas, pero como en los otros tiempos, mucho más alto para los de temperaturas más altas. En el ensayo 3 también presenta efectos altamente significativos de la temperatura, y al igual que en el otro ensayo los crecimientos eran menores en el caso de la temperatura más baja. Así, aparecieron crecimientos a partir de la semana 1, menores en las unidades experimentales tratadas con disolución antiparadeamiento y almacenadas a baja temperatura, que para el resto de los tratamientos y temperaturas. Para estas muestras con menores crecimientos, se presentaron valores en todos los casos menores de 10^5 . Ierna et al. (2017) dicen que los recuentos máximos recomendados en vegetales recién cortados de estos microorganismos deben de ser menores de este valor.

En el ensayo 3 también se percibieron efectos significativos de la temperatura sobre la variable de microorganismos aerobios psicrotrofos. Se presentaron crecimientos a temperaturas altas a partir de la semana 2. No se produjeron crecimientos importantes cuando las muestras presentaban un tratamiento combinado de temperatura baja (2 °C) y solución antiparadeante.

Para los microorganismos patógenos analizados en este ensayo 3 (*Salmonella*, *Listeria*, Enterobacterias, Coliformes, *Clostridium perfringens* y *Staphylococcus aureus*), cuando las muestras estaban almacenadas a temperaturas bajas (2 °C), no se detectaron crecimientos en ninguno de los tiempos (3 semanas). En muestras almacenadas a temperatura alta (8 °C) se producen detecciones de *Salmonella* y *Staphylococcus aureus* en la semana 3. Juneja et al. (1998) también detectó diferencias significativas en los crecimientos de *L. monocytogenes*, al hacer almacenamientos a distintas temperaturas (4, 15 y 28 °C).

Esto destaca la importancia de mantener unas buenas condiciones higiénicas en la fabricación, sobre todo en fabricaciones artesanales donde el espacio suele ser reducido y las posibilidades de contaminación mayores, además de que posteriormente puede haber problemas para mantener la cadena del frío.



6.4.5 Temperatura de almacenamiento y propiedades sensoriales

En el ensayo 3 se estudiaron los posibles efectos de la temperatura de almacenamiento sobre las propiedades sensoriales. En la prueba de ordenación realizada el tratamiento peor

valorado, con diferencias significativas con el resto de los tratamientos, fue el que estuvo almacenado a 8 °C y sin disolución antipardeante. El siguiente en valoración y que también presentó diferencias significativas con todos los demás fue el que no tenía tratamiento antipardeante y que estaba almacenado a 2 °C. A continuación estaban los que sí que tenían tratamiento antipardeante. Dentro de estos, un poco mejor valorado apareció el que se almacenó a 8 °C, pero sin diferencias significativas con el almacenado a 2 °C. Por lo, tanto se observó que visualmente la temperatura influye en la apariencia del producto, sobre todo en las muestras que no tiene solución antipardeante.

6.5 RESUMEN DE EFECTOS Y DECISIONES

En el análisis de correlaciones del ensayo 2 se vio que se mostraban correlaciones altas entre variables microbiológicas entre sí, y también con %CO₂ y pH, es decir, que los crecimientos de microorganismos y la presencia de estas dos variables químicas están relacionadas. En el ensayo 3 se observaron coeficientes de correlación muy altos entre a* y H*, entre C* y b* y altas entre L*, a* y H*. Estas correlaciones indican que cuando sube a*, L* y H* bajan y, al contrario. Esto coincide con lo que apuntan Tsouvaltzis and Brecht (2017) que encontraron correlaciones significativas entre L*, a* y H*. Las componentes b* y C*, también mostraron unas correlaciones muy altas, aunque no se observó un patrón claro de evolución en el tiempo en ningún tratamiento, ni se vieron diferencias claras entre las muestras con o sin tratamiento con disolución antipardeante en patata cruda. También se encontraron correlaciones de estas variables con la variable %CO₂. Se vio que al aumentar el contenido en CO₂ las patatas tendían a ser más oscuras (baja L*), el color tendía más hacia los amarillo-rojizos (sube a* y baja H*) y tenía más intensidad de color (cromaticidad C*).

No se observaron efectos del tipo de atmosferas modificada empleada en este ensayo en cuanto a variables químicas, de color, textura y microbiológicas. Sí se muestran efectos en el análisis sensorial, donde la atmósfera de N₂ da mejores resultados, ya que las muestras que están tratadas con disolución antipardeante sin sulfitos y con atmósfera solo de N₂ no presenta diferencias significativas con la patata fresca, mientras que la atmósfera que tiene N₂ y CO₂ sí que presenta diferencias significativas. Se considera por tanto que la atmósfera de N₂ la mejor opción de envasado para este tipo de producto, no sólo por esto, sino por ser más económico y simple en cuanto a manipulación que la que lleva CO₂.

Las muestras que fueron tratadas con disolución antipardeamiento sin metabisulfito potásico presentaron menos evolución en el tiempo, para las variables de textura, la materia seca, las variables de color en patata frita, que las tratadas con sulfitos. Es decir que, con respecto a estas variables, se preservaban mejor las propiedades iniciales del producto.

En cambio, las tratadas con la disolución con metabisulfito potásico presentaban menos evolución para las variables de concentración de CO₂, relacionada con la respiración de la patata, y para las variables de color en patata cruda.

En cuanto a los análisis sensoriales, en patata cocida no se observaron efectos significativos. Las muestras de patata utilizadas para freír que fueron tratadas con disolución antipardeante sin metabisulfito potásico no presentaron diferencias significativas con patata sin procesar, ni con patata recién procesada, durante todo su almacenamiento, mientras que las que fueron tratadas con metabisulfito sí que presenta diferencias tanto con patata sin procesar, como con patata recién procesada.

Dado que el metabisulfito potásico tiene efectos que provocan un descenso de la calidad, para productos de alto valor añadido, se recomienda descartar el uso de esta sustancia como aditivo antipardeamiento.

En cuanto a la solución antipardeamiento sin sulfitos se confirma que en presenta efectos positivos, con respecto a no utilizar ningún tipo de aditivo, sobre el color de la patata en crudo y sobre los crecimientos de microorganismos.

Además, en cuanto a los análisis sensoriales se ha observado que, las muestras tratadas con estos aditivos presentaban mejor aspecto durante todo el almacenamiento que cuando no era utilizada la disolución antipardeamiento. También se pudo ver que, al menos durante dos semanas, muestras almacenadas a temperatura alta (8 °C) y que por tanto pierden la cadena de frío no mostraban diferencias significativas de sabor frente a muestras almacenadas a temperatura baja (2 °C). Por último, se vio que éstas muestras no presentaban diferencias significativas entre muestras almacenadas a 2 °C durante 1 y 3 semanas.

Por todo ello se recomienda el uso de la disolución antipardeante, dado que va a aumentar la vida útil del producto.

La temperatura de almacenamiento fue un factor importante para la conservación del producto, debiéndose almacenar el producto a temperaturas bajas. Para muestras tratadas con disolución antipardeamiento sin sulfitos, el aumento de temperatura provocó sobre todo el aumento de recuentos de microorganismos, incluso mostrándose recuentos de microorganismos patógenos. También provocó un aumento de la concentración de CO₂ y diferencias sensoriales de sabor entre muestras almacenadas a 2 y 8 °C.

Con respecto a la vida útil del producto varios autores proponen periodos de vida útil para patatas mínimamente procesadas. Limbo and Piergiovanni (2007) propone un tiempo de almacenamiento similar al propuesto en este estudio, de unas dos semanas, teniendo en cuenta que, con más tiempo por cuestiones de aspecto, textura y desarrollo microbiológico, en producto no sería aceptado. Otros autores proponen periodos distintos, así Montouto-Graña et al. (2011) dicen que patata Kennebec envasada a vacío tiene una vida útil desde un punto de vista sensorial, de un mes en unas condiciones aceptables, tratada durante 5 min con una solución de 1% AA y 0,5% AC. Gunes and Lee (1997) encuentran que, bajo condiciones de refrigeración de 2 °C, usando atmósfera modificada y agentes antipardeamiento, es posible una vida media de unas tres semanas.

Teniendo en cuenta esto, para una patata de calidad mínimamente procesada como la estudiada en este trabajo, tratada con disolución antipardeante sin sulfitos (ácido ascórbico (0,5%) y ácido cítrico (0,5%)), envasada en atmósfera modificada de N₂ y almacenada a temperatura baja (2°C), se desaconseja una vida útil de cuatro semanas que se estudia en el ensayo 1. Esta recomendación se basa en que en este ensayo ciertas variables como la actividad de agua y la concentración de azúcares reductores modificaban sus valores en la cuarta semana de almacenamiento. También se notó más en esa semana 4 el crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos y psicotrofos. Esto sugiere que el tiempo máximo de almacenamiento en el un producto de calidad no debería ser mayor de 3 semanas, para que estas variables no evolucionen de forma importante. Los ensayos 2 y 3 confirmaron que el periodo de almacenamiento podría ser de 3 semanas, aunque se corre el riesgo de que, en elaboraciones artesanales, donde no se puedan mantener las condiciones higiénicas adecuadas, si se pierde la cadena de frío se puedan producir problemas microbiológicos, que pueden ser graves en el caso de microorganismos patógenos. Además, si se rompe la cadena de frío, en este trabajo no está confirmado sensorialmente que las muestras almacenadas

durante tres semanas no presenten diferencias significativas de sabor entre estar almacenadas a 2 °C y a 8 °C. Estos dos problemas no se presentan con dos semanas de almacenamiento, en donde no se producen crecimientos microbiológicos de patógenos ni de algunos de los alterantes causados por aumento de temperatura y además sensorialmente se observa que no había diferencias significativas entre muestras almacenadas a 2 y 8 °C. Por tanto, valorando todos estos aspectos, se puede recomendar una vida útil de 2 semanas para este producto.

7 CONCLUSIONES

A continuación, se listan las conclusiones más importantes de este estudio con respecto al diseño y la optimización del procesado mínimo de este producto. Debe tenerse en cuenta que el desarrollo del proceso se realizó buscando obtener un producto de alta calidad, y usando patata de la variedad Kennebec cultivada en Galicia que cumplía los requisitos de calidad establecidos por el Consejo Regulador de la I.G.P. Pataca de Galicia.

1. De los dos tipos de envasado en atmósfera modificada estudiados la más adecuada para este tipo de producto es la que utiliza N₂ como gas de envasado.
2. No se aconseja la utilización del metabisulfito potásico como aditivo antipardeamiento.
3. Se considera necesaria la utilización de la solución antipardeante de ácido ascórbico y ácido cítrico, para garantizar la seguridad alimentaria (reducir la posibilidad de crecimientos microbianos de microorganismos patógenos) y para garantizar la calidad del producto durante el almacenamiento.
4. Se incide en la importancia de mantener la cadena de frío, y de realizar el almacenamiento a temperatura lo más cercana posible a los 2 °C.
5. Para patata de estas condiciones sometida a un procesado mínimo que incluye envasado en atmósfera modificada de nitrógeno, tratamiento antipardeamiento con disolución de ácido ascórbico + ácido cítrico (0,5%/0,5%), almacenamiento a 2 °C y conservación en frío hasta su consumo, se establece en 2 semanas el tiempo de vida útil aconsejado para que este producto sea comercializarlo manteniendo altos estándares de calidad.
6. En fabricaciones artesanales, una probable forma de procesado de este producto dentro de la propia explotación o por parte de pequeños envasadores, se debe prestar especial atención al diseño de las zonas de almacenamiento y procesado, separando adecuadamente zonas sucias y limpias, a las buenas prácticas de higiene y a la gestión del almacenamiento. Es importante evitar posibles contaminaciones y roturas de la cadena de frío que den lugar a un deterioro de la calidad del producto o puedan representar un riesgo para la salud del consumidor.

8 BIBLIOGRAFÍA

ABADIAS, M., et al, 2008. Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments. *International Journal of Food Microbiology*, vol. 123, no. 1, pp. 121-129. ISSN 0168-1605. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.013>.

ADHIKARI, B.P., PURCELL, T., RISTROM, A. and CHAUDHARY, D.S., 2010. Effect of cultivars and thermal processing with salt solutions on the textural attributes (hardness, chewiness and rate of softening) of potatoes (*Solanum Tuberosum* L.). *International Journal of Food Properties*, vol. 13, no. 5, pp. 1161-1177. DOI 10.1080/10942910903013159.

AENOR., 2020. *Colorimetría. Parte 4: Espacio cromático L*a*b* CIE 1976. (ISO/CIE 11664-4:2019)*. UNE.EN ISO/CIE 11664-4, Madrid: AENOR.

AENOR., 2017. *Análisis sensorial. Metodología. Ordenación*. UNE-ISO 8587:2010/Amd 1, Madrid: AENOR.

AENOR., 2008. *Análisis sensorial. Metodología. Prueba triangular (ISO 4120:2004)*. UNE-EN ISO 4120, Madrid: AENOR.

AENOR., 2005. *Microbiología de los alimentos para consumo humano y animal. Método horizontal para el recuento de Clostridium perfringens. Técnica del recuento de colonias (ISO 7937:2004)*. UNE-EN ISO 7937, Madrid: AENOR.

AERTS, O., DUCHATEAU, N., LAMBERT, J. and BECHTOLD, T., 2014. Sodium metabisulfite in blue jeans: An unexpected cause of textile contact dermatitis. *Contact Dermatitis*, vol. 70, no. 3, pp. 190-192. DOI 10.1111/cod.12160.

AGUERRI ESPARZA, I., 2014. *Análisis de la situación actual del consumo de productos de IV gama en Pamplona* [Tesis de doctorado]. Universidad Pública de Navarra.

AHVENAINEN, R.T., et al, 1998. Shelf-life of prepeeled potato cultivated, stored, and processed by various methods. *Journal of Food Protection*, vol. 61, no. 5, pp. 591-600.

ALENYOREGE, E.A., et al, 2020. Effect of sequential multi-frequency ultrasound washing processes on quality attributes and volatile compounds profiling of fresh-cut Chinese cabbage. *Lwt*, vol. 117 DOI 10.1016/j.lwt.2019.108666.

ALEXANDRE, E.M.C., Rodrigues, I. M. M. A. and SARAIVA, J.M.A., 2015. Influence of thermal and pressure treatments on inhibition of potato tuber sprouting. *Czech Journal of Food Sciences*, vol. 33, no. 6, pp. 524-530. DOI 10.17221/241/2015-CJFS.

ALONSO ARCE, F., 2002. *El cultivo de la patata*. Madrid: Mundi-Prensa, ISBN 84-7114-636-3.

ALZAMORA, S.M., TAPIA, M.S. and CHANES, J.W., 1998. New strategies for minimally processed foods. The role of multitarget preservation/Nuevas estrategias para los alimentos mínimamente procesados. La conservación "multiblancos". *Food Science and Technology International*, vol. 4, no. 5, pp. 353-361.

AMARAL, R.D.A., BENEDETTI, B.C., PUJOLÁ, M. and ACHAERANDIO, I., 2018. *Effect of citric acid on browning of fresh-cut potatoes and on texture after frying*. *Acta Hort.*, DOI 10.17660/ActaHortic.2018.1209.37.

AMARAL, R.D.A., et al, 2015. Effect of Ultrasound on Quality of Fresh-Cut Potatoes During Refrigerated Storage. *Food Engineering Reviews*, vol. 7, no. 2, pp. 176-184. DOI 10.1007/s12393-014-9091-x.

ANGOS, I., VIRSEDA, P. and FERNANDEZ, T., 2008. Control of respiration and color modification on minimally processed potatoes by means of low and high O₂/CO₂ atmospheres, vol. 48, no. 3, pp. 422-430. ISSN 0925-5214.

AOAC., 2007. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed. Gaithersburg, USA: Association of Official Analytical Chemists.

ARTES, F., GOMEZ, P.A. and ARTES-HERNANDEZ, F., 2007. Physical, physiological and microbial deterioration of minimally fresh processed fruits and vegetables. *Food Science and Technology International*, vol. 13, no. 3, pp. 177-188. DOI 10.1177/1082013207079610.

BELTRÁN, D., SELMA, M.V., TUDELA, J.A. and GIL, M.I., 2005. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. *Postharvest Biology and Technology*, vol. 37, no. 1, pp. 37-46. DOI 10.1016/j.postharvbio.2005.02.010.

BOBO, G., 2014. *Estudio de estrategias para la conservación de patatas (cv. Monalisa) mínimamente procesadas* [Tesis de doctorado]. Universidad Pública de Navarra.

BOBO-GARCÍA, G., ARROQUI, C., MERINO, G. and VÍRSEDA, P., 2020. Antibrowning Compounds for Minimally Processed Potatoes: A Review. *Null*, vol. 36, no. 5, pp. 529-546. ISSN 8755-9129. DOI 10.1080/87559129.2019.1650761.

BOURNE, M., 2002. *Food texture and viscosity: concept and measurement*. San Diego: Academic Press.

BRECHT, J.K., 1995. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience*, vol. 30, no. 1, pp. 18-22.

BUTA, J.G. and MOLINE, H.E., 2001. Prevention of browning of potato slices using polyphenoloxidase inhibitors and organic acids. *Journal of Food Quality*, vol. 24, no. 4, pp. 271-282. ISSN 0146-9428. DOI 10.1111/j.1745-4557.2001.tb00608.x.

CABEZAS-SERRANO, A.B., et al, 2009. Suitability of five different potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to be processed as fresh-cut products, vol. 53, no. 3, pp. 138-144. ISSN 0925-5214. DOI 10.1016/j.postharvbio.2009.03.009.

CACACE, J.E., DELAQUIS, P.J. and MAZZA, G., 2002. Effect of chemical inhibitors and storage temperature on the quality of fresh-cut potatoes. *Journal of Food Quality*, vol. 25, no. 3, pp. 181-195. DOI 10.1111/j.1745-4557.2002.tb01018.x.

CALDER, B.L., et al, 2011. The Effectiveness of Ozone and Acidulant Treatments in Extending the Refrigerated Shelf Life of Fresh-Cut Potatoes. *Journal of Food Science*, vol. 76, no. 8, pp. S492-S498. DOI 10.1111/j.1750-3841.2011.02371.x.

CAMBRA, J., 2008. Industrial agroalimentaria y desarrollo rural: el caso de los productos del Somontano. *Instituto De Estudios Altoaragoneses-DPH, Huesca*.

CANTOS, E., TUDELA, J., GIL, M. and ESPIN, J., 2002. Phenolic compounds and related enzymes are not rate-limiting in browning development of fresh-cut potatoes, vol. 50, no. 10, pp. 3015-3023.

CASTRO DEL CAMPO, N., CHAIDEZ QUIROZ, C., RUBIO CARRASCO, W. and BENIGNO VALDEZ TORRES, J., 2004. Sobrevivencia de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* en frutos mínimamente procesados. *Revista Cubana De Salud Pública*, vol. 30, no. 1, pp. 0.

CAVAIUOLO, M., et al, 2015. Identification of innovative potential quality markers in rocket and melon fresh-cut produce. *Food Chemistry*, vol. 188, pp. 225-233. DOI 10.1016/j.foodchem.2015.04.143.

CHEN, C., et al, 2019. The Effects of Cold Plasma-Activated Water Treatment on the Microbial Growth and Antioxidant Properties of Fresh-Cut Pears. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 12, no. 11, pp. 1842-1851. DOI 10.1007/s11947-019-02331-w.

CLARKE, I., OWENS, M. and FORD, J.B., 2000. Integrating country of origin into global marketing strategy: A review of US marking statutes. *International Marketing Review*, vol. 17, no. 2, pp. 114-126. DOI 10.1108/02651330010322606.

COMISIÓN EUROPEA., 2011. *Reglamento (UE) n o 1129/2011 de la Comisión, de 11 de noviembre de 2011 , por el que se modifica el anexo II del Reglamento (CE) n o 1333/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo para establecer una lista de aditivos alimentarios de la Unión*. Diario Oficial de la Unión Europea , 12 de noviembre.

COMISIÓN EUROPEA., 2007. *Reglamento (CE) N° 148/2007 de la Comisión de 15 de febrero de 2007 por el que se incluyen algunos nombres en el Registro de Denominaciones de Origen Protegidas y de Indicaciones Geográficas Protegidas*. Diario Oficial de la Unión Europea , 16 de febrero.

COMISIÓN EUROPEA., 2005. *Reglamento (CE) n.º 2073/2005 de la Comisión, de 15 de noviembre de 2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios*. Diario Oficial de la Unión Europea , 22 de diciembre.

CONSELLERÍA DO MEDIO RURAL. [Sitio web], 2019. *Estadísticas de producciones agrícolas 2019*. [Consultado 09/09/2021]. Available from: <https://mediorural.xunta.gal/es/recursos/estadisticas/estadistica-agraria/2019>.

DE CORATO, U., 2020. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 60, no. 6, pp. 940-975. DOI 10.1080/10408398.2018.1553025.

DE LA CRUZ, S.N. and RONCAL, J.C., 2014. *Conservación de alimentos mínimamente procesados* [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de Trujillo.

DO NASCIMENTO, R.F., CANTERI, M.H.G., RODRIGUES, S.Á and KOVALESKI, J.L., 2020. Use of Sodium Metabisulphite and Ascorbic Acid to Control Browning in Ready-to-Eat Processed Potatoes during Prolonged Storage. *Potato Research*, vol. 63, no. 4, pp. 615-625. DOI 10.1007/s11540-020-09461-1.

ENDO, E., et al, 2008. Use of active films in the minimally processed potato conservation. *Semina: Ciencias Agrarias*, vol. 29, no. 2, pp. 349-360. DOI 10.5433/1679-0359.2008v29n2p349.

FAN, K., ZHANG, M. and JIANG, F., 2019. Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, vol. 54, pp. 162-170. DOI 10.1016/j.ultsonch.2019.02.003.

FAOSTAT. [Sitio web], 2019. *Datos de producción de cultivos y productos de ganadería*. [Consultado Sep 9, 2021]. Available from: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.

FURRER, A.N., CHEGENI, M. and FERRUZZI, M.G., 2018. Impact of potato processing on nutrients, phytochemicals, and human health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 58, no. 1, pp. 146-168. DOI 10.1080/10408398.2016.1139542.

GALLEGO, E.M., MIGUEZ, M. and DE LA MONTANA, J., 2006. Aptitude of varieties of potato for its industrial transformation in fried potatoes slices, vol. 5, no. 3, pp. 189-194. ISSN 1135-8122.

GARCÍA-GAVÍN, J., PARENTE, J. and GOOSSENS, A., 2012. Allergic contact dermatitis caused by sodium metabisulfite: A challenging allergen. A case series and literature review. *Contact Dermatitis*, vol. 67, no. 5, pp. 260-269. DOI 10.1111/j.1600-0536.2012.02135.x.

GUHA-NIYOGI, B., SABROE, R. and HOLDEN, C., 2018. An unusual case of a systemic delayed hypersensitivity reaction to sodium metabisulfite. *Contact Dermatitis*, vol. 79, no. 4, pp. 246-247. DOI 10.1111/cod.13037.

GUNES, G. and LEE, C.Y., 1997. Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents, vol. 62, no. 3, pp. 572-575. ISSN 0022-1147.

HENSON, S. and CASWELL, J.A., 2001. La regulación de la seguridad alimentaria: perspectiva general de las cuestiones actuales. *RAE: Revista Asturiana De Economía*, no. 22, pp. 7-26.

HICKS, C.R. and TURNER, K.V., 1999. *Fundamental concepts in design of experiments*. 5th ed. New York: Oxford University Press ISBN 0-19-512273-9.

HWANG, T.Y., SON, S.M. and MOON, K.D., 2002. Screening of effective browning inhibitors on fresh-cut potatoes. *Food Science and Biotechnology*, vol. 11, no. 4, pp. 397-400.

IERNA, A., PELLEGRINO, A., DI SILVESTRO, I. and BUCCHERI, M., 2016. Sensory and physico-chemical characteristics of minimally processed "early" potato tubers as affected by anti-browning treatments and cultivar. *Acta Horticulturae*, vol. 1141, no. 1141, pp. 229. ISSN 0567-7572. DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1141.27.

- IERNA, A., RIZZARELLI, P., MALVUCCIO, A. and RAPISARDA, M., 2017. Effect of different anti-browning agents on quality of minimally processed early potatoes packaged on a compostable film. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 85, pp. 434-439. DOI 10.1016/j.lwt.2017.03.043.
- JIMÉNEZ, M. and GARCÍA-CARMONA, F., 1999. Myricetin, an antioxidant flavonol, is a substrate of polyphenol oxidase. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 79, no. 14, pp. 1993-2000. DOI 10.1002/(SICI)1097-0010(199911)79:143.0.CO;2-H.
- JUNEJA, V.K., MARTIN, S.T. and SAPERS, G.M., 1998. Control of *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged pre-peeled potatoes. *Journal of Food Science*, vol. 63, no. 5, pp. 911-914.
- JUSTE, J. and GÓMEZ, J., 2002. *The Spanish afro food industry at the onset of the XXI century; importance and future prospects*. X Congress of the European Association of Agricultural Economists, Zaragoza.
- KADER, A.A., 2002. *Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products* In: *Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Science, Technology, and Market* [viewed 23 September 2021]. *Quality parameters of fresh-cut fruit and vegetable products*, pp. 11-20.
- KANG, J.H., ROH, S.H. and MIN, S.C., 2019. Inactivation of Potato Polyphenol Oxidase Using Microwave Cold Plasma Treatment. *Journal of Food Science*, vol. 84, no. 5, pp. 1122-1128. DOI 10.1111/1750-3841.14601.
- LAMIKANRA, O., KUENEMAN, D., UKUKU, D. and BETT GARBER, K., 2005. Effect of Processing Under Ultraviolet Light on the Shelf Life of Fresh-Cut Cantaloupe Melon. *Journal of Food Science*, vol. 70, no. 9, pp. C534-C539. ISSN 0022-1147. DOI 10.1111/j.1365-2621.2005.tb08301.x.
- LANGDON, T.T., 1987. Preventing of browning in fresh prepared potatoes without the use of sulfiting agents. *Food Technology (USA)*. 5th ed., vol. 41, pp. 64-67. ISSN 0015-6639.

LAURILA, E.K., HURME, E.U. and AHVENAINEN, R.T., 1998. Shelf life of sliced raw potatoes of various cultivar varieties - Substitution of bisulfites. *Journal of Food Protection*, vol. 61, no. 10, pp. 1363-1371. DOI 10.4315/0362-028X-61.10.1363.

LI, L., et al, 2017. Studies on browning inhibition technology and mechanisms of fresh-cut potato. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 41, no. 6 DOI 10.1111/jfpp.13263.

LIMBO, S. and PIERGIOVANNI, L., 2007. Minimally processed potatoes - Part 2. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acid on loss of some quality traits, vol. 43, no. 2, pp. 221-229. ISSN 0925-5214. DOI 10.1016/j.postharvbio.2006.08.015.

LIMBO, S. and PIERGIOVANNI, L., 2006. Shelf life of minimally processed potatoes Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning, vol. 39, no. 3, pp. 254-264. ISSN 0925-5214. DOI 10.1016/j.postharvbio.2005.10.016.

LINDSAY, H., 1973. A colorimetric estimation of reducing sugars in potatoes with 3,5-dinitrosalicylic acid. *Potato Research*, vol. 16, no. 3, pp. 176-179. ISSN 0014-3065. DOI 10.1007/BF02356048.

LIU, C., GRIMI, N., LEBOVKA, N. and VOROBIEV, E., 2018. Effects of pulsed electric fields treatment on vacuum drying of potato tissue. *Lwt*, vol. 95, pp. 289-294. DOI 10.1016/j.lwt.2018.04.090.

LIU, E.Z. and SCANLON, M.G., 2007. Modeling the effect of blanching conditions on the texture of potato strips. *Journal of Food Engineering*, vol. 81, no. 2, pp. 292-297.

LÓPEZ, A., et al, 2013. A review of the application of near-infrared spectroscopy for the analysis of potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 61, no. 23, pp. 5413-5424. DOI 10.1021/jf401292j.



MA, Y., WANG, Q., HONG, G. and CANTWELL, M., 2010. Reassessment of treatments to retard browning of fresh-cut Russet potato with emphasis on controlled atmospheres and low concentrations of bisulphite. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 45, no. 7, pp. 1486-1494. DOI 10.1111/j.1365-2621.2010.02294.x.

MCCONNELL, R.Y., TRUONG, V.-., WALTER JR., W.M. and MCFEETERS, R.F., 2005. Physical, chemical and microbial changes in shredded sweet potatoes. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 29, no. 3-4, pp. 246-267. DOI 10.1111/j.1745-4549.2005.00026.x.

MCEVILY, A.J. and IYENGAR, R., 1992. Inhibition of Enzymatic Browning in Foods and Beverages. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 32, no. 3, pp. 253-273. DOI 10.1080/10408399209527599.

MCGREGOR, I., 2007. The fresh potato market. *Potato Biology and Biotechnology*, pp. 3-26.

MILLER, R.A., HARRINGTON, J.D. and KUHN, G.D., 1975. Effect of variety and harvest date on tuber sugars and chip color. *American Potato Journal*, vol. 52, no. 12, pp. 379-386.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2021. *Anuario de estadística 2020*. Madrid: Centro de publicaciones del Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 2021. *Informe del consumo alimentario en España 2020*. Madrid: Centro de publicaciones del Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN [Sitio web], 2019. *Productos agroalimentarios de calidad diferenciada*. [Consultado Sep 9, 2021]. Available from: <https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/calidad-diferenciada/>.

MINITAB LLC., 2010. *Minitab Statistical Software Release 16.1.0*. Minitab Inc.



MOLNAR-PERL, I. and FRIEDMAN, M., 1990. Inhibition of browning by sulfur amino acids. 3. Apples and potatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 38, no. 8, pp. 1652-1656.

MONTERO-CALDERÓN, M., ROJAS-GRAÜ, M.A., SOLIVA-FORTUNY, R. and MARTÍN-BELLOSO, O., 2009. *Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas frescas* [Tesis de doctorado]. Universidad de Lleida.

MONTOUTO-GRAÑA, M., et al, 2011. Industrially processed Vacuum-packed peeled kennebec potatoes: Process optimization, sensory evaluation, and consumer response. *Journal of Food Science*, vol. 76, no. 5, pp. S314-S318. DOI 10.1111/j.1750-3841.2011.02185.x.

MORALES-DE LA PEÑA, M., WELTI-CHANES, J. and MARTÍN-BELLOSO, O., 2019. Novel technologies to improve food safety and quality. *Current Opinion in Food Science*, vol. 30, pp. 1-7. DOI 10.1016/j.cofs.2018.10.009.

MOREIRAS, O., CARBAJAL, Á, CABRERA, L. and CUADRADO, C., 2013. *Tablas de composición de alimentos*. 16th ed. Pirámide.

NISHA, P., SINGHAL, R.S. and PANDIT, A.B., 2006. Kinetic modelling of texture development in potato cubes (*Solanum tuberosum* L.), green gram whole (*Vigna radiate* L.) and red gram splits (*Cajanus cajan* L.). *Journal of Food Engineering*, vol. 76, no. 4, pp. 524-530. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2005.05.054.

OHLSSON, T., 1994. Minimal processing-preservation methods of the future: an overview. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 5, no. 11, pp. 341-344. DOI 10.1016/0924-2244(94)90210-0.

OLIVEIRA, M., et al, 2015. Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables - A review. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 46, no. 1, pp. 13-26. DOI 10.1016/j.tifs.2015.07.017.

OMS-OLIU, G., et al, 2010. Recent approaches using chemical treatments to preserve quality of fresh-cut fruit: A review. *Postharvest Biology and Technology*, vol. 57, no. 3, pp. 139-148. DOI 10.1016/j.postharvbio.2010.04.001.

PARDO, J.E., et al, 2000. Physical-chemical and sensory quality evaluation of potato varieties (*Solanum Tuberosum* L.). *Journal of Food Quality*, vol. 23, no. 2, pp. 149-160. DOI 10.1111/j.1745-4557.2000.tb00202.x.

PARK, E.Y., et al, 2020. Effect of thermal shock cycling on storage stability and quality of fresh-cut potato. *Lwt*, vol. 121 DOI 10.1016/j.lwt.2019.108972.

PEREZ CABRERA, L.E., 2003. *Aplicación de métodos combinados para el control del desarrollo del pardeamiento enzimático en pera (variedad Blanquilla) mínimamente procesada* [Tesis de doctorado]. Universitat Politècnica de València.

PETRI, E., ARROQUI, C., ANGOS, I. and VIRSEDA, P., 2008. Effect of preservative agents on the respiration rate of minimally processed potato (*Solanum tuberosum* cv. Monalisa), vol. 73, no. 3, pp. C122-C126. ISSN 0022-1147.

PIÑEIRO-IGLESIAS, I., 2019. *Procesos de envasado de patata cocida lista para consumo: Técnicas analíticas y factores de proceso* [Tesis de doctorado]. Universidade de Santiago de Compostela.

PINELI, L.L.O., et al, 2006. Chemical and physical characterization of fresh-cut potatoes. *Ciencia E Tecnologia De Alimentos*, vol. 26, no. 1, pp. 127-134. DOI 10.1590/S0101-20612006000100022.

RASHID, M.H., et al, 2021. Enhancing the shelf stability of fresh-cut potatoes via chemical and nonthermal treatments. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 45, no. 6 DOI 10.1111/jfpp.15582.

RICO, D., MARTÍN-DIANA, A.B., BARAT, J.M. and BARRY-RYAN, C., 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 18, no. 7, pp. 373-386. DOI 10.1016/j.tifs.2007.03.011.

ROCCULI, P., et al, 2007. Effects of the application of anti-browning substances on the metabolic activity and sugar composition of fresh-cut potatoes. *Postharvest Biology and Technology*, vol. 43, no. 1, pp. 151-157. ISSN 0925-5214. DOI <https://doi-org.ezbusc.usc.gal/10.1016/j.postharvbio.2006.08.002>.

ROJAS-GRAÜ, M.A., SOBRINO-LÓPEZ, A., TAPIA, M.S. and MARTÍN-BELLOSO, O., 2006. Browning inhibition in fresh-cut 'Fuji' apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science*, vol. 71, no. 1, pp. S59-S65. DOI 10.1111/j.1365-2621.2006.tb12407.x.

ROSENTHAL, A.J., 2001. *Textura de los alimentos: medida y percepción*. Zaragoza: Acribia S.A.

ROUDOT, A.C., 2004. *Reología y análisis de la textura de los alimentos*. Zaragoza: Acribia S.A.

SALTVEIT, M.E., 2018. *Respiratory metabolism* In: Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables [viewed 20 September 2021]. *Respiratory metabolism*, pp. 73-91 DOI 10.1016/B978-0-12-813278-4.00004-X.

SÁNCHEZ, J., CORREA, M. and CASTAÑEDA, L., 2016. Bacillus cereus un patógeno importante en el control microbiológico de los alimentos: un patógeno importante no controle microbiológico dos alimentos. *Revista Facultad Nacional De Salud Pública*, 08/, vol. 34, no. 2, pp. 230-242. ISSN 0120-386X. DOI 10.17533/udea.rfnsp.v34n2a12.

SAPERS, G.M., et al, 1997. Structural changes related to texture of pre-peeled potatoes. *Journal of Food Science*, vol. 62, no. 4, pp. 797-803.

SAPERS, G.M. and MILLER, R.L., 1995. Heated Ascorbic/Citric Acid Solution as Browning Inhibitor for Pre-Peeled Potatoes. *Journal of Food Science*, vol. 60, no. 4, pp. 762-766. DOI 10.1111/j.1365-2621.1995.tb06223.x.

SIKORA, M. and ŚWIECA, M., 2018. Effect of ascorbic acid postharvest treatment on enzymatic browning, phenolics and antioxidant capacity of stored mung bean sprouts. *Food Chemistry*, vol. 239, pp. 1160-1166. DOI 10.1016/j.foodchem.2017.07.067.

SINGH, N., KAUR, L., EZEKIEL, R. and GURAYA, H.S., 2005. Microstructural, cooking and textural characteristics of potato (*Solanum tuberosum* L) tubers in relation to

physicochemical and functional properties of their flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 85, no. 8, pp. 1275-1284. DOI 10.1002/jsfa.2108.

TAYLOR, M.A., MCDOUGALL, G.J. and STEWART, D., 2007. Potato flavour and texture. *Potato Biology and Biotechnology*, pp. 525-540.

THYBO, A.K., CHRISTIANSEN, J., KAACK, K. and PETERSEN, M.A., 2006. Effect of cultivars, wound healing and storage on sensory quality and chemical components in pre-peeled potatoes. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 39, no. 2, pp. 166-176. DOI 10.1016/j.lwt.2004.11.010.

TOIVONEN, P.M.A. and BRUMMELL, D.A., 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, vol. 48, no. 1, pp. 1-14. DOI 10.1016/j.postharvbio.2007.09.004.

TSIKRIKA, K., et al, 2021. High-pressure processing and ultrasonication of minimally processed potatoes: Effect on the colour, microbial counts, and bioactive compounds. *Molecules*, vol. 26, no. 9 DOI 10.3390/molecules26092614.

TSOUVALTZIS, P. and BRECHT, J.K., 2017. Inhibition of Enzymatic Browning of Fresh-Cut Potato by Immersion in Citric Acid is Not Solely Due to pH Reduction of the Solution. *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 41, no. 2 DOI 10.1111/jfpp.12829.

TUDELA, J.A., et al, 2002. Induction of antioxidant flavonol biosynthesis in fresh-cut, potatoes. Effect of domestic cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 21, pp. 5925-5931. DOI 10.1021/jf020330y.

VALDIVIA-NÁJAR, C.G., MARTÍN-BELLOSO, O. and SOLIVA-FORTUNY, R., 2018. Impact of pulsed light treatments and storage time on the texture quality of fresh-cut tomatoes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 45, pp. 29-35. DOI 10.1016/j.ifset.2017.08.007.

VALERO, G., et al., 2018. *La alimentación española características nutricionales de los principales alimentos de nuestra dieta*. 2ª ed. Madrid: Centro de publicaciones del Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación.

VALERO, M., HERNÁNDEZ-HERRERO, L.A., FERNÁNDEZ, P.S. and SALMERÓN, M.C., 2002. Characterization of *Bacillus cereus* isolates from fresh vegetables and refrigerated minimally processed foods by biochemical and physiological tests. *Food Microbiology*, vol. 19, no. 5, pp. 491-499. ISSN 0740-0020. DOI <https://doi.org/10.1006/fmic.2002.0507>.

VAMOS-VIGYÁZÓ, L., 1981. Polyphenol Oxidase and Peroxidase in Fruits and Vegetables. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 15, no. 1, pp. 49-127. DOI 10.1080/10408398109527312.

VAROQUAUX, P. and WILEY, R.C., 2017. *Biological and Biochemical Changes in Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*. Food Eng. Ser., DOI 10.1007/978-1-4939-7018-6_5.

VITALITI, G., et al, 2015. Sodium metabisulphite allergy with multiple food and drug hypersensitivities in a five-year-old child: A case report and literature review. *Allergologia Et Immunopathologia*, vol. 43, no. 1, pp. 106-108. DOI 10.1016/j.aller.2013.10.003.

WEAVER, M.L. and TIMM, H., 1983. Significance of the fructose/glucose ratio in screening potato breeding lines with processing potential. *American Potato Journal*, vol. 60, no. 5, pp. 329-338.

WILEY, R.C. and FERNANDEZ-SALGUERO, J., 1997. *Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas*. XI ed. Zaragoza: Acribia S.A.

XIE, Y., et al, 2017. Comparison of Sodium Acid Sulfate and UV-C Treatment on Browning and Storage Quality of Fresh-Cut Potatoes. *Journal of Food Quality*, vol. 2017 DOI 10.1155/2017/5980964.

XUNTA DE GALICIA., 2021. *Orden de 9 de febrero de 2021 por la que se aprueba el Reglamento de la indicación geográfica protegida Patata de Galicia/Patata de Galicia y de su Consejo Regulador*. Diario Oficial de Galicia , 19 de febrero, n. 34.

YILDIZ, G. and AADIL, R.M., 2021. Comparative analysis of antibrowning agents, hot water and high-intensity ultrasound treatments to maintain the quality of fresh-cut mangoes. *Journal of Food Science and Technology*. DOI 10.1007/s13197-021-05001-y.

YILDIZ, G., IZLI, G. and AADIL, R.M., 2020. Comparison of chemical, physical, and ultrasound treatments on the shelf life of fresh-cut quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill.). *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 44, no. 3. DOI 10.1111/jfpp.14366.

YORUK, R. and MARSHALL, M.R., 2003. Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: A review. *Journal of Food Biochemistry*, vol. 27, no. 5, pp. 361-422. DOI 10.1111/j.1745-4514.2003.tb00289.x.

YU, K., et al., 2021. *The quality changes and shelf-life of fresh-cut Iceberg lettuce treated by ultrasound and modified atmosphere packages*. *Acta Hortic.*, DOI 10.17660/ActaHortic.2021.1319.32.



En esta tesis se lleva a cabo la optimización del proceso de elaboración de patata mínimamente procesada a partir de patata gallega de calidad, realizando una serie de ensayos mediante una estrategia de investigación secuencial, en los que se estudia el uso de atmósferas modificadas, el tratamiento con sustancias antipardecimiento y la temperatura de almacenamiento. Además, con los datos obtenidos para el producto optimizado se determina su tiempo de vida útil. Los resultados de este estudio muestran que para este producto la atmósfera modificada más adecuada es la que utiliza N_2 , que es necesaria la aplicación de aditivos antipardecimiento, aunque se desaconseja la utilización de sulfitos y que la temperatura de almacenamiento debe ser baja. En estas condiciones el tiempo de vida útil recomendado es de 2 semanas.